

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження перспектив та можливостей застосування штучного  
інтелекту для збереження культурної спадщини

Виконав: студент VI курсу, групи СНм-61  
спеціальності 122 Комп'ютерні науки  
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Липак Т. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Кунанець Н. Е.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дуда О. М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2024

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 29 » травня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки  
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Липаку Тарасу Андрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження перспектив та можливостей застосування штучного інтелекту для збереження культурної спадщини

Керівник роботи Кунанець Наталія Едуардівна, д. соц. ком., професор кафедри КН  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » листопада 2023 року № 4/7-1100

2. Термін подання студентом завершеної роботи 27 травня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про збереження культурної спадщини, про методи штучного інтелекту для збору, збереження, документування, реставрації та презентації об'єктів культурної та історичної спадщини

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Аналіз актуальних завдань збереження культурної спадщини. 1.1 Теоретичні аспекти визначення понять «культурна спадщина» та «цифрова культурна спадщина». 1.2 Проблема тика цифрового збереження спадщини. 1.3 Стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою ШІ. 1.4 Висновок до 1 розділу. 2 Дослідження методів штучного інтелекту та можливостей їх застосування в секторі культурної спадщини. 2.1 Технологічні передумови застосування інноваційних методів в секторі культурної спадщини. 2.2 Можливості та виклики застосування ШІ для збереження культурної спадщини. 2.3 Актуальні напрями застосування ШІ в секторі культурної спадщини. 2.4 Висновок до 2 розділу. 3 Прикладні аспекти застосування окремих методів штучного інтелекту для збереження культурної спадщини. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Титульна сторінка. 2 Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження.

4 Актуальність дослідження. 5 Основні поняття цифрового довгострокового збереження.

6 Методи ШІ, що використовуються в сфері культурної спадщини 7 Класифікація методів машинного навчання 8 Розпізнавання образів за допомогою ШІ. 9 Класифікації документів за допомогою машинного навчання. 10. Переваги і недоліки застосування ШІ для збереження КС.

11 Висновки. 12 Завершальний слайд.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання 24 листопада 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	04.12.2023	
2.	Підбір наукових джерел про нові розробки штучного інтелекту, що застосовуються для збереження культурної спадщини	15.12.2023-31.11.2023	Виконано
3.	Опрацювання наукових публікацій та збір даних по темі роботи	15.01.2024-25.02.2024	Виконано
4.	Виконання дослідження згідно мети кваліфікаційної роботи	26.02.2024-07.04.2024	Виконано
5.	Оформлення розділу «Аналіз актуальних завдань збереження культурної спадщини»	15.04.2024-18.04.2024	Виконано
6.	Оформлення розділу «Дослідження методів штучного інтелекту та можливостей їх застосування в секторі культурної спадщини»	19.04.2024-25.04.2024	Виконано
7.	Оформлення розділу «Прикладні аспекти застосування окремих методів штучного інтелекту для збереження культурної спадщини»	26.04.2024-02.05.2024	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	03.05.2024-07.05.2024	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	08.05.2024-10.05.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	11.05.2024-14.05.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	15.05.2024-16.05.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	17.05.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.05.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи	30.05.2024	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Липак Т. А.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кунанець Н. Е.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Дослідження перспектив та можливостей застосування штучного інтелекту для збереження культурної спадщини // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Липак Тарас Андрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2024 // С. 88, рис. – 12, табл. – 2, кресл. –, додат. – 1, бібліогр. – 68.

**Ключові слова:** культурна спадщина; цифрове збереження; штучний інтелект; машинне навчання; інтелектуальні системи; проривні технології.

Кваліфікаційна робота присвячена аналізу перспектив та можливостей застосування штучного інтелекту для збереження культурної спадщини.

В першому розділі кваліфікаційної роботи розкрито суть понять «культурна спадщина» та «цифрова культурна спадщина». Висвітлено питання довгострокового цифрового збереження спадщини. Проаналізовано стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою штучного інтелекту.

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено технологічні передумови застосування інноваційних методів в секторі культурної спадщини. Подано аналіз можливостей та викликів застосування ШІ для збереження КС та досліджено актуальні напрями застосування штучного інтелекту в цій сфері.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано прикладні аспекти застосування окремих методів штучного інтелекту для збереження культурної спадщини. Подано класифікацію алгоритмів машинного навчання, що застосовуються для збереження культурної спадщини, а також досліджено ефективність їх застосування для розпізнавання і порівняння творів мистецтва; для smart-аналізу і класифікації документів; для розробки рекомендаційної системи об'єктів наукової культурної спадщини. Продемонстровано можливості блокчейн-технологій та машинного зору у збереженні культурної спадщини.

## ANNOTATION

Investigation of prospects and opportunities to use artificial intelligence to preserve cultural heritage // The educational level «Master» qualification work // Lypak Taras // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNm-61 group // Ternopil, 2024 // P. 88, fig. – 12, tables – 2, posters –, annexes – 1, ref. – 68.

**Key words:** cultural heritage; digital preservation; artificial intelligence; machine learning; intelligent systems; disruptive technologies.

This thesis is devoted to the analysis of the prospects and possibilities of applying artificial intelligence to preserve cultural heritage.

The first chapter of the qualification work reveals the essence of the concepts of "cultural heritage" and "digital cultural heritage". The issues of long-term digital heritage preservation are highlighted. The state of the art of research on cultural heritage preservation using artificial intelligence is analysed.

The second chapter of the qualification work explores the technological prerequisites for the application of innovative methods in the cultural heritage sector. The author analyses the opportunities and challenges of using AI to preserve cultural heritage and explores the current areas of application of artificial intelligence in this area.

The third chapter of the qualification work describes the applied aspects of the use of certain methods of artificial intelligence for the preservation of cultural heritage. A classification of machine learning algorithms used to preserve cultural heritage is presented, and the effectiveness of their application for recognising and comparing works of art; for smart analysis and classification of documents; for developing a recommendation system for scientific cultural heritage objects is investigated. The possibilities of blockchain technologies and machine vision in the preservation of cultural heritage are demonstrated

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ І СТАНДАРТІВ

КС – культурна спадщина

ШІ – штучний інтелект

AI (англ. Artificial intelligence) – штучний інтелект

DP (англ. Digital Preservation) – цифрове збереження

CIDOC CRM (англ. Conceptual Reference Model) – концептуальна базова модель, що надає розширювану онтологію для понять та інформації у документації для культурної спадщини і музеїв. Є міжнародним стандартом ISO 21127:2014

GLAM (англ. Gallery, Libraries, Archives, Museums) – галереї, бібліотеки, архіви, музеї

ISO 14721-2012 Space data and information transfer systems – Open archival information system (OAIS) – Міжнародний стандарт електронної архівації

ISO 21127:2014 Information and documentation. A reference ontology for the interchange of cultural heritage information – стандарт, що описує онтології, необхідні для опису даних, що стосуються культурної спадщини

ISO/IEC 42001 Системи управління ШІ

ISO/IEC 23894 AI – Керівництво з управління ризиками

ISO/IEC 23053 Framework for AI Systems Using MLPC – рекомендаційна система

## ЗМІСТ

ВСТУП.....		9
1 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ЗБЕРЕЖЕННЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....		12
1.1 Теоретичні аспекти визначення понять «культурна спадщина» та «цифрова культурна спадщина» .....		12
1.2 Проблематика цифрового збереження спадщини .....		14
1.2.1 Особливості довгострокового цифрового збереження .....		14
1.2.2 Питання авторських прав на оцифровану спадщину .....		17
1.3 Стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою ШІ .....		20
1.4 Висновок до першого розділу.....		22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В СЕКТОРІ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....		23
2.1 Технологічні передумови застосування інноваційних методів в секторі культурної спадщини .....		23
2.2 Можливості та виклики застосування ШІ для збереження культурної спадщини.....		25
2.2.1 Роль ШІ у створенні та управлінні контентом .....		25
2.2.2 Етичні питання впливу ШІ на культурне різноманіття .....		26
2.3 Актуальні напрями застосування ШІ в секторі культурної спадщини .....		28
2.4 Висновок до другого розділу .....		33
3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ОКРЕМИХ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....		34
3.1 Алгоритми машинного навчання в обробці даних КС.....		34
3.1.1 Класифікація методів машинного навчання .....		34

3.1.2	Методи машинного навчання для розпізнавання і порівняння творів мистецтва.....	37
3.1.3	Smart-аналіз документів за допомогою машинного навчання ....	40
3.1.4	Алгоритми машинного навчання для розробки рекомендаційної системи об'єктів наукової культурної спадщини .....	43
3.2	Збереження КС за допомогою блокчейн-технологій .....	46
3.3	Машинний зір і КС .....	50
3.4	Узагальнення переваг та недоліків використання ШІ в збереженні культурної спадщини.....	52
3.5	Висновок до третього розділу .....	57
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	58
4.1	Організація охорони праці для працівників музеїв .....	58
4.2	Сучасні інтелектуальні засоби забезпечення пожежної безпеки в місцях збереження культурної спадщини.....	62
4.3	Висновок до четвертого розділу.....	64
	ВИСНОВКИ .....	65
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ .....	67
	ДОДАТКИ	



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Збереження культурної спадщини є одним з ключових завдань людства, адже воно дозволяє передавати знання, традиції та культурні цінності від покоління до покоління. Сучасний світ стикається з численними викликами у сфері охорони культурної спадщини, такими як природні катастрофи, кліматичні зміни, війни, недбале ставлення та обмежені ресурси. Ці фактори можуть призводити до незворотних втрат культурних об'єктів та пам'яток.

На тлі цих викликів, застосування штучного інтелекту (ШІ) стає все більш актуальним та перспективним напрямком у сфері збереження культурної спадщини. ШІ надає унікальні можливості для ефективного вирішення низки актуальних завдань, які допоможуть забезпечити збереження та передачу культурної спадщини наступним поколінням, підвищуючи ефективність та якість охоронних заходів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є вивчення можливостей та розробка підходів до застосування технологій штучного інтелекту для збереження, відновлення та популяризації культурної спадщини, а також оцінка їх ефективності та впливу на сучасні методи охорони культурних цінностей.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати актуальні завдання збереження культурної спадщини, зокрема довгострокового цифрового збереження.
- Проаналізувати стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою штучного інтелекту.
- Дослідити методи штучного інтелекту, що використовуються в секторі культурної спадщини.
- Узагальнити та охарактеризувати перспективні напрями застосування штучного інтелекту для збереження культурної спадщини.

– Продемонструвати ефективність окремих алгоритмів машинного навчання, блокчейн-технологій, комп'ютерного зору та інших методів штучного інтелекту для збереження об'єктів культурної спадщини.

**Об'єкт дослідження** – процеси збереження культурної спадщини з використанням штучного інтелекту;

**Предмет дослідження** – прикладне застосування методів штучного інтелекту для збереження культурної спадщини.

**Наукова новизна одержаних результатів** кваліфікаційної роботи полягає у тому, що узагальнено та структуровано характеристики методів штучного інтелекту, що використовуються в сфері культурної спадщини

**Практичне значення одержаних результатів.** Виконано виокремлення з масиву публікацій перспективних напрямів застосування ШІ для збереження культурної спадщини; узагальнено характеристики цих методів, а також окреслено їх переваги та потенційні ризики.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні результати проведених досліджень обговорювались на конференціях:

- VIII науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». — Тернопіль : ТНТУ, 2020 р.;
- VI Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». — Тернопіль: ТНТУ, 2023 р.;
- XII Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ, 2023 р.;
- VI Міжнародна наукова конференція «Наукові тренди постіндустріального суспільства». – м. Івано-Франківськ, 2024 р.;
- V International Scientific and Theoretical Conference «Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives». – Bern, Swiss Confederation, 2024.

**Публікації.** Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у п'яти працях конференції (див. додатки А).

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 68 найменувань та 1 додатка. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 88 сторінок, з них 74 сторінки основного тексту, який містить 12 рисунків та 2 таблиці.

# 1 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ЗБЕРЕЖЕННЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

## 1.1 Теоретичні аспекти визначення понять «культурна спадщина» та «цифрова культурна спадщина»

Термін «культурна спадщина» (КС) позначає пам'ятку, групу будівель або місце, що має історичну, естетичну, археологічну, наукову, етнологічну або антропологічну цінність. Культурна спадщина може мати світове, регіональне, національне або місцеве значення. Наприклад, Конвенція ЮНЕСКО про охорону всесвітньої спадщини визначає культурну спадщину світового значення як «архітектурні твори, твори монументальної скульптури і живопису, елементи або споруди археологічного характеру, написи, печерні житла і поєднання елементів, які мають видатну універсальну цінність з точки зору історії, мистецтва або науки; ...витвори людини або сукупність витворів природи і людини, а також місцевості, включаючи археологічні об'єкти, які мають видатну універсальну цінність з історичної, естетичної, етнологічної або антропологічної точки зору» [1]. Варто зазначити, що спадщина тісно пов'язана з поняттям цінності, яке розглядається у двох вимірах – сфера інтересів (від локального до глобального) та конкретна сфера внеску (історична, естетична, етнологічна, антропологічна).

Ще одне описове визначення надає Робоча група «Спадщина і суспільство» [2], яка стверджує, що Спадщина – це «вся сукупність матеріальних знаків – художніх чи символічних – переданих минулим кожній культурі і, отже, всьому людству...».

Останніми роками традиційні визначення культурної спадщини значно розширилися. Тепер вони включають не лише історико-мистецькі артефакти, а й їхнє оточення, яке називають культурним ландшафтом. Крім того, увага приділяється нематеріальним елементам, так що культурні ландшафти включають також літературу, поезію, міфи, фольклор, історичні події та традиції [3].

Заклади культурної спадщини – галереї, бібліотеки, архіви та музеї (GLAM – Gallery, Libraries, Archives, Museums) – різняться за типами та розмірами по всьому світу, але в останнє десятиліття майже всі вони використовують цифрові ресурси.

Цифровий світ – це світ, що найшвидше розвивається і змінюється. Використання оцифрованого контенту для створення нових продуктів і послуг у креативних та інформаційних індустріях виправдовує зусилля багатьох експертів різних галузей.

Коли йдеться про цифрову культурну спадщину, то сьогодні є дві основні дійові особи, які визначають вимоги до неї – користувач і сучасні технологічні стандарти. Ці вимоги повинні бути відомі і виконані на початку оцифрування, а не на наступних етапах. Це означає, що цифровий об'єкт з певної колекції в установі GLAM має бути оцифрований, збережений і представлений для когось у порівнянні та в ієрархії з об'єктами того ж типу. Правильні метадані є обов'язковими для будь-якої пошукової системи, особливо коли метою є багата функціональність [4].

Повторне використання та контекстуалізація мають вирішальне значення для культурного контенту. Принцип кураторства не змінюється між інституційним середовищем та його цифровою альтернативою. Засоби, багатство і цінність відрізняються на користь Інтернету. Цифровий світ робить контекстуалізацію багатшою і простішою, додаючи до неї новий рівень – рівень користувача. Якщо дотримуватися стандартів метаданих і правил інтероперабельності, користувач може створювати власні віртуальні колекції за лічені хвилини, дізнаватися історії об'єктів, що його цікавлять, організовувати і повторно використовувати свої особисті колекції, ділитися з іншими, роздруковувати тощо. Зазвичай всі ці можливості доступні безкоштовно.

## 1.2 Проблематика цифрового збереження спадщини

### 1.2.1 Особливості довгострокового цифрового збереження

Існує три основні види діяльності, які є життєво важливими для створення, використання та підтримки цифрової спадщини, а саме: оцифрування, доступ та збереження (рис. 1.1).

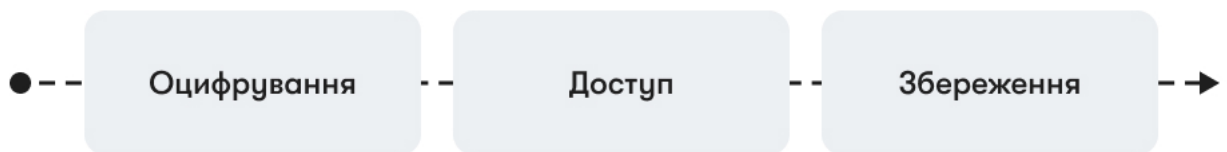


Рисунок 1.1 – Елементи життєвого циклу цифрової культурної спадщини

Перший – це оцифрування. Це процес перетворення аналогових об'єктів у цифрову форму. Для нових об'єктів, які не мають аналогового оригіналу, а народжуються в цифровому вигляді, цей етап замінюється процесом створення об'єкта як такого.

Другий елемент – забезпечення доступу до цифрової спадщини. Це означає не лише те, що користувачі можуть «побачити» об'єкт, але, перш за все, вони повинні мати ефективні та інтуїтивно зрозумілі інструменти для пошуку ресурсів.

Третя частина – це забезпечення довгострокового збереження цифрових об'єктів, що гарантує, що цифрові об'єкти, створені в минулому, будуть доступні зараз і в майбутньому. Це не лише означає, що об'єкти є фізично неушкодженими, але й те, що їх можна відтворювати та використовувати [5].

Сьогодні під оцифруванням розуміють «перетворення аналогової інформації в будь-якій формі (текст, фотографії, голос тощо) в цифрову форму за допомогою електронних пристроїв (сканерів, камер тощо) таким чином, щоб цю інформацію можна було обробляти, зберігати і передавати за допомогою цифрових схем, обладнання та мереж». Інше значення: «інтеграція цифрових технологій у повсякденне життя шляхом оцифрування всього, що можна

оцифрувати». Друге визначення ширше і повністю стосується КС [6]. Внаслідок масового оцифрування на початку ХХІ ст. з'явилися нові терміни – «цифрова спадщина», «цифрова гуманітаристика», «цифрова курація».

Методи оцифрування залежать від типу об'єкта – текст, фотографія, архітектура, аудіо, відео тощо. Технологія оцифрування складається зі спеціалізованого обладнання, програмного забезпечення та мереж; технічна інфраструктура включає протоколи та стандарти, передбачає політики та процедури (для робочого процесу, обслуговування, безпеки, оновлення тощо).

Доступ до цифрової культурної спадщини означає насамперед ефективні інструменти для пошуку ресурсів [7]. Зусилля з розробки схем метаданих в основному слугують цій сфері, оскільки без якісних метаданих відкриття цифрових об'єктів неможливе. Типовим є використання методів пошуку інформації для культурної спадщини на основі контенту. Наприклад, проект AXES [8] працює над методами генерації метаданих для відео- та аудіо-об'єктів, використовуючи аналіз зображень, аналіз мови та розпізнавання субтитрів у відео. Це приклад інтегрованого проекту, який об'єднує кілька різних методів пошуку інформації на основі контенту.

Проект DigitalPreservationEurope [9] визначає цифрове збереження (DP – digital preservation) як «комплекс заходів, необхідних для того, щоб цифрові об'єкти можна було знайти, відтворити, використати і зрозуміти в майбутньому». Термін «цифрове кураторство» часто використовується паралельно з терміном «цифрове збереження», але він стосується «підтримки, збереження і підвищення цінності цифрових дослідницьких даних протягом усього їхнього життєвого циклу» [10]. Як стверджують автори [11]: «Довгострокове майбутнє цифрових ресурсів має бути гарантоване, щоб захистити інвестиції в цифрові колекції і забезпечити збереження наукових і культурних записів як в їх історичній спадкоємності, так і в медіа- різноманітності... Digital preservation (DP) – це не просто механізм забезпечення доступності бітових послідовностей, створених сьогодні, завтра, але й процес, що діє у взаємодії з повним спектром послуг, які підтримують цифрове інформаційне середовище, а також із загальним економічним, правовим і соціальним контекстом».

Цифрове збереження має вирішувати дві основні проблеми:

- 1) фізичний знос (цифрові носії дуже вразливі до псування і катастрофічних втрат);
- 2) цифрове старіння (переваги впровадження нових апаратних і програмних технологій поєднуються з недоліками старих, які стають застарілими, тобто непридатними для використання на нових платформах) [12].

Термін «довгострокове» в контексті цифрового збереження трактується авторами та деякими організаційними документами по-різному: «п'ять років або більше» [13]; «проміжок часу, достатній для того, щоб виникло занепокоєння щодо впливу мінливих технологій, включаючи підтримку нових медіа та форматів даних, а також мінливої спільноти користувачів, на інформацію, що зберігається в сховищі. Цей період продовжується на невизначений термін в майбутньому» [14]; «Дані, як правило, повинні зберігатися та бути доступними протягом не менше 10 років для будь-яких проектів, а для клінічних або великих соціальних, екологічних або культурно-історичних проектів дані повинні зберігатися до 20 років, і бажано постійно в національній колекції, або відповідно до політики щодо даних спонсора» [15].

У 2006 році Онлайновий комп'ютерний бібліотечний центр (OCLC) розробив стратегію довгострокового збереження цифрових об'єктів, що складається з чотирьох пунктів [16]:

- Оцінка ризиків втрати контенту, спричинених технологічними змінними, такими як часто використовувані пропріетарні формати файлів і програмні додатки.
- Оцінка об'єктів цифрового контенту для визначення типу та ступеня перетворення формату або інших дій зі збереження.
- Визначення відповідних метаданих, необхідних для кожного типу об'єкта, і способу їхнього зв'язку з об'єктами.
- Надання доступу до контенту.

Для забезпечення довготривалого збереження цифрових об'єктів застосовується кілька різних взаємодоповнюючих стратегій, таких як: *оновлення* (перенесення даних між двома типами одного і того ж носія, що забезпечує їхню



довговічність, а також запобігання фізичному зносу); *міграція* (перенесення даних у новіші системні середовища – зміна форматів файлів, мов програмування, операційних систем тощо, які намагаються запобігти цифровому застарінню); *реплікація* (створення дублікатів даних в одному або декількох місцях, що забезпечує більші шанси на виживання даних, але створює труднощі в оновленні, міграції, версіонуванні та контролі доступу); *емуляція* (відтворення функціональності застарілої системи – додатків, операційних систем або апаратних платформ).



Рисунок 1.2 – Стратегії довгострокового збереження

Фахівцями запропоновано низку моделей, що описують життєвий цикл завдань цифрового збереження. Ключовий стандарт у цій галузі – ISO 14721 – широко відомий як еталонна модель OAIS – представляє функціональну структуру з основними компонентами та основними потоками даних у системі цифрового архіву [17]. Він визначає шість функціональних сутностей, які синтезують найбільш важливі види діяльності в цифровому архіві: прийом, планування збереження, архівне зберігання, управління даними, адміністрування та доступ.

### 1.2.2 Питання авторських прав на оцифровану спадщину

В результаті оцифрування з'явився новий тип прав. Частково це пояснюється тим, що оцифрування є міжінституційним і міждисциплінарним

процесом. Він об'єднує інституції пам'яті, які є власниками КС, технологічні лабораторії та розробників/менеджерів культурної політики, чий правові інтереси дуже відрізняються [18].

Варто зазначити, що права інтелектуальної власності ще не синхронізовані, тож управління цифровими правами на культурний контент є каменем спотикання для всіх креативних індустрій, включно з інституціями GLAM.

Оцифрування культурної спадщини створює кілька проблем, пов'язаних з авторським правом, правами інтелектуальної власності та обмеженнями доступу [19]. Серед ключових викликів, пов'язаних з авторським правом на оцифровану культурну спадщину виділимо наступні:

*Право власності та дозвіл на права:* однією з головних проблем є визначення права власності та отримання прав на оцифрований культурний контент. Це стосується творів мистецтва, історичних документів, фотографій та інших матеріалів, які все ще можуть бути захищені авторським правом або мають нечіткий статус власності.

*Тривалість авторського права:* Закони про авторське право відрізняються залежно від юрисдикції, і тривалість захисту авторського права може бути складною. Визначити, чи є твір суспільним надбанням чи все ще захищено авторським правом, може бути складно, особливо для старих культурних артефактів.

*Сирітські твори:* Сирітські твори стосуються творів, власник авторських прав на які невідомий або який неможливо знайти. Оцифрована культурна спадщина часто включає невідомі твори, що може перешкоджати їх цифровому розповсюдженню та використанню через правову невизначеність і потенційні ризики порушення.

*Ліцензування та дозволи:* навіть якщо власник авторських прав відомий, отримання ліцензій або дозволів на оцифрований культурний вміст може зайняти багато часу та коштувати. Різні правовласники можуть мати різні умови використання, що призводить до труднощів у створенні комплексної політики доступу.

*Похідні твори та трансформаційне використання:* оцифрування дозволяє створювати похідні твори та трансформувати використання культурної спадщини. Однак визначення того, що є добросовісним або трансформаційним використанням згідно із законом про авторське право, може бути суб'єктивним і може призвести до судових спорів.

*Міжнародне дотримання авторських прав:* колекції культурної спадщини часто мають глобальне значення, вимагаючи дотримання законів про авторські права в багатьох юрисдикціях [20]. Узгодження політики щодо авторського права та навігація міжнародними угодами щодо авторського права може бути складним і може обмежити транскордонний доступ до оцифрованого вмісту.

*Управління цифровими правами:* Впровадження ефективних систем управління цифровими правами для захисту оцифрованої культурної спадщини з одночасним забезпеченням авторизованого доступу представляє технічні та матеріально-технічні проблеми. Збалансування заходів безпеки зі зручним доступом має вирішальне значення для максимізації цінності оцифрованих колекцій.

*Відкритий доступ проти обмеженого доступу:* установи, що оцифрують культурну спадщину, повинні вирішити, прийняти політику відкритого доступу чи обмежити доступ на основі міркувань авторського права. Баланс між прагненням широкого публічного доступу до дотримання авторських прав і отримання прибутку може виявитися крихким.

*Технології, що розвиваються:* прогрес у сфері штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу даних відкриває нові можливості для аналізу та обміну оцифрованим культурним контентом [21]. Однак ці технології також викликають питання щодо власності на дані, конфіденційності та потенційного впливу на захист авторських прав.

Щоб вирішити ці проблеми з авторським правом, потрібна співпраця між установами культури, юридичними експертами, правовласниками, політиками та розробниками технологій. Рішення можуть включати розробку стандартизованих інструкцій щодо авторського права, встановлення чітких

рамок ліцензування, підтримку реформи авторського права та використання технологій для управління правами та контролю доступу.

### **1.3 Стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою ШІ**

В останні десятиліття значні зусилля фахівців були спрямовані на створення цифрових ресурсів для управління культурною спадщиною, починаючи від ініціатив з оцифрування і закінчуючи розробкою складних першочергових дій реагування, таких як видалення відповідної інформації з публікацій у соціальних мережах [22]. Зовсім недавно методи глибокого навчання [23], і особливо згорткові нейронні мережі (CNN), були застосовані до зображень цінності культурної спадщини для виконання завдань класифікації та анотацій, які є критично важливими для документування [24], а також для полегшення доступу громадськості до цього вмісту. Автори [25] експериментували зі створенням мобільних додатків, які інтегрують канали глибокого навчання для розпізнавання пам'яток. Щодо пам'яток архітектури та інших пам'яток, то фахівцями [24] у 2017 році протестовано кілька згорткових нейронних мереж і досягнуто надзвичайної точності в класифікації зображень архітектурної спадщини за десятьма категоріями архітектурних елементів, утворюючи набір даних взято із зображень Flickr і Wikimedia Commons. У дослідженні, проведеному Кумаром [26] та іншими, зображення з публікацій у соціальних мережах використовувалися для ідентифікації постраждалих від стихійних лих сайтів. Незважаючи на низьку точність результатів прогностичних моделей, автори відзначили їх цінність у значному зменшенні ручних зусиль, пов'язаних із точним виявленням відповідних кандидатів для подальшого дослідження експертами. Інша група дослідників [27] у 2016 р. застосували глибоке навчання для пошуку зображень і візуального пошуку в корпусі класичних латинських і грецьких написів EAGLE. Це дозволило досягти значних результатів для функціональності пошуку в цифрових архівах, правильно ідентифікуючи понад 90% випадків. Сфера образотворчого живопису нараховує

більшу кількість досліджень, які використовують глибокі нейронні мережі для класифікації візуальних елементів, а також стилю живопису, що відображає неоднакову доступність високоякісних навчальних матеріалів у відкритому доступі [28], [29], [30].

Серед інституційних зусиль варто відзначити Метрополітен-музей, який оголосив про нещодавнє партнерство з Microsoft і Масачусетським технологічним інститутом для розробки низки випадків використання ШІ. Вони мають на меті збагатити користувальницький досвід роботи з творами мистецтва Met's Open Access шляхом виявлення прихованих візерунків, а також розширити доступ до музейних колекцій завдяки автоматизації процесу тегування та пов'язаної з цим економічності [31]. У той же час програми штучного інтелекту поступово впроваджуються в контексті бібліотек для досягнення ефективності обробки текстових і візуальних даних [32].

Зростає кількість індивідуальних технічних досліджень, які передбачають використання глибокого навчання в обробці цінних зображень культурної спадщини, проте впровадження таких методів інституційними власниками знаходиться на початковій стадії. Це відрізняється від значно більш широкого впровадження та популярності передових методів глибокого навчання в інших галузях, таких як медицина та пов'язана з нею область діагностичних зображень [23].

У 2019 році Dumbarton Oaks розпочав пілотний проект штучного інтелекту, зосереджений на колекції зображень із 10 000 зображень сирійських пам'ятників у Колекціях зображень Dumbarton Oaks та архівах польових робіт (ICFA). Проект мав на меті оцінити застосовність методів штучного інтелекту до великих фондів архівних зображень і матеріалів польових досліджень з метою визначення вдосконалень звичайних робочих процесів. Було застосовано програми комп'ютерного зору та машинного навчання в контексті дослідницької бібліотеки, щоб оптимізувати каталогізацію величезних архівних колекцій та зробити їх доступнішими і відкритішими [21].

## 1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» розкрито суть понять «культурна спадщина» та «цифрова культурна спадщина». Висвітлено питання довгострокового цифрового збереження спадщини з акцентом на аспектах забезпечення доступу до оцифрованих об'єктів культурної спадщини та їх захисті від зношування та цифрового старіння. Проаналізовано стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою штучного інтелекту; узагальнено наявні практики застосування ШІ для управління культурною спадщиною та для її збереження.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В СЕКТОРІ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

### 2.1 Технологічні передумови застосування інноваційних методів в секторі культурної спадщини

Щоб обґрунтувати актуальність впровадження сучасних технологічних досягнень, як-от штучний інтелект, в секторі культурної спадщини, важливо розглянути деякі ключові факти з ІТ-сфери (рис. 2.1). По-перше, 45% населення світу мають смартфони [33]. У першій десятці розвинених країн цей відсоток становить понад 73%. Інтернетом зараз користується майже 60% населення світу, а в США та Європі – майже 90% [34]. Навіть у менш розвинених країнах, таких як Танзанія (ВВП на душу населення у 2018 році становив приблизно 1050 доларів США [35]), яка має значну культурну спадщину (наприклад, сім об'єктів Світової спадщини ЮНЕСКО), відсоток абонентів мобільного зв'язку становить приблизно 80%, і вже у 2018 році 82% цього населення мали доступ до Інтернету через мобільні телефони [36].

По-друге, середній час заміни смартфонів становить менше 3 років (у США) [37], тому така модель, як Galaxy S9, є актуальним представником на сьогоднішній день у розвиненому світі. Ця модель має вісім ядер процесора, які можуть працювати на частоті  $\sim 3$  ГГц, потужний графічний процесор, щонайменше 3,5 ГБ оперативної пам'яті, а обсяг постійної пам'яті легко перевищує 50 ГБ. Хоча мобільні телефони архітектурно відрізняються від стаціонарних і портативних комп'ютерів, ці відмінності стають дедалі меншими. Не дивно – мобільні телефони можна навіть використовувати для майнінгу біткоїнів за допомогою таких додатків, як MinerGate (хоча і без прибутковості), а деякі цифрові валюти спеціально орієнтовані на мобільні телефони, такі як Monero.

По-третє, Інтернет речей незабаром стане домінуючим учасником глобального пулу великих даних – вже в 2022 року кількість цих пристроїв

перевищила 14 мільярдів. Вони переважатимуть інші пристрої, такі як настільні комп'ютери, ноутбуки та смартфони. Інтернет речей складається з взаємопов'язаних, унікально ідентифікованих пристроїв, які взаємодіють один з одним, починаючи від датчиків і закінчуючи механічними пристроями з електронним приводом, такими як актуатори [38]. Однак цій різноманітній популяції пристроїв зазвичай бракує обчислювальних ресурсів.

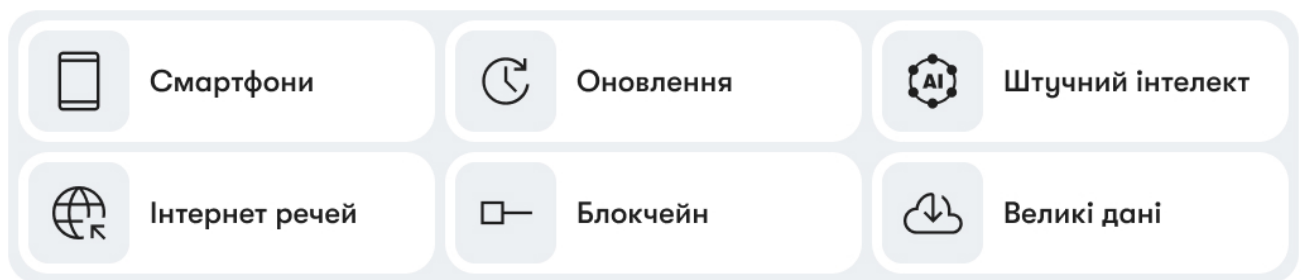


Рисунок 2.1 – Технологічні передумови поширення проривних технологій в секторі культурної спадщини

По-четверте, стає нормою блокчейн. Ці технології вже впроваджені в багатьох секторах – від державного управління до охорони здоров'я та промисловості, включаючи такі компанії, як Renault та IBM [39] [40]. Крім того, існує багато конкретних застосувань – від управління інтелектуальною власністю до смарт-контрактів. Очевидно, що, хоча блокчейн все ще перебуває на ранніх стадіях свого розвитку, він вже проникає в усі види бізнесу.

Під п'ятою та шостою позиціями варто вказати ШІ та великі дані, що проникають повсюдно – від онлайн-сервісів до автомобілів і домашніх помічників [41]. Ці двійники йдуть пліч-о-пліч – чим більше даних, тим кращі рішення зі штучного інтелекту. Крім того, в основній культурній діяльності ШІ відіграє дедалі важливішу роль: «ШІ може допомогти розширити можливості численних творців, зробити культурну індустрію більшефективною і збільшити кількість творів мистецтва, що відповідає інтересам громадськості» [42].

Надалі використаємо ці факти у відповідному контексті управління КС, особливо її відновленням, збереженням та презентацією. Цікаво, що в цій сфері все ще є багато можливостей для впровадження проривних технологій.



## **2.2 Можливості та виклики застосування ШІ для збереження культурної спадщини**

### **2.2.1 Роль ШІ у створенні та управлінні контентом**

Штучний інтелект відіграє все більш важливу роль у створенні та управлінні контентом. Будучи творцем або куратором контенту, штучний інтелект може допомогти в автоматизації трудомістких завдань, таких як вибір і категоризація вмісту, а також створення нового вмісту [43]. За допомогою штучного інтелекту контент можна створювати та доставляти швидше та ефективніше.

Однією з ключових переваг штучного інтелекту у створенні та управлінні контенту є здатність аналізувати дані та прогнозувати поведінку користувачів. Аналізуючи дані про вподобання та поведінку користувачів, штучний інтелект може давати рекомендації щодо вмісту, який, ймовірно, зацікавить певну аудиторію. Це може призвести до більш персоналізованого та релевантного вмісту для окремих користувачів, підвищуючи залученість і задоволеність користувачів.

Ще одна перевага штучного інтелекту у створенні та управлінні контенту — це можливість підвищення точності та узгодженості. Алгоритми штучного інтелекту можна запрограмувати на дотримання набору правил або інструкцій, забезпечуючи узгодженість вмісту з точки зору тону, стилю та форматування. Це може бути особливо корисним для створення великомасштабного контенту, наприклад статей новин або публікацій у соціальних мережах.

Однак є також занепокоєння щодо ролі штучного інтелекту у створенні та управлінні контенту, особливо щодо культурної чутливості та різноманітності. Оскільки штучний інтелект навчається на наявних даних, існує ризик того, що він може посилити існуючі упередження та увічнити стереотипи. Важливо переконатися, що штучний інтелект розробляється та навчається з різними наборами даних, щоб цього не сталося.

Загалом, роль штучного інтелекту у створенні та куруванні контенту все ще розвивається, і важливо ретельно розглянути потенційні переваги та проблеми використання цієї технології, щоб створювати контент, який буде водночас високоякісний і враховуватиме культурні особливості.

### **2.2.2 Етичні питання впливу ШІ на культурне різноманіття**

Разом із швидким технологічним прогресом та підвищенням ролі ШІ в секторі культурної спадщини зростає занепокоєння щодо впливу ШІ на різноманітність контенту та культурну чутливість. Зокрема, існує побоювання, що ШІ може посилити існуючі упередження, обмежити культурне самовираження та увічнити стереотипи. Автори [44] дослідили роль ШІ у створенні контенту та його потенційний вплив на культурну чутливість і різноманітність; вони заглибилися в способи використання штучного інтелекту для створення контенту, потенційні переваги та проблеми, які виникають, коли мова заходить про культурне представлення та продемонстрували, що вплив штучного інтелекту на різноманітність контенту та культурну чутливість є складним і багатограним, і що він вимагає ретельного розгляду та постійного діалогу між зацікавленими сторонами, щоб переконатися, що ця технологія використовується відповідально та етично.

Однією з найбільших проблем у зв'язку зі збільшенням використання ШІ є можливість посилення існуючих упереджень. Системи штучного інтелекту навчаються з використанням великих наборів даних, і якщо ці набори даних упереджені, то отримані системи штучного інтелекту також будуть упередженими.

Це упередження може проявлятися різними способами, але часто призводить до увічнення стереотипів і дискримінації певних груп. Наприклад, якщо система штучного інтелекту навчається з використанням даних, які є упередженими щодо певної раси чи статі, вона може увічнити цю упередженість, приймаючи рішення, які є несправедливими або дискримінаційними щодо осіб із цієї групи.

Одним із добре відомих прикладів цього є технологія розпізнавання обличчя. Дослідження показали, що системи розпізнавання облич є менш точними в ідентифікації кольорових людей, що може призвести до непропорційного рівня стеження та фальшивих звинувачень. Це тому, що набори даних, які використовуються для навчання цих систем, переважно складаються з білих облич, що призводить до упередженості проти небілих облич.

Посилення існуючих упереджень у ШІ є серйозною проблемою, але є кроки, які можна вжити, щоб пом'якшити цю проблему. Одним з важливих кроків є забезпечення того, щоб системи штучного інтелекту навчалися на різноманітних наборах даних із широким спектром прикладів і точок зору. Крім того, людський нагляд і етичні принципи можуть допомогти переконатися, що системи ШІ не приймають рішень, які є дискримінаційними або шкідливими для певних груп.

Зрештою, важливо визнати, що ШІ за своєю суттю не є упередженим, а скоріше відображає упередження, які існують у нашому суспільстві. Застосовуючи проактивний підхід до усунення упередженості в штучному інтелекті, ми можемо створити системи, які є більш справедливими, інклюзивними та відображають різноманіття нашого світу.

Отримані завдяки машинному навчанню алгоритми можуть увічнити існуючі стереотипи та упередження, що може призвести до неточних або образливих культурних уявлень.

Наприклад, інструментам мовного перекладу на основі штучного інтелекту може бути важко точно перекласти ідіоми або культурні посилання, які характерні для певних культур. Це може призвести до плутанини або непорозумінь, а також може закріпити стереотипи чи неправильне уявлення про культуру.

Ще одним обмеженням штучного інтелекту, коли справа доходить до репрезентації культури, є його нездатність зрозуміти нюанси та складності людської культури. ШІ може розпізнавати закономірності та робити прогнози на основі даних, але він не може повністю осягнути суб'єктивний досвід і культурні практики, які формують наші світогляди. Це може призвести до надмірного

спрощення або неправильного уявлення про культуру, а також може посилити існуючі упередження та стереотипи.

Вплив штучного інтелекту на культурне самовираження та різноманітність залежить від того, як він використовується та розвивається. Якщо системи штучного інтелекту розроблені з урахуванням культурної чутливості та інклюзивності, вони мають потенціал для забезпечення більшої різноманітності та креативності в культурному самовираженні. Однак, якщо штучний інтелект розробляється без урахування культурного розмаїття, він може зберегти існуючі упередження та стереотипи, які обмежують представлення різноманітних культур і поглядів. Працюючи над розробкою штучного інтелекту, який поважатиме та включатиме всі культури та точки зору, ми можемо гарантувати, що він матиме позитивний вплив на культурне самовираження та різноманітність.

### **2.3 Актуальні напрями застосування ШІ в секторі культурної спадщини**

Чимало сучасних досліджень спрямовані на розробку і впровадження інноваційних методів штучного інтелекту для аналізу, збереження та відновлення культурних об'єктів та історичних документів [45]. Зокрема, триває вдосконалення наступних напрямів:

- Розробка систем ШІ для класифікації документів: перспективними є розробки систем ШІ, здатних автоматично класифікувати та впорядковувати документи культурної спадщини. Ці системи використовують алгоритми машинного навчання для категоризації та збереження історичних текстів, рукописів і творів мистецтва.

- Методи цифрової реставрації: поточні дослідження включають вивчення цифрових методів реставрації пошкоджених або зіпсованих культурних артефактів, керованих штучним інтелектом. Використовуючи алгоритми обробки зображень і моделі глибокого навчання, дослідники роблять внесок у реставрацію та збереження творів мистецтва та археологічних знахідок.

– Управління семантичними анотаціями та метаданими – це ще одна область уваги дослідників. Передбачається розробка інструментів на основі ШІ, які додають контекстну інформацію до культурних артефактів, роблячи їх більш доступними та зрозумілими для дослідників і громадськості.

– Віртуальна реконструкція об'єктів культурної спадщини. Поєднання штучного інтелекту із технологіями віртуальної реальності (VR) сприяє цифровій реконструкції та візуалізації історичних пам'яток і археологічних пам'яток.

Дослідження демонструють величезний потенціал штучного інтелекту у збереженні та просуванні культурної спадщини. Його внесок у класифікацію документів, цифрову реставрацію, семантичну анотацію та віртуальну реконструкцію проклав шлях до інноваційних рішень у сфері збереження культурної спадщини.

Ще один напрям актуальних досліджень можливостей ШІ в секторі культурної спадщини – це застосування машинного навчання та обробка природної мови для аналізу та організації культурної спадщини у вигляді архівних документів, мистецьких творів тощо. Такі роботи відіграють важливу роль у вивченні інноваційних рішень ШІ для збереження культурної спадщини. Основні сфери наукових досліджень у цьому напрямку наступні:

– Обробка природної мови для культурних даних: широко досліджується застосування методів обробки природної мови для семантичного аналізу та анотації даних культурної спадщини. Ця робота включає розробку систем штучного інтелекту, які можуть отримувати важливі ідеї з історичних текстів, документів та архівів.

– Машинне навчання для розпізнавання художніх стилів. Дослідження поширюються на використання алгоритмів машинного навчання для автоматичної категоризації та розпізнавання художніх стилів у цифрових архівах. Навчаючи моделі ШІ на величезних колекціях творів мистецтва, фахівці полегшують ідентифікацію та класифікацію творів мистецтва на основі їхніх стилів і характеристик.

– Збереження культурних знань корінних народів. Ще одним фокусом досліджень є збереження культурних знань корінних народів за допомогою аналізу даних і систем управління знаннями на основі ШІ. Вчені досліджують способи збереження та передачі традиційних культурних звичаїв, мов і вірувань за допомогою цифрових сховищ та інтелектуального аналізу даних.

– Цифрова документація спадщини. Йдеться про розробку інструментів на основі ШІ для цифрової документації та збереження об'єктів спадщини та історичних пам'яток. Інтегрувавши ШІ з технологіями обробки зображень, дослідники сприяють створенню детальних цифрових копій і 3D-моделей культурних пам'яток для архівних і освітніх цілей.

– Проектування інтелектуальних систем для віртуальної реконструкції. Робота включає інтеграцію алгоритмів штучного інтелекту та технологій віртуальної реальності для створення захоплюючих і точних цифрових копій історичних пам'яток і артефактів.

– Семантична анотація та керування метаданими для артефактів. Ці дослідження включають розробку інструментів штучного інтелекту, які додають контекстну інформацію та покращують організацію культурних даних, полегшуючи доступ та інтерпретацію дослідникам і громадськості.

Методи реставрації та збереження, керовані ШІ – це алгоритми обробки зображень і моделі машинного навчання, що сприяють реставрації пошкоджених творів мистецтва та збереженню крихких рукописів, покращуючи їх довговічність і доступність.

Робота дослідників інновацій у сфері культурної спадщини охоплює також розробку спільних платформ ШІ для документування спадщини. Ці платформи дозволяють спільно збирати, аналізувати та документувати культурну спадщину, сприяючи міждисциплінарній співпраці та обміну знаннями між дослідниками, істориками та охоронцями культури, зокрема, наступні напрями:

1. Технологія зондування для аналізу та спостереження за культурними цінностями в мистецтві та архітектурі. Наприклад, датчики можна використовувати для відстеження змінних навколишнього середовища, таких як температура, вологість, рівень освітлення та якість повітря в об'єкті збереження

мистецтва.

2. Найкращі практики та передові підходи до захисту природного світу, щоб захистити та зберегти наше середовище, біорізноманіття та природні ресурси. Це вимагає комплексного та міждисциплінарного підходу, який враховує екологічні, соціальні та економічні аспекти.

3. Технології спостереження Землі та геонауки для оцінки ризику для культурної спадщини шляхом використання дистанційного зондування, геопросторових даних і геонаукових методів для моніторингу та оцінки потенційних загроз і вразливостей, з якими стикаються об'єкти культурної спадщини та артефакти.

Узагальнені характеристики методів штучного інтелекту, що використовуються в сфері культурної спадщини, подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Методи ШІ, що використовуються в сфері КС

Метод ШІ	Характеристики	Приклади застосування
Машинне навчання (ML)	Автоматичне виявлення шаблонів у даних; адаптація на основі нових даних.	Класифікація та анотація культурних об'єктів.
Глибоке навчання (DL)	Використання нейронних мереж для складного аналізу даних.	Відновлення пошкоджених артефактів; розпізнавання зображень.
Комп'ютерний зір (CV)	Аналіз та інтерпретація візуальної інформації за допомогою ШІ.	Віртуальна реконструкція; автоматична анотація зображень.
Натуральна обробка мови (NLP)	Аналіз та генерація текстової інформації.	Семантична анотація історичних документів; переклад текстів.
Робототехніка	Використання роботів для фізичної взаємодії з культурними об'єктами.	Автоматичне сканування та збереження артефактів.
Аналіз великих даних (Big Data Analytics)	Обробка та аналіз великих обсягів даних для виявлення закономірностей.	Моніторинг стану культурних об'єктів; прогнозування ризиків.
Семантичні мережі	Представлення знань у вигляді графів для полегшення пошуку та аналізу.	Організація та пошук інформації про культурні об'єкти.
3D-моделювання	Створення тривимірних моделей культурних артефактів.	Віртуальна реконструкція архітектурних пам'яток.



## 2.4 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи охарактеризовано технологічні передумови застосування інноваційних методів в секторі культурної спадщини, зокрема наведено дані світової статистики щодо кількості користувачів Інтернету та власників смартфонів, періодичності оновлення гаджетів, поширеності інноваційних технологій типу блокчейну, ШІ та великих даних. З позиції наведених фактів розглянуто впровадження методів штучного інтелекту в секторі культурної спадщини, зокрема розкрито роль ШІ у створенні та управлінні контентом; охарактеризовано складнощі стосовно етичних питань, пов'язаних з використанням ШІ – його можливі упередження та вплив на об'єктивне представлення культурного різноманіття в спадщині тощо.

Досліджено актуальні напрями застосування ШІ в секторі культурної спадщини, проаналізовано їх можливості та перспективи. Узагальнено характеристики найбільш поширених методів штучного інтелекту, що використовуються в сфері культурної спадщини та подано їх у формі таблиці.

### **3 ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ОКРЕМИХ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ**

#### **3.1 Алгоритми машинного навчання в обробці даних КС**

##### **3.1.1 Класифікація методів машинного навчання**

Можливості застосування машинного навчання (Machine Learning, ML) для збереження та репрезентації культурної спадщини привертають увагу багатьох дослідників в останні роки [46] [47].

«Машинне навчання — це метод аналізу даних, який автоматизує побудову аналітичної моделі. Використовуючи алгоритми, які ітеративно вивчають дані, машинне навчання дозволяє комп'ютерам знаходити приховані відомості, не будучи явно запрограмованим, де шукати» [48].

Групою авторів [49] було проведено попереднє дослідження різних алгоритмів машинного навчання, які використовуються для обробки даних культурної спадщини (алгоритми на основі правил, генетичні алгоритми, SVM, KNN тощо). Нижче описано дев'ять алгоритмів ML (рис. 3.1), а саме:

– SVM (Support Vector Machines – машини опорних векторів) [50]: це набір контрольованих алгоритмів навчання, які часто використовуються для регресії або класифікації. SVM — це алгоритм, заснований на статистичному навчанні. Ці алгоритми шукають усі точки даних, подібні до тих, що містяться в інших класах. Ці точки даних, відомі як опорні вектори, використовуються для завдання класифікації, інші точки даних ігноруються. Потім визначається найкраща лінія розмежування, відома як межа прийняття рішення.

– Наївний Байес (Naive Bayes, NB): це статистичний підхід, заснований на теоремі ймовірностей Байеса. NB використовує статистичні функції для визначення ймовірності того, що вхідні дані є релевантними для конкретного попередньо визначеного класу. Цей алгоритм повертає найімовірніший клас.

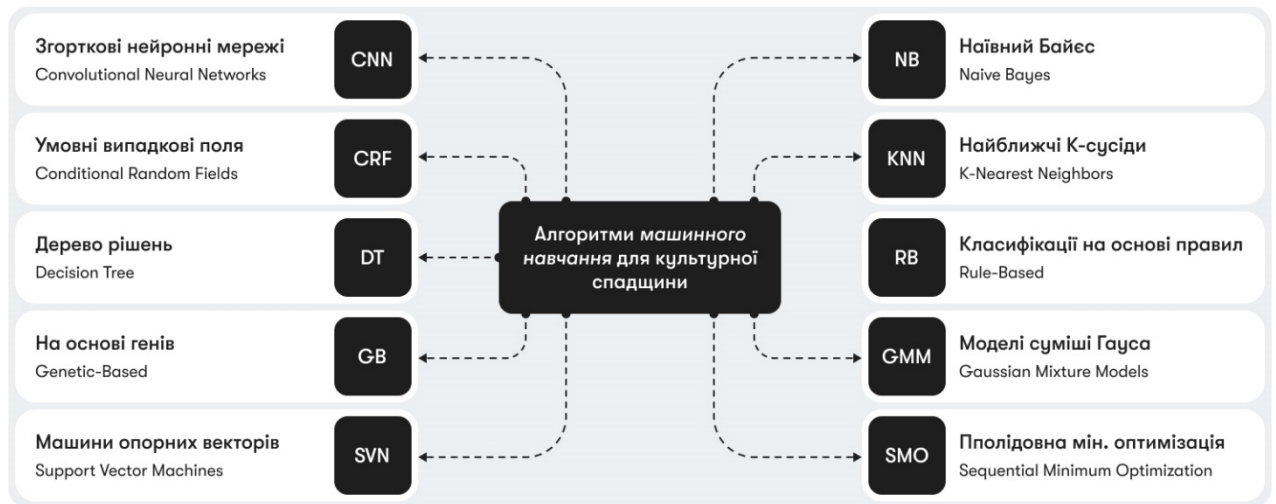


Рисунок 3.1 – Алгоритми машинного навчання

– Дерево рішень (Decision Tree, DT): заснований на логіці алгоритм. DT моделює набори даних в ієрархічних структурах, використовуючи ряд порівнянь операторів if/else. Кожен вузол у дереві складається або з вузлів рішень, які містять терміни (або об'єкти, які є більш складними), або листків, які містять передбачення міток класу. Вага кожного слова або предмета позначена на гілках.

– KNN (K-Nearest Neighbors): це статистичний метод для прогнозування нових вхідних даних шляхом обчислення подібності між тестовими даними та новим екземпляром шляхом визначення місцезнаходження найближчих точок даних (або об'єктів даних) у навчальному наборі даних. K позначає кількість найближчих точок даних (тобто сусідів). Величина K часто визначається за допомогою експериментальних даних.

– Класифікації на основі правил (Rule-Based, RB) – це алгоритми, у яких набори правил представляють набір даних. На відміну від DT, які використовують суворо ієрархічний підхід, класифікатори RB допускають перекриття в просторі рішень. Ці правила поділені на два розділи: ліва частина складається з умов, а права частина складається з класів. Набір даних використовується для створення цих правил.

– Згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) – широко використовуються для обробки зображень або відео, включаючи класифікацію зображень. Термін «згорткова мережа» відноситься до математичної концепції,

відомої як продукт згортки. Простіше кажучи, застосовується фільтр до вхідного зображення, і параметри фільтра вивчаються по ходу роботи. Після цього навчений фільтр використовуватиметься для розпізнавання та класифікації більш складного зображення чи об'єкта. Для класифікації зображень архітектурної спадщини автори пропонують і впроваджують попередньо підготовлені CNN, такі як GoogLeNet, resnet18 і resnet50 в [51]. Мета полягає в тому, щоб покращити управління базою даних зображень і полегшити пошук конкретного елемента, тим самим полегшивши вивчення та аналіз відповідного об'єкта спадщини.

– На основі генів (Genetic-Based, GB) – алгоритми GB є підмножиною еволюційних алгоритмів. Мета полягає в тому, щоб використовувати механізм оптимізації для наближення розв'язку NP-повної проблеми. Алгоритм GB починається з сукупності варіантів рішень, відомих як індивідууми, які розвиваються від покоління до покоління, доки перше не міститиме найкращі рішення. Кожна особина має унікальні характеристики, на які можуть впливати генетичні мутації (мутація, схрещування тощо). Кожна особистість оцінюється, і її значення придатності використовується як критерій виживання від покоління до покоління.

– Умовні випадкові поля (Conditional Random Fields, CRF) – це методи статистичного моделювання, які використовуються в машинному навчанні. Класифікатор передбачає мітку одного зразка без урахування контексту. Прогноз представлено як графічна модель, тип якої залежить від програми, і вона включає в себе залежності між прогнозами.

– Моделі суміші Гауса (Gaussian Mixture Models, GMM) – це імовірнісні моделі, які розподіляють точки в різні групи за допомогою підходу гнучкого кластеризування. GMM передбачає велику кількість розподілів Гауса, кожен з яких представляє кластер. Як результат, модель суміші Гауса прагне кластеризувати точки даних, які належать одному розподілу.

У порівнянні з алгоритмами загального квадратичного програмування (Quadratic Programming, QP), послідовна мінімальна оптимізація (Sequential Minimum Optimization, SMO) є простим і ефективним алгоритмом, який

використовується для вирішення проблеми навчання у векторах SVM. На кожному кроці SMO розкладає глобальну проблему QP на підпроблеми QP і вирішує меншу можливу проблему оптимізації.

### **3.1.2 Методи машинного навчання для розпізнавання і порівняння творів мистецтва**

Завдання класифікації творів образотворчого мистецтва надзвичайно складне. Вивчаючи картину, мистецтвознавець зазвичай може визначити її стиль, жанр, художника та період, до якого вона належить. Історики мистецтва часто йдуть далі, шукаючи впливів і зв'язків між художниками, що є ще складнішим завданням [52].

Бабак Салех з колегами в Ратгерському університеті в Нью-Джерсі продемонстрували, що комп'ютер може класифікувати картини та знаходити зв'язки між ними

Ці вчені використали новітні методи обробки зображень і класифікації, щоб автоматизувати процес виявлення впливу великих митців один на одного [53]. Вони навіть змогли виявити впливи між художниками, яких історики мистецтва ніколи не визнавали досі.

Мистецькі експерти підходять до цієї проблеми шляхом порівняння творів мистецтва відповідно до ряду концепцій високого рівня, таких як використання художником простору, текстури, форми, форми, кольору тощо. Експерти також можуть розглянути те, як художник використовує рух у картині, гармонію, різноманітність, баланс, контраст, пропорції та малюнок. Інші важливі елементи можуть включати предмет, мазки, значення, історичний контекст тощо. Зрозуміло, що це складний бізнес.

Отже, легко уявити, що обмежені можливості комп'ютерів для аналізу двовимірних зображень зроблять цей процес більш-менш неможливим для автоматизації, проте згадані дослідники показують, як це можна зробити.

В основі їхнього методу лежить нова техніка, розроблена Дартмутським коледжем у Нью-Гемпширі та дослідженнями Microsoft у Кембриджі,

Великобританія, для класифікації зображень відповідно до візуальних концепцій, які вони містять. Ці поняття називаються класами й включають усе: від простого опису об'єкта, такого як качка, фрісбі, людина, тачка, до відтінків кольорів і описів вищого рівня, таких як мертве тіло, водойма, ходьба тощо.

Тоді порівняння зображень є процесом порівняння слів, які їх описують, для чого існує ряд добре встановлених прийомів.

Цей підхід застосовують до понад 1700 картин 66-ти художників, що працюють у 13-ти різних стилях. Разом ці художники охоплюють період часу від початку 15 століття до кінця 20 століття. Щоб створити базову істину, за якою можна порівняти свої результати, вони також порівнюють думки експертів щодо того, хто з цих митців вплинув на інших.

Для кожної картини вони обмежують кількість концепцій і цікавих точок, створених їхнім методом, до 3000 в інтересах ефективного обчислення. Цей процес генерує список описувальних слів, які можна розглядати як свого роду вектор. Потім завдання полягає в тому, щоб шукати подібні вектори за допомогою техніки природної мови та алгоритму машинного навчання.

Однак визначити вплив важче, оскільки сам вплив є поняттям, яке важко визначити. Чи слід вважати, що один художник впливає на іншого, якщо одна картина має велику схожість з іншою? Чи має бути кілька подібних картин, і якщо так, то скільки?

Тож Салех і його колеги експериментують із кількома різними показниками. Зрештою вони створюють двовимірні графіки з метриками різних типів на кожній осі, а потім відображають положення всіх художників у цьому просторі, щоб побачити, як вони згруповані.

Результати цікаві. У багатьох випадках алгоритм чітко визначає впливи, які вже виявили мистецтвознавці. Наприклад, графіки показують, що австрійський художник Клімт близький до Пікассо та Брака, і справді експерти добре знайомі з ідеєю, що на Клімта вплинули обидва ці художники. Алгоритм також визначає вплив французького романтика Делакруа на французького імпресіоніста Базіля, вплив норвезького художника Мунка на німецького художника Бекмана та вплив Дега на Кайбота.

Алгоритм також здатний ідентифікувати окремі картини, які вплинули на інших. Він вибрав «Людину зі скрипкою» Жоржа Брака та «Іспанський натюрморт: сонце й тінь» Пабло Пікассо, обидва написані в 1912 році з добре відомим зв'язком як картини, які допомогли заснувати рух кубізму (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Порівняння творів «Людина зі скрипкою» Жоржа Брака та «Іспанський натюрморт: сонце і тінь» Пабло Пікассо [53]



Рисунок 3.3 – Порівняння творів «Старий виноградник», «Селянка», «Ферма»

Розроблений алгоритм також пов'язав «Старий виноградник» (ліворуч) Вінсента Ван Гога з «Селянкою» (1890) і «Ферма» (1922) Джоан Міро, які містять схожі об'єкти та декорації, але мають дуже різні настрої та стиль (рис. 3.3).

### **3.1.3 Smart-аналіз документів за допомогою машинного навчання**

Масштабне оцифрування культурної та історичної спадщини породило великі об'єми цифрових документів, які потребують якісного впорядкування для полегшення доступу до них. Якщо ці документи та файли зберігаються та обробляються структурованим способом, то можуть бути використаними для багатьох цілей, а доступ до них стає набагато легшим. Групування вмісту використовується для сортування архівів у попередньо визначеному наборі класів.

Класифікація документів – це групування документів у вигляді одного або кількох наборів попередньо визначеного типу. Класифікація документів спрямована на велику кількість безладних документів, які необхідно класифікувати для кращого розуміння та зручності.

Продемонструвати принцип класифікації документів та технологію навчання цьому моделі зручно на прикладі проекту, представленого в 2019 р. авторами [54]. Проект класифікації документів за допомогою AI-ML «Smart Document Analysis Using Machine Learning» мав на меті розділення римованого тексту, тобто віршів, від неримованого.

На першому етапі відбувався збір даних. Було відібрано з інтернету певну кількість віршів, збережених в окремих файлах, та неримованого тексту, а саме статей з Вікіпедії. Кожен текстовий файл, що містить дані Rhyme і Non-Rhyme, перетворюється на кадри даних (формат .csv) за допомогою фрагмента коду, де кожен файл аналізується та зберігається як кадр даних. Коли дані підготовлені, вони аналізуються для виділення ознак, які допомагають розрізнити два різні документи.

Залежно від зібраних даних і після їх аналізу необхідно визначити особливості даних. Функції – це ті ознаки, які допомагають відрізнити документи



один від одного, тому вибір функцій мав велике значення. Особливості, які розглядалися, щоб відрізнити римований документ від неримованих документів – це кількість рим (кількість римованих слів), стандартне відхилення (відхилення рядків) і кількість слів у кожному рядку.

Після визначення функції шляхом аналізу даних було написано фрагмент коду на python, щоб витягти ті функції, де виявлену ознаку було збережено у фреймі даних, оскільки дані як кадри даних легко обробляються та використовуються в Python і машинному навчанні.

Після виділення ознак модель, побудовану залежно від функції та побудованої моделі, навчалася шляхом поділу зібраних даних на тестовий набір даних і навчальний набір даних.

Після навчання моделі зібраним набором даних застосовуються різні алгоритми, спеціально розроблені для класифікації, щоб визначити точність моделі. Найкращу точність забезпечив алгоритм Random forest, тому його було обрано і для перевірки нового набору даних. Пізніше було взято нові набори даних і введено в модель, щоб визначити її точність і класифікувати нові дані.

Усі зазначені вище кроки та етапи класифікації документів за допомогою машинного навчання підсумовано на рисунку 3.4. Тут представлено дві фази, одна — це фаза навчання, де беруться необроблені дані, функції витягуються шляхом аналізу даних. Ці витягнуті функції використовуються як вхідні дані для алгоритму машинного навчання для створення моделі класифікатора, яка класифікує документи.

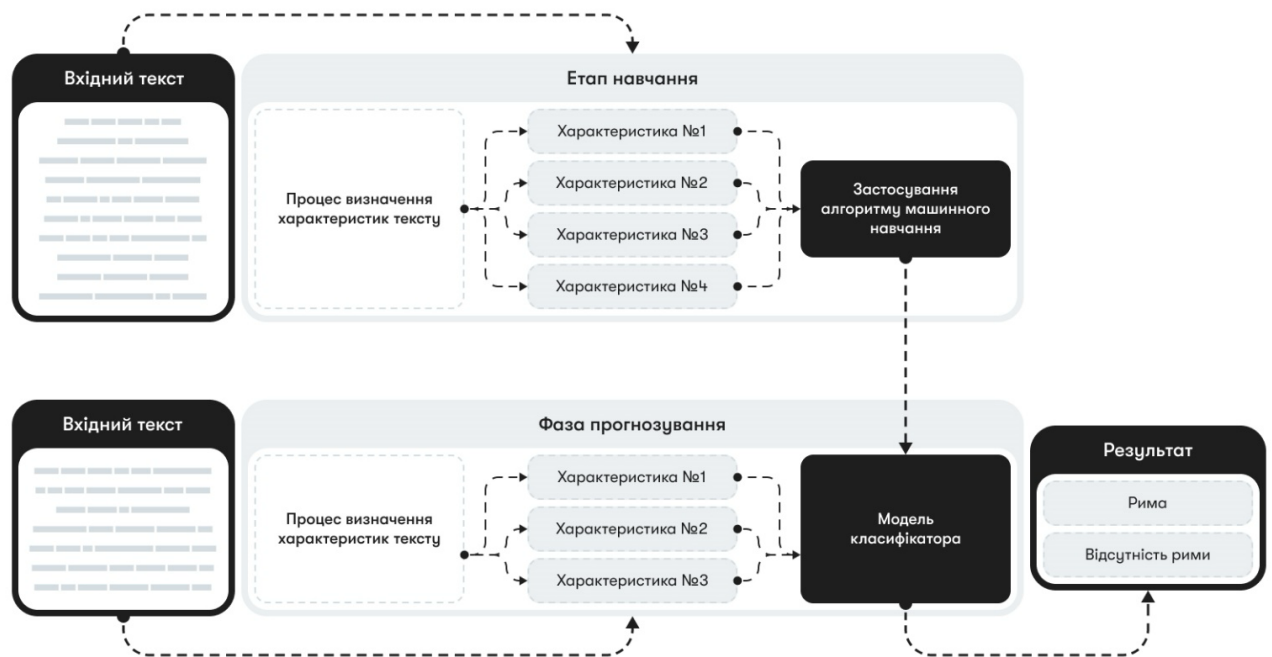


Рисунок 3.4 – Архітектура класифікації документів за допомогою машинного навчання

Наступний важливий етап – етап прогнозування. Ця фаза також відома як фаза тестування. На цьому етапі нові дані надаються як вхідні дані, і відбувається той самий крок, на якому ознаки витягуються з цих даних, і ці ознаки надсилаються до моделі класифікатора, яка допомагає в класифікації. Залежно від виділеної ознаки здійснюється класифікація і видається вихідна мітка.

Як вже згадувалося вище, алгоритм, який використовувався в проекті, — це алгоритм випадкового лісу (англ. Random forest). Випадковий ліс є найвідомішим алгоритмом, що використовується як алгоритм класифікації та регресії, також це комбінація алгоритму дерева рішень, де багато дерев рішень разом утворюють випадковий ліс (рис. 3.5). Багато дерев рішень об'єднуються, щоб отримати велику кількість дерев, і результати класифікації кожного дерева рішень розглядаються та порівнюються з результатами інших дерев рішень, і враховується максимальний результат багатьох дерев рішень, а максимальні результати дерева рішень розглядаються як кінцевий результат алгоритм випадкового лісу. Його також називають Свавільним лісом.

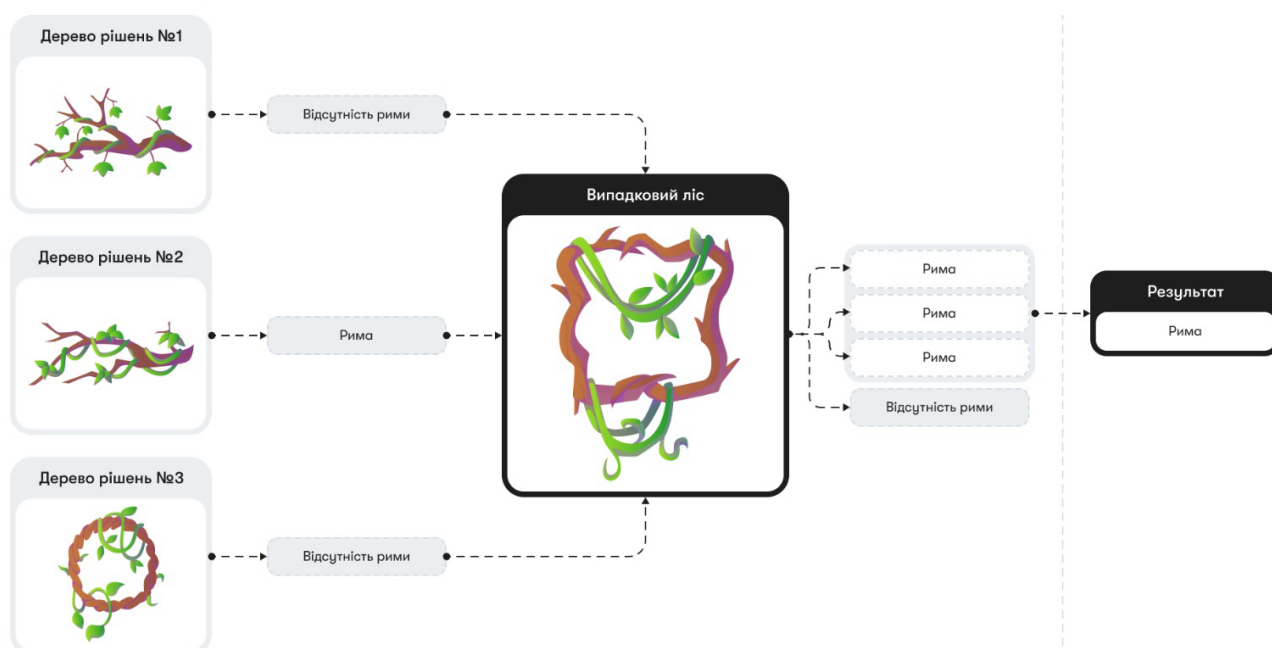


Рисунок 3.5 – Графічне зображення алгоритму випадкового лісу, застосованого в проекті [54]

Як зрозуміло з назви, алгоритм створює ліси і використовує різні стратегії реалізації. Лісом в цьому алгоритмі в основному називають групу дерев, точніше дерев рішень, які не готуються за допомогою техніки пакування. Загальноприйняте використання техніки пакування полягає в тому, що вона навчає навчальні моделі будувати загальний спосіб виводу [55].

### 3.1.4 Алгоритми машинного навчання для розробки рекомендаційної системи об'єктів наукової культурної спадщини

Цікавим підходом до застосування машинно навчання в секторі культурної спадщини є розробка рекомендаційної системи (РС) об'єктів наукової спадщини, запропонована групою авторів [56].

Це дослідження зосереджувалося на створенні та тестуванні структури рекомендацій наукової культурної спадщини на основі алгоритмів ML і семантичних даних за допомогою еталонної моделі CIDOC-CRM. Як відомо, рекомендаційні системи є одним з найбільш популярних додатків інтелектуального аналізу даних і машинного навчання в сфері інтернет-бізнесу,

тобто це певний спосіб відбору інформації, при якому будується рейтинговий перелік об'єктів, яким користувач потенційно може надати перевагу.

Загалом розроблювана наукова рекомендаційна система об'єднує такі основні функції:

1) Збір/навчання. Цей етап є першим типовим кроком кожної рекомендаційної системи. Це делікатний і необхідний крок, оскільки вихід будь-якої системи залежить від якості та обсягу вхідних даних, і він займає більшу частину часу, витраченого на проект.

2) Створення профілю користувача: Розробка профілю користувача відбувається відповідно до попереднього етапу та взаємодії суб'єкта в системі, особливо якщо РС має гібридний тип, як у цьому дослідженні. Однією з найскладніших проблем РС є проблема холодного запуску, коли машина не має даних про актора, який повинен її використовувати. Ця проблема вирішується шляхом призначення профілю за замовчуванням кожному новому користувачеві на основі семантичного середнього значення того, що відвідується і що є найбільш бажаним для інших користувачів, завдяки семантично тісному зв'язку між об'єктами, якими маніпулює система.

3) Вилучення об'єктів. Наступним кроком є вилучення найцікавішого для користувача. Для забезпечення семантичної сторони вилучення об'єктів, що цікавлять користувача, в РС використовується декілька методів, які залежать від здатності системи інтерпретувати та розуміти взаємодію з користувачем (онтології, RDF-графи, SPARQL-запити тощо). У даному проекті для інтеграції даних наукової культурної спадщини використовувався стандарт CIDOC-CRM, що є найбільш широко використовуваною онтологією та пропонує ряд переваг, які роблять її еталонною. Використання онтології має на меті ідентифікувати об'єкти, які семантично пов'язані з цікавими для користувача елементами, щоб забезпечити якомога багатший вміст.

4) Класифікація. Класифікація допомагає організувати витягнуті об'єкти на основі їх профілю і важливості для кінцевого користувача. Для виконання цієї місії було розглянуто ряд алгоритмів на основі очікуваних характеристик і продуктивності. Перевагу отримали технології машинного

навчання, які продемонстрували високу ефективність при застосуванні до об'єктів культурної спадщини – Naive-Bays (Наївний Баєс), SVM (машини опорних векторів), CNN (згорткові нейронні мережі) тощо.

5) Рекомендація. У процесі рекомендації складається список елементів, які можуть зацікавити кінцевого користувача. Цей список, як правило, представлений у порядку релевантності на основі створеного профілю користувача. На основі взаємодії користувача з системою цей профіль постійно оновлюється. Глибина семантичного зв'язку визначається для того, щоб кінцевий користувач не загубився у величезній кількості наданих йому даних. Найкраща глибина наразі визначається тим, що спостерігається практично під час взаємодії користувача, але це буде предметом набагато більш глибокого дослідження на основі того, що спостерігається.

Кожен об'єкт  $O_i$  представляється набором з  $n$  ознак  $(f_1; f_2. . .; f_n)$ . Позначимо  $d$  функцію відстані, яка використовується для порівняння об'єктів. Якщо  $D$  є базою даних (реляційною БД та базою знань) об'єктів, то сусід з  $k$ -осередку об'єкта, позначеного  $q$ , може бути описаний за допомогою :

$$NN(k, q, D) = \begin{cases} s \in D \setminus \forall r \in D d(q, r) \geq d(q, s) & \text{if } k = 1 \\ NN(k - 1, q, D \setminus NN(k - 1, q, D)) & \text{if } k \geq 2 \end{cases}$$

Користувач через свою взаємодію з системою ідентифікує входи. Новим зв'язкам автоматично присвоюється набір понять, витягнутих з його профілю або загального профілю. Цей алгоритм відноситься до типу KNN, і кількість  $k$  найближчих сусідів, показаних на виході, адаптується до пристрою відображення, що використовується кінцевим користувачем (див. алгоритм на рис. 3.6).

---

**Algorithm 1 : Best item recommendation**


---

**Inputs** Target User :  $U$   
Set of Concepts :  $C$   
Number of items to recommend  $n \in \mathbb{N}$   
 $p \leftarrow 3$  (link depth)

**Outputs**

```

foreach  $x \in C$  do
     $pr \leftarrow \text{depth}(x, U)$ 
    If  $pr \leq 3$  then
         $d \leftarrow \text{measure}(x, U)$ 
        If  $d \leq \epsilon$  then
             $R.\text{add}(x)$ 
        end
    end
end

```

---

Рисунок 3.6 – Алгоритм відбору рекомендованих об'єктів [56]

Глибина обмежена трьома рівнями семантичних зв'язків, витягнутих із семантичного представлення концепту наукової КС. Це обмеження було накладено після серії експериментів і тестів. Для кожного витягнутого поняття обчислюється семантична відстань, і якщо вона менша за певний поріг, то елемент додається до списку виведення.

### 3.2 Збереження КС за допомогою блокчейн-технологій

Блокчейн-технології проникають у різні сфери життя завдяки парадигмальному підходу та новому рівню консенсусу, де користувачі обмінюють обчислювальні ресурси своїх мобільних телефонів на цифрові токени. На рівні стимулів ці два шари уможливають нові бізнес-моделі. Причини використання блокчейну як технологічної основи для збереження КС досить прості. В ідеалі, культурна спадщина повинна зберігатися в тому вигляді, в якому вона була створена, якомога довше, і блокчейн ідеально підходить для цієї мети. Цифрові токени поширюються через Інтернет, будучи стійкими до збоїв окремих комп'ютерів і багатьох атак зловмисників. Вони зберігають цілісність матеріалів, що містяться в них, завдяки криптографії та процедурам

консенсусу міжвузлами-учасниками, що має вирішальне значення для того, щоб культурні артефакти залишалися такими, якими вони є, незмінними. Крім того, такі реєстри залишаються широко доступними для громадськості, з усіма відповідними додатковими даними (такими як назва, автор, місцезнаходження тощо). Отже, така відкритість підвищує довіру до системи, її безпеку, прозорість і дозволяє добре відстежувати дані [57].

Основним елементом технології блокчейн є сильні односторонні хеш-функції (one-way hash functions, OHFs) [58]. Хеш-функції можна розглядати як функції, які приймають будь-який тип цифрового входу, наприклад, фото, відео, 3D-модель скульптури, і видають вихід, який однозначно ідентифікує вхід. Цей вихід являє собою цифровий відбиток вхідного файлу. Знаходження виходу на основі входу є швидким і не вимагає великих обчислень, тоді як знайти вхід, знаючи лише вихід, практично неможливо. Вхідні дані можуть мати практично будь-яку довжину, а вихідні дані мають фіксовану довжину, зазвичай 256 біт. Крім того, якщо один і той самий вхід завжди дає один і той самий вихід, не можна заздалегідь знати, яким буде значення виходу, якщо відомо лише значення входу. Інакше кажучи, при першому поданні вхідних даних на хеш-функцію, всі виходи є рівноймовірними.

Іншим ключовим елементом є криптографія з відкритим ключем (public-key cryptography, РКС). У цьому типі криптографії користувач має приватний ключ і відповідний йому відкритий ключ. Перший тримається в секреті, а другий є загальнодоступним. Коли файл зашифрований відкритим ключем, розшифрувати його може лише власник закритого ключа – таким чином, будь-хто може надіслати конфіденційне повідомлення власнику закритого ключа. Однак, якщо файл зашифровано за допомогою закритого ключа, будь-хто може розшифрувати його за допомогою відкритого ключа. Таким чином, всі знають, що файл походить від власника відповідного приватного ключа, і що він є незмінним (якщо він розшифрований належним чином). Останній варіант забезпечує функціональність цифрового підпису. Найпоширенішим типом асиметричної криптографії в блокчейні є криптографія еліптичних кривих (ЕСС). Як випливає з назви, алгебраїчні структури, що застосовуються, базуються на еліптичних кривих. ЕСС

забезпечує більш ефективне застосування у порівнянні з широко розповсюдженим алгоритмом RSA (Rivest-Shamir-Adleman), оскільки для досягнення порівнянної криптографічної стійкості потрібен на порядок коротший ключ [58]. Цих двох основних елементів достатньо для впровадження блокчейну, що показано на рис. 3.7.

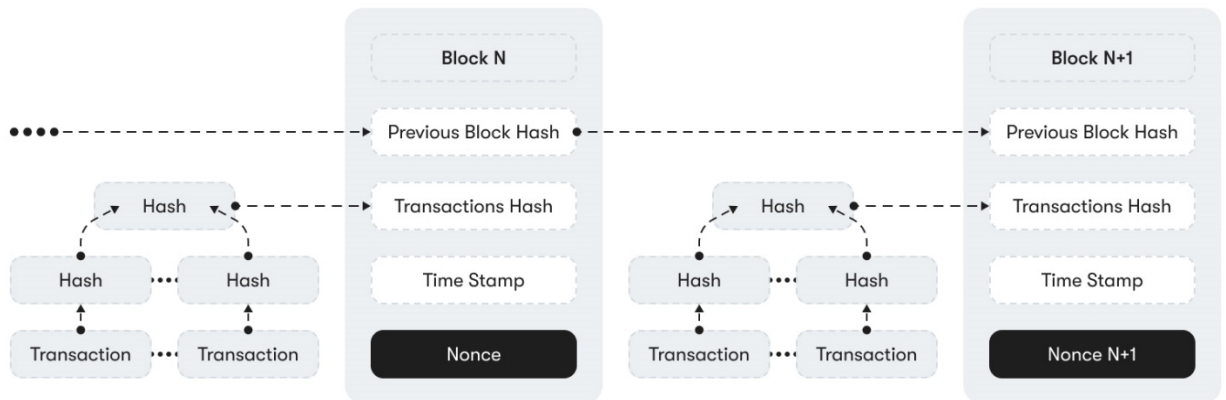


Рисунок 3.7 – Структурні елементи блокчейну та його архітектура

Структура на рисунку 3.7 по суті складається з дерев транзакцій/хешів, що пов'язані з послідовністю криптографічно зв'язаних використанням останніх транзакцій, і перед тим, як додати його до існуючого блокчейну, вузли однорангової мережі намагаються знайти таке значення (nonce) для блоку, яке при хешуванні призведе до появи певної кількості початкових нулів. Як тільки вузол знаходить такий нонс, блок-кандидат разом з нонсом надсилається на перевірку всій одноранговій мережі. Якщо він правильний, цей новий блок стає частиною блокчейну, а його зв'язок з існуючим блокчейном забезпечується за рахунок включення хешу попереднього легітимного блоку (див. рис. 3.7). Крім того, вузол, який знайшов правильний нонс, винагороджується біткоїнами. Отримавши винагороду, власник може витратити свої біткоїни через транзакції, де транзакція означає, що власник цифровим підписом передає певну кількість біткоїнів іншому власнику (наприклад, в обмін на отримання товару або твердої валюти).



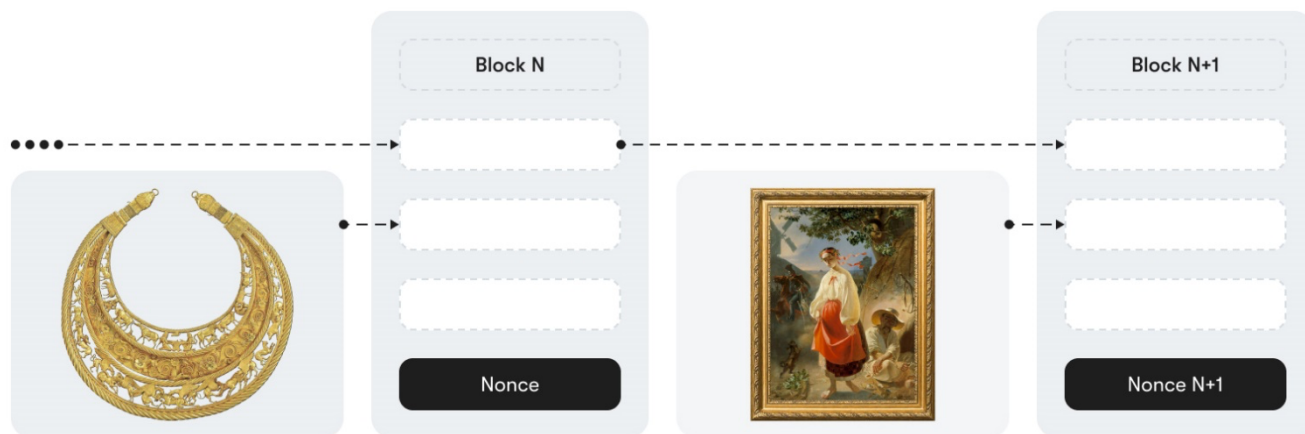


Рисунок 3.8 – Включення цифрових об'єктів до блокчейну за допомогою хешованих посилань

На рисунку 3.8 проілюстровано, як блокчейн може бути використаний для культурної спадщини. В даному випадку відбувається включення одного власне цифрового об'єкта (наприклад, 3D-скульптури) та одного оцифрованого об'єкта класичної спадщини (наприклад, картини) до блокчейну за допомогою хешованих посилань.

Представлена архітектура зберігає основні блоки (які складаються з хешів попереднього блоку, хешів верхнього рівня дерева даних, міток часу та нонсів) у мережі (peer-to-peer, P2P) на основі мобільних телефонів. Файли, пов'язані з культурною спадщиною (і підписані цифровим підписом), разом з похідними хеш-деревами зберігаються у хмарі. Ці дерева пов'язані через хеш-вузли верхнього рівня з основним блокчейном. На рисунку 3.9 представлено рівень реєстру та рівень консенсусу нової IT-архітектури культурної спадщини (блок n + 1 видобувається, в той час як попередній блок вже видобутий і забезпечує цілісність)

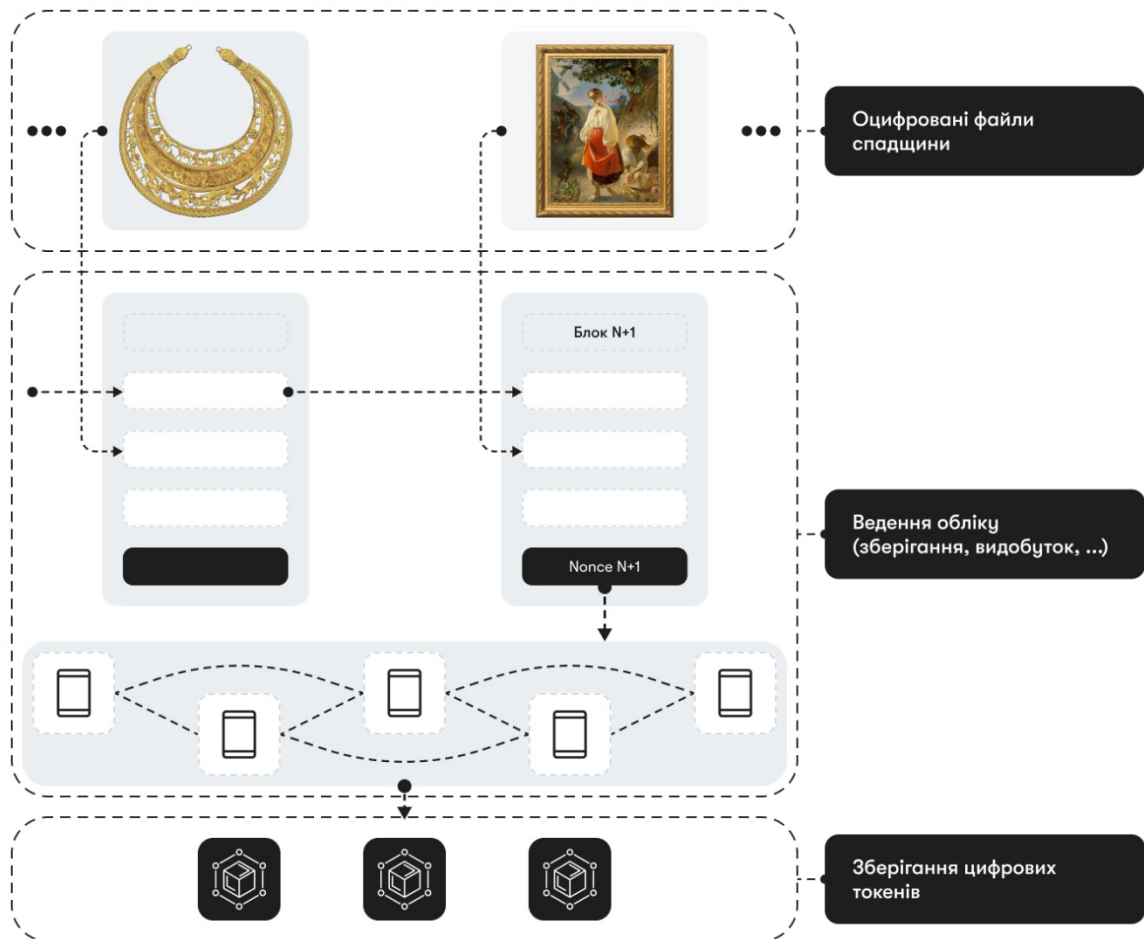


Рисунок 3.9 – IT-архітектура культурної спадщини в блокчейн

Основний ланцюжок може зберігатися в мережі мобільного зв'язку, оскільки він має невелику вагу. Кожен блок має лише два хеш-значення, одне times-tamp і одне nonce, де 64 байти для кожного з них, плюс деякі накладні дані, можна вважати достатніми. З іншого боку, кожне дерево файлів даних спадщини може мати розмір від кількох мегабайт до кількох гігабайт. Тому загальнонаціональний реєстр культурної спадщини може легко розростися до ТБ. Отже, ці дерева потрібно зберігати в хмарі.

### 3.3 Машинний зір і КС

Область комп'ютерного зору – це активний зір, який іноді також називають активним комп'ютерним зором. Система активного бачення – це система, яка може маніпулювати точкою огляду камери (камер), щоб досліджувати навколишнє середовище та отримувати з нього кращу інформацію.

Увагу дослідників в останні роки привертає вивчення можливостей і проблем застосування комп'ютерного бачення та машинного навчання до колекцій архівних зображень, які мають значну культурну спадщину [59] [60]. Ці питання досліджуються з інституційної точки зору. Як приклад, наведемо пілотний проект, розроблений у Dumbarton Oaks, науково-дослідному інституті та бібліотеці, музеї та історичному саду, пов'язаному з Гарвардським університетом і розташованому у Вашингтоні, округ Колумбія. Проект був зосереджений на колекції з 10 000 зображень сирійських пам'яток у Колекціях зображень та архівах польових робіт установи (ICFA). Спираючись на цей проект, а також на ширший ландшафт категоризації на основі штучного інтелекту в галузях мистецтва та архітектури, автори продемонстрували потенціал штучного інтелекту для полегшення та покращення доступу до архівних зображень і запису [22]. Для Dumbarton Oaks основною метою було дослідити, чи може штучний інтелект підвищити швидкість і ефективність обміну колекціями та забезпечити більш складне курування предметними експертами, які, завдяки автоматизації, будуть звільнені від тягаря обробки напам'ять. Для технологічних партнерів експериментальна цінність проекту полягала в доступності колекції, до якої можна було надати спільний відкритий доступ (без проблем із конфіденційністю чи авторським правом), і була достатньо зосереджена, щоб отримати набір для навчання для конкретної області. Досліджувані методи та техніки включали класифікацію за кількома мітками, класифікацію за кількома завданнями, кластеризацію зображень без нагляду та можливість пояснення.

Наведемо приклади інших прикладних досліджень ШІ загалом та комп'ютерного зору зокрема в роботі з культурною спадщиною. Методи глибокого навчання і особливо згорткові нейронні мережі (CNN), були застосовані до зображень цінної культурної спадщини для виконання завдань класифікації та анотацій, які є критично важливими для документування [23] [61], а також для полегшення доступу громадськості до цього вмісту. Науковці [24] [25] експериментували зі створенням мобільних додатків, які інтегрують канали глибокого навчання для розпізнавання пам'яток. Щодо пам'яток

архітектури та пам'яток [61] у 2017 році протестовано кілька згорткових нейронних мереж і досягнуто надзвичайної точності в класифікації зображень архітектурної спадщини за десятьма категоріями архітектурних елементів, утворюючи набір даних із зображень.

Сфера образотворчого живопису нараховує більшу кількість досліджень, які використовують глибокі нейронні мережі для класифікації візуальних елементів, а також стилю живопису, що відображає неоднакову доступність високоякісних навчальних матеріалів у відкритому доступі [28] [30]. Серед інституційних зусиль Метрополітен-музей оголосив про нещодавнє партнерство з Microsoft і Массачусетським технологічним інститутом для розробки низки випадків використання ШІ. Вони мають на меті збагатити користувальницький досвід роботи з творами мистецтва Met's Open Access шляхом виявлення прихованих візерунків, а також розширити доступ до музейних колекцій завдяки автоматизації процесу тегування та пов'язаної з цим економічності [31]. У той же час програми штучного інтелекту поступово впроваджуються в контексті бібліотек для досягнення ефективності обробки текстових і візуальних даних [30].

### **3.4 Узагальнення переваг та недоліків використання ШІ в збереженні культурної спадщини**

З розвитком технологій штучний інтелект став потужним інструментом у різних сферах, зокрема й у збереженні культурної спадщини. Хоча ШІ пропонує численні переваги, він також створює певні виклики.

Окреслимо переваги використання штучного інтелекту для збереження культурної спадщини:

1. Автоматизоване документування та аналіз:

*Ефективність:* ШІ може швидко і точно документувати культурні артефакти та об'єкти, створюючи детальні цифрові записи без значної ручної праці.

*Точність:* Передові методи візуалізації та алгоритми ШІ можуть фіксувати найдрібніші деталі, які може пропустити людське око, забезпечуючи вичерпний запис.

## 2. Реставрація та консервація:

*Оцінка пошкоджень:* ШІ може аналізувати стан артефактів і прогнозувати потенційне погіршення, що дозволяє вчасно втрутитися.

*Цифрова реставрація:* Машинне навчання та обробка зображень можуть реконструювати пошкоджені або відсутні частини артефактів, надаючи візуалізацію їхнього первісного вигляду.

## 3. Підвищення доступності та залучення:

*Віртуальні тури:* Віртуальні тури з використанням штучного інтелекту і доповненої реальності можуть зробити об'єкти культурної спадщини доступними для глобальної аудиторії, сприяючи кращому сприйняттю і розумінню.

*Освітні інструменти:* ШІ може створювати інтерактивні та захоплюючі освітні інструменти, покращуючи досвід навчання, пов'язаний з культурною спадщиною.

## 4. Управління даними та семантична анотація:

*Організація:* ШІ може класифікувати й анотувати величезні обсяги культурних даних, полегшуючи дослідникам і громадськості пошук і вивчення.

*Генерування інсайтів:* Аналізуючи закономірності та зв'язки в даних, штучний інтелект може відкривати нові знання про культурну спадщину.

## 5. Предиктивна аналітика для управління ризиками:

*Проактивні заходи:* ШІ може передбачати такі ризики, як стихійні лиха, наслідки зміни клімату або антропогенні пошкодження, що дає змогу вживати превентивних заходів для захисту об'єктів культурної спадщини.

Незважаючи на численні переваги, використання ШІ для збереження культурної спадщини має і певні недоліки:

### 1. Висока вартість і потреба в ресурсах:

*Інвестиції:* Розробка та впровадження рішень на основі штучного інтелекту може бути дорогим процесом, що вимагає значних фінансових і технічних ресурсів.

*Обслуговування:* Для забезпечення ефективності систем ШІ необхідне постійне технічне обслуговування та оновлення, що збільшує довгострокові витрати.

## 2. Технічна складність:

*Спеціалізовані навички:* Розгортання ШІ для збереження культурної спадщини вимагає досвіду як в технологіях, так і в збереженні спадщини, який може бути важко знайти.

*Проблеми інтеграції:* Інтеграція ШІ з існуючими методами і системами збереження може бути технічно складною і трудомісткою.

## 3. Алгоритмічна упередженість і культурна чутливість:

*Упередженість:* алгоритми ШІ можуть відображати упередженість даних, на яких вони навчаються, що потенційно може призвести до неправильної інтерпретації або спотворення культурної спадщини.

*Чутливість:* Забезпечення того, щоб ШІ поважав культурну чутливість і точно представляв різноманітні культурні наративи, має вирішальне значення і може бути важко керуваним.

Конфіденційність та етичні проблеми:

*Конфіденційність даних:* Використання ШІ передбачає обробку великих обсягів даних, що викликає занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки чутливої культурної інформації.

*Етичне використання:* етичні наслідки оцифрування та поширення культурної спадщини, особливо священних або культурно чутливих артефактів, повинні бути ретельно розглянуті.

Залежність від технологій:

*Вразливість:* Надмірна залежність від технологій може зробити зусилля зі збереження вразливими до технічних збоїв чи кібератак.

*Сталість:* Забезпечення сталості систем штучного інтелекту в довгостроковій перспективі, особливо в регіонах з обмеженою технологічною інфраструктурою, може бути значним викликом.

Штучний інтелект пропонує трансформаційний потенціал для збереження культурної спадщини, надаючи інструменти, які покращують документування, реставрацію, доступність та управління ризиками. Однак впровадження ШІ також несе з собою такі виклики, як високі витрати, технічна складність та етичні міркування. Баланс цих переваг і недоліків має вирішальне значення для ефективної інтеграції штучного інтелекту в зусилля зі збереження культурної спадщини, гарантуючи, що ми збережемо нашу спільну історію, поважаючи при цьому різноманітні культурні наративи, які вона охоплює.

В таблиці 3.1 стисло подано узагальнені дані щодо переваг та недоліків застосування ШІ для збереження культурної спадщини.

Таблиця 3.1 Переваги та недоліки застосування ШІ для збереження КС

Переваги	Недоліки
<p><b>Автоматизація процесів документування:</b> ШІ може швидко та точно створювати цифрові копії культурних об'єктів.</p>	<p><b>Вартість та ресурси:</b> Впровадження технологій ШІ може бути дорогим та вимагати значних ресурсів.</p>
<p><b>Відновлення та реставрація:</b> Завдяки машинному навчанню та обробці зображень, ШІ здатний відновлювати пошкоджені артефакти.</p>	<p><b>Технічна складність:</b> Складність розробки та налаштування алгоритмів може потребувати висококваліфікованих спеціалістів.</p>
<p><b>Семантична анотація:</b> ШІ допомагає автоматично анотувати та категоризувати культурні дані, полегшуючи їх організацію та доступ.</p>	<p><b>Алгоритмічні упередження:</b> Можливість виникнення упереджень в алгоритмах, що може призвести до помилок в інтерпретації даних.</p>
<p><b>Віртуальна реконструкція:</b> Технології віртуальної реальності дозволяють створювати інтерактивні моделі культурних об'єктів.</p>	<p><b>Залежність від технологій:</b> Залежність від технологічної інфраструктури та оновлень, що може створити проблеми при довготривалому зберіганні.</p>
<p><b>Моніторинг та прогнозування:</b> ШІ може аналізувати ризики та прогнозувати можливі загрози для культурних об'єктів, дозволяючи вчасно реагувати.</p>	<p><b>Питання приватності:</b> Використання ШІ для обробки даних може викликати занепокоєння щодо конфіденційності інформації.</p>
<p><b>Покращення доступності:</b> Цифрові копії та віртуальні тури роблять культурну спадщину доступною для широкої аудиторії по всьому світу.</p>	<p><b>Правові питання:</b> Використання цифрових копій може спричинити правові проблеми, пов'язані з авторським правом та інтелектуальною власністю.</p>



Розуміючи як переваги, так і виклики, зацікавлені сторони, тобто конкретні установи, що є зберігачами культурної спадщини, можуть приймати обґрунтовані рішення про те, як найкраще використовувати ШІ для збереження безцінної культурної спадщини.

### **3.5 Висновок до третього розділу**

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано прикладні аспекти застосування окремих методів штучного інтелекту для збереження культурної спадщини. Досліджено алгоритми машинного навчання в обробці даних КС, наведено їх класифікацію та характеристики.

Проаналізовано приклади прикладного застосування методів машинного навчання для розпізнавання і порівняння творів мистецтва, аналізу та класифікації історичних документів, а також для розробки рекомендаційної системи наукової культурної спадщини.

Досліджено можливості збереження культурної спадщини за допомогою поєднання технологій блокчейну та штучного інтелекту, а також роль машинного зору в розпізнаванні об'єктів культурної спадщини, їх класифікації та анотації, що сприяє ефективнішому їх збереженню.

На підставі проведеного дослідження узагальнено переваги застосування методів штучного інтелекту в збереження культурної спадщини, а також виокремлено потенційні недоліки та загрози такого підходу.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Організація охорони праці для працівників музеїв

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» присвячена застосуванню штучного інтелекту для збереження культурної спадщини, тому актуальним є питання організації охорони праці в установах, що зберігають культурну спадщину, насамперед в музеях.

Рівень безпеки трудового процесу в першу чергу залежить від стану його правового забезпечення, тобто від якості та повноти розробки відповідних законодавчих та нормативно-правових актів. В Україні приділяється багато уваги питанням нормативно-правового забезпечення охорони праці [62].

Сьогодні в державі діє 2061 нормативно-правовий акт з охорони праці, без урахування санітарних норм і правил, стандартів ССБП. Разом з тим у зв'язку з прагненням України приєднатися до Європейського Союзу (ЄС), необхідна адаптація наших законодавчих та нормативно-правових актів про охорону праці до директив і стандартів ЄС. У першу чергу треба переглянути концепцію щодо нормотворчого процесу з питань охорони праці в нашій країні. З часів введення в дію першого закону «Про охорону праці» в Україні спостерігається стійка тенденція зниження виробничого травматизму як взагалі, так і зі смертельними наслідками.

У реалізації державної політики щодо покращення умов і охорони праці, запобігання виробничому травматизму особливу роль відіграє охорона праці як система, спрямована на забезпечення належного рівня безпеки праці та виробничого середовища. Першочергове завдання тут – змінити ставлення як роботодавця, так і самого працівника до проблем, пов'язаних з безпекою праці, підвищити рівень освіти посадових осіб і спеціалістів усіх рівнів з охорони праці [63].

Забезпечення здорових і безпечних умов трудової діяльності в нашій країні, зокрема у музейних установах потребує корінної зміни ставлення всього суспільства до питань охорони праці, підвищення освіти посадових осіб і спеціалістів усіх рівнів, всього населення країни. Вирішення цієї проблеми може

бути досягнуте завдяки належній підготовці фахівців з питань охорони праці у всіх установах.

Основним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці» [64]. Він містить основні засади реалізації конституційного права працюючих на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на безпечні й нешкідливі умови праці, встановлює єдиний порядок організації та управління охороною праці в Україні. Всі інші законодавчі й нормативні акти з охорони праці мають відповідати не тільки Конституції, але і цьому Законові.

Міністерство енергетики та вугільної промисловості України наказом від 19.01.2015 № 18 затвердило нові Правила охорони праці для працівників музеїв, що поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежно від форм власності та організаційно-правової форми, які займаються музейною справою [65].

Наказ «Про затвердження Правил охорони праці для працівників музеїв» складається з п'яти розділів та містить:

- Вимоги безпечного утримання територій та будівель музеїв;
- Вимоги безпечної експлуатації систем освітлення та електрообладнання;
- Вимоги безпечного утримання систем вентиляції, кондиціонування повітря та пиловидалення;
- Вимоги до експозиційних залів;
- Вимоги до наукових та спеціалізованих приміщень;
- Вимоги безпеки в реставраційних майстернях та лабораторіях;
- Вимоги безпечного улаштування та експлуатації експозицій, вітрин та стелажного обладнання.

Згідно з Правилами роботодавець повинен: створити службу охорони праці відповідно до вимог Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці України від 15.11.2004 № 255 (НПАОП 0.00-4.21-04), організувати навчання і перевірку знань з питань охорони праці посадових осіб і працівників відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і

перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15 (НПАОП 0.00-4.12-05) та організувати розроблення інструкцій з охорони праці, що діють на підприємстві, відповідно до вимог Положення про розробку інструкцій з охорони праці, затвердженого наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29.01.1998 № 9 (НПАОП 0.00-4.15-98).

Відповідно до нового Наказу повинно бути організоване розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві відповідно до вимог Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затвердженого постановою КМУ від 30.11.2011 № 1232. Усі працівники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до вимог Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 24.03.2008 № 53 (НПАОП 0.00-4.01-08).

Відтепер є обов'язковим проведення профілактичних медичних оглядів працівників відповідно до Переліку професій, виробництв та організацій, працівники яких підлягають обов'язковим профілактичним медичним оглядам, затвердженого постановою КМУ від 23.05.2001 № 559, та вимог Правил проведення обов'язкових профілактичних медичних оглядів працівників окремих професій, виробництв та організацій, діяльність яких пов'язана з обслуговуванням населення і може призвести до поширення інфекційних хвороб, затверджених наказом МОЗ України від 23.06.2002 № 280 та організація проведення медичних оглядів працівників, які за результатом атестації робочих місць зайняті на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі, щорічному обов'язковому медичному огляді осіб віком до 21 року відповідно до вимог Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом МОЗ України від 21.05.2007 № 246; проводити атестацію

робочих місць працівників за умовами праці відповідно до вимог Порядку проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженого постановою КМУ від 01.08.1992 № 442.

Усе обладнання музею повинно бути встановлене у відповідності з правилами і нормами техніки безпеки та виробничої санітарії.

Працівники зобов'язуються стежити за санітарно-гігієнічним станом приміщення та місця проведення заходів.

Під час проведення екскурсій необхідно стежити за тим, щоб експонати музею перебували в безпечних місцях, без дозволу не пересувалися, не піднімалися і не використовувалися будь-яким іншим чином.

Під час проведення інвентаризації, складання та розбирання музейної експозиції, чищення, сушіння, реставрації, необхідно бути надзвичайно уважним і обережним.

Під час роботи з ріжучими, колючими інструментами, склом, керамікою, необхідно використовувати захисні рукавички, м'яку підкладку, відрізи тканин.

Під час очищення експонатів необхідно застосовувати спеціальні щітки та скребки, а також використовувати фартухи, ватно-марлеві пов'язки та захисні рукавиці.

У музеї категорично заборонено зберігання вибухових і пожежонебезпечних речовин і предметів, зброї як вогнепальної, так і холодної.

При виникненні небезпечних, екстремальних або надзвичайних ситуацій (пожежі, прориву системи опалення, водопроводу, замиканні електропроводки, при виявленні підозрілих предметів тощо) необхідно негайно евакуювати відвідувачів із приміщення, повідомити про пожежу до пожежної частини за телефоном 101, директору та, по можливості, почати гасіння підручними засобами пожежогасіння.

У разі загрози або в разі виникнення осередку небезпечного впливу техногенного характеру, слід керуватися відповідним Планом евакуації та інструкцією з організації заходів безпеки у разі загрози або в разі виникнення осередку небезпечного впливу техногенного характеру.

У разі загрози або у разі виконання терористичного акту, слід керуватися відповідним затвердженим Планом евакуації та інструкцією про порядок дій при загрозі та виникненні надзвичайної ситуації терористичного характеру. Робітник, який допустив невиконання або порушення інструкції з охорони праці для керівника музею, притягується до відповідальності у відповідності з правилами внутрішнього трудового розпорядку та, при необхідності, підлягає позачерговій перевірці знань норм і правил охорони праці.

#### **4.2 Сучасні інтелектуальні засоби забезпечення пожежної безпеки в місцях збереження культурної спадщини**

Як правило, збиток, заподіяний вогнем або засобами пожежогасіння, можна усунути, хоча це потребує певних витрат. Однак у випадку історичних будівель і музеїв це не завжди так. Одним з численних трагічних прикладів є бібліотека герцогині Веймарської Анни Амалії, яка була знищена пожежею в 2004 році, і збиток, за оцінками, склав 90 млн.доларів. У таких випадках справжні масштаби збитку набагато перевищують вартість відновлення самої будівлі. Кожен втрачений артефакт являє собою незамінний і, отже, безцінний об'єкт культурної спадщини.

Історичні будівлі і музеї зазвичай мають високі декоративні стелі з ліпними карнизами і стінами з дерев'яною обшивкою. Завдання полягає в тому, щоб створити відповідну інфраструктуру пожежної сигналізації, яка надавала б мінімальний вплив на структуру і декор будівлі, залишаючи його практично недоторканим, забезпечуючи при цьому високу надійність виявлення пожежі.

Таку інфраструктуру в сучасних установах культурної спадщини розгорають завдяки системам виявлення пожежі (як-от, наприклад, система SWING – Siemens Wireless Next Generation) [66]. Такі бездротові рішення для виявлення пожежі пропонують високий рівень надійності та гнучкості. Вони поєднують надійну бездротову мережу з технологією для оптимального виявлення пожежі.

Пожежні сповіщувачі забезпечують якнайшвидше виявлення всіх пожеж. Будучи несприйнятливими до оманливих явищ, таких як пара, пил або дим, вони забезпечують чудову надійність виявлення та захист від помилкових тривог у будь-якому середовищі, від чистого до агресивного.

Бездротові системи особливо підходять для використання в місцях, де підключення пожежних сповіщувачів неможливе або небажане. Вони базуються на сітчастій технології, яка максимізує резервування комунікацій і, таким чином, відповідає безпеці та надійності кабельного рішення. У сітчастій мережі кожен бездротовий пристрій спілкується з сусідніми пристроями. Це означає, що принаймні два резервних шляхи доступні в будь-який час для передачі інформації. Щоб ще більше підвищити надійність, кожен пристрій має дві частотні смуги з кількома каналами. У разі виникнення перешкод мережа «ремонтуює» себе, автоматично намагаючись змінити канали та/або діапазони частот або пересилаючи інформацію через сусідній пристрій. Це гарантує, що вся доступна інформація завжди надходить до шлюзу і, зрештою, до пожежної панелі [67].

Бездротове виявлення пожежі є ідеальним рішенням для приміщень або будівель, що мають історичну цінність, з естетичними чи архітектурними обмеженнями, або для тимчасових установок. Завдяки бездротовій технології пристрої можна швидко та вільно розміщувати та змінювати. Це полегшує планування, забезпечує економічну установку та забезпечує високий рівень свободи та гнучкості, якщо використання приміщення або структура будівлі зміняться в майбутньому.

У громадських будівлях важливо уникати помилкових тривог, оскільки вони можуть легко призвести до дорогих і непотрібних викликів пожежних бригад і створити паніку серед відвідувачів. Інтелектуальні пожежні сповіщувачі з здатні надійно відрізнити реальні пожежі від таких оманливих явищ, як пар, тютюновий дим або вихлопні гази.

Сьогодні стають все популярнішими газові та вуглекислотні системи пожежогасіння. За вартістю вони не відрізняються від традиційних методів ліквідації пожеж за допомогою води або піни. Проте є ефективними і, що

найважливіше, дозволяють зберігати цінні предмети та майно. Це особливо актуально для музеїв, архівів та інших фондів, приміщень виставок тощо, оскільки дозволило б зберігати 100% експонатів під час гасіння пожеж.

Принцип дії систем газового пожежогасіння полягає в тому, що, проникаючи у приміщення, газ витісняє кисень, чим зупиняє подальше розповсюдження вогню. При вуглекислотному пожежогасінні вуглекислота під дією високої температури також переходить у газоподібний стан, що сприяє зниженню концентрації кисню в повітрі. Вуглекислота також сприяє охолодженню поверхонь, які піддавалися вогню. Використовуються ці системи тільки після евакуації людей з приміщень.

Згідно з ДБН «Культурно-видовищні та дозвіллієві заклади» [68] в експозиційних залах та фондосховищах музеїв рекомендується застосовувати газове та вуглекислотне пожежогасіння. Це сприятиме збереженню важливих та цінних експонатів, документів, виставкових матеріалів у випадку можливих надзвичайних ситуацій.

### **4.3 Висновок до четвертого розділу**

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи розкрито питання охорони праці та дотримання безпеки в установах, що зберігають культурну спадщину. Описано правила охорони праці в музеях; подано положення відповідних нормативних актів, що регламентують організацію охорони праці для музейних працівників. Розкрито питання забезпечення пожежної безпеки в місцях збереження культурної спадщини за допомогою сучасних інтелектуальних засобів.



## ВИСНОВКИ

Штучний інтелект пропонує багатообіцяючі шляхи вирішення поточних проблем, з якими стикається збереження культурної спадщини. Відповідально та спільно використовуючи технології штучного інтелекту, людство зможе покращити збереження, доступність і оцінку світової різноманітної культурної спадщини для майбутніх поколінь.

У цьому дослідженні представлено огляд проблем збереження культурної спадщини та окреслено потенціал рішень ШІ, а також враховано етичні міркування та майбутні рекомендації щодо ефективного впровадження.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

- Розкрито суть понять «культурна спадщина» та «цифрова культурна спадщина».

- Висвітлено питання довгострокового цифрового збереження спадщини з акцентом на аспектах забезпечення доступу до оцифрованих об'єктів культурної спадщини та їх захисті від зношування та цифрового старіння.

- Проаналізовано стан дослідження питань збереження культурної спадщини за допомогою штучного інтелекту;

- Узагальнено наявні практики застосування ШІ для управління культурною спадщиною та для її збереження.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Охарактеризовано технологічні передумови застосування інноваційних методів в секторі культурної спадщини, зокрема наведено дані світової статистики щодо кількості користувачів Інтернету та власників смартфонів, періодичності оновлення гаджетів, поширеності інноваційних технологій типу блокчейну, ШІ та великих даних.

- З позиції наведених фактів розглянуто впровадження методів штучного інтелекту в секторі культурної спадщини, зокрема розкрито роль ШІ у створенні та управлінні контентом; охарактеризовано складнощі стосовно етичних питань, пов'язаних з використанням ШІ – його можливі упередження та вплив на об'єктивне представлення культурного різноманіття в спадщині тощо.

- Досліджено актуальні напрями застосування ШІ в секторі культурної спадщини, проаналізовано їх можливості та перспективи.

- Узагальнено характеристики найбільш поширених методів штучного інтелекту, що використовуються в сфері культурної спадщини.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Описано прикладні аспекти застосування окремих методів штучного інтелекту для збереження культурної спадщини.

- Досліджено алгоритми машинного навчання в обробці даних КС, наведено їх класифікацію та характеристики.

- Проаналізовано приклади прикладного застосування методів машинного навчання для розпізнавання і порівняння творів мистецтва, аналізу та класифікації історичних документів, а також для розробки рекомендаційної системи наукової культурної спадщини.

- Досліджено можливості збереження культурної спадщини за допомогою поєднання технологій блокчейну та штучного інтелекту, а також роль машинного зору в розпізнаванні об'єктів культурної спадщини, їх класифікації та анотації, що сприяє ефективнішому їх збереженню.

- На підставі проведеного дослідження узагальнено переваги застосування методів штучного інтелекту в збереженні культурної спадщини, а також виокремлено потенційні недоліки та загрози такого підходу.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розкрито питання охорони праці та дотримання безпеки в установах, що зберігають культурну спадщину. Описано правила охорони праці в музеях; подано положення відповідних нормативних актів, що регламентують організацію охорони праці для музейних працівників. Розкрито питання забезпечення пожежної безпеки в місцях збереження культурної спадщини за допомогою сучасних інтелектуальних засобів.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ**

- 1 UNESCO. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage, <http://whc.unesco.org/en/conventiontext> Accessed 29 Apr 2024.
- 2 ICCROM. URL: <http://www.iccrom.org/>. Accessed 25 Apr 2024.
- 3 UNESCO. Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage. UNESCO meeting in Paris, 2003, <https://ich.unesco.org/en/convention>, Last accessed 30 Apr 2024.
- 4 Duda, O., Pasichnyk, V., Lypak, H., ...Matsiuk, O., Mudrokha, V. Formation of integrated repositories of social and communication data by consolidating the resources of museums, libraries and archives in smart cities projects. CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2870, pp. 1420–1430. <http://ceur-ws.org/Vol-2870/paper104.pdf>, ISSN 1613-0073. Scopus.
- 5 Sotirova, Kalina, et al. "Digitization of cultural heritage—standards, institutions, initiatives." Access to digital cultural heritage: Innovative applications of automated metadata generation (2012): 23-68.
- 6 Lypak, H., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Veretennikova, N. Digitization Project for Historical and Cultural Heritage. 2020 IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2020 - Proceedings, 2020, 2, pp. 194–198, 9321993, DOI: 10.1109/CSIT49958.2020.9321993 ISSN 2766-3655
- 7 Lypak, H., Kunanets, N., Veretennikova, N., Matsiuk, H., Kramar, T., & Duda, O. (2023, October). An Information System Project Using Augmented Reality for a Small Local History Museum. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT) (pp. 1-4). IEEE. DOI: 10.1109/CSIT61576.2023.10324194
- 8 Axes. Audio and Sound Are Everywhere. URL:<http://www.axes-project.eu/>, Accessed 30 Apr 2024.

- 9 What is Digital Preservation. URL: <http://www.digitalpreservationeurope.eu/what-is-digital-preservation/>, Accessed 30 Apr 2024.
- 10 Digital Curation Centre. URL: <https://www.dcc.ac.uk/digital-curation/what-digital-curation>, Accessed 30 Apr 2024.
- 11 Lavoie, Brian, and Lorcan Dempsey. "Thirteen ways of looking at... digital preservation." *D-Lib magazine* 10.7/8 (2004).
- 12 Digital preservation Europe. URL: <https://digitalpreservationeurope.eu/what-is-digital-preservation/#04>. Accessed 3 May 2024.
- 13 Verheul, Ingeborg (2006). *Networking for Digital Preservation: Current Practice in 15 National Libraries*. Munchen: K.G. Saur.
- 14 CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) (2002). *Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS)*. Blue Book, Issue 1. Washington, DC (US): CCSDS Secretariat, January 2002. Technical report. CCSDS 650.0-B-1. Recommendation for Space Data System Standards. Available at: <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0b1.pdf>.
- 15 Research Councils UK (2008). *Code of Conduct and Policy on the Governance of Good Research Conduct: Integrity, Clarity, and Good Management*. Public Consultation Document. July – October 2008. Available at: <http://www.rcuk.ac.uk/cmsweb/downloads/rcuk/reviews/grc/consultation.pdf>
- 16 Hockx-Yu, Helen. "Digital preservation in the context of institutional repositories." *Program* 40.3 (2006): 232-243.
- 17 Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS): Bluebook. Consultative Committee for Space Data Systems, January 2002, 148 p.
- 18 Guss, A. (2020). The digitization of cultural heritage under polish law and policy: Challenges presented by copyright law. *Santander Art and Culture Law Review*, 6(2), 377-406.
- 19 Horvat, A., & Zivkovic, D. (2010). Copyright issues related to the digitization of cultural heritage in Croatia. In *Technological Convergence and Social Networks in Information Management: Second International Symposium on*

Information Management in a Changing World, IMCW 2010, Ankara, Turkey, September 22-24, 2010. Proceedings 2 (pp. 161-174). Springer Berlin Heidelberg.

20 Aplin, T. (2010). A global digital register for the preservation and access to cultural heritage: problems, challenges and possibilities. In *Copyright and Cultural Heritage*. Edward Elgar Publishing.

21 Липак Т. Застосування методів штучного інтелекту в роботі сучасних музеїв / Липак Т. // VI Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 27-28 квітня 2023. — Т. : ТНТУ, 2023. — С. 160. — (Інформаційні технології).

22 Karterouli, K., & Batsaki, Y. (2021, July). AI and Cultural Heritage Image Collections: Opportunities and challenges. In *EVA*.

23 LeCun Y., Bengio Y., and Hinton G. (2015) Deep Learning. *Nature*, 521 (7553), pp. 436-444.

24 Lamas A., Tabik S., Cruz P., Montes R., Martinez-Sevilla A., Cruz T., and Herrera F. (2021)

25 Palma, V. (2019) Towards Deep Learning for Architecture: A Monument Recognition Mobile App. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (XLII-2/W9 2019)*, Bergamo, Italy, 6-8 February 2019, 551–556. Bergamo.

26 Kumar, P., Ofli F., Imran M., and Castillo C. (2020) Detection of Disaster-Affected Cultural Heritage Sites from Social Media Images Using Deep Learning Techniques. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 13(3), 23.

27 Amato G., Falchi F., and Vadicamo L. (2016). Visual Recognition of Ancient Inscriptions Using Convolutional Neural Network and Fisher Vector. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 9(4), 21.

28 Belhi, A., Bouras, A., and S. Fougou (2018) Leveraging Known Data for Missing Label Prediction in Cultural Heritage Context. *Applied Sciences*, 8(10), 1768.

29 Elgammal A., Mazzone M., Liu B., Kim D., and Elhoseiny M. (2018) The Shape of Art History in the Eyes of the Machine. *Proceedings of the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence*, New Orleans, Louisiana, USA, February 2-7, 2018. AAAI Press, New Orleans.

30 Sandoval C., Pirogova E., and Lech M. (2019). Two-Stage Deep Learning Approach to the Classification of Fine-Art Paintings. *IEEE Access*, 7, pp. 41770-41781.

31 Choi J. (2019) Exploring Art with Open Access and AI: What's Next? <https://www.metmuseum.org/blogs/now-at-the-met/2019/met-microsoft-mit-exploring-art-open-access-ai-whats-next> (retrieved 13 March 2024).

32 Cordell R. (2020) Machine Learning + Libraries: A Report on the State of the Field. Library of Congress, Washington, D.C.

33 Turner A. How many smartphones are in the world? Bankmycell, <https://www.bankmycell.com/blog/how-many-phones-are-in-the-world> , last accessed on September 17, 2023

34 Internet World Stats. URL: <https://www.internetworldstats.com/stats.htm> . Accessed 28 Apr 2024.

35 World Bank. GDP per capita - World Bank national accounts data. URL: [https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?most\\_recent\\_value\\_desc=false](https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?most_recent_value_desc=false) . Accessed 28 Mar 2024.

36 Ng'wanakilala F. Tanzania internet users hit 23 million; 82 percent go online via phones. Reuters, February 23, 2018, URL: <https://www.reuters.com/article/us-tanzania-telecoms/tanzania-internet-users-hit-23-million-82-percent-go-online-via-phones-regulator-idUSKCN1G75F> . Accessed 28 Feb 2024.

37 Holst A. Replacement cycle length of smartphones in the United States 2014–2023. Oct 11, 2019, Statista, URL: <https://www.statista.com/statistics/619788/averagesmartphone-life>. Accessed 28 Dec 2021.

38 ITU. Internet of Things Global Standards Initiative. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> . Accessed 28 Dec 2021.

39 Alessie D, Sobolewski M., Vaccari L. Blockchain for digital government: an assessment of pioneering implementations in public services. EC Joint Research Centre, Digital Economy Unit, 2019, URL: <https://joinup.ec.europa.eu/sites/default/files/document/2019->

04/JRC115049%20blockchain%20for%20digital%20government.pdf . Accessed 28 Dec 2023.

40 Reyna A, Martín C, Chen J, Soler E, Díaz M. On blockchain and its integration with IoT challenges and opportunities. *Future Gener Comput Syst.* 2018;88:173–90. URL: <https://doi.org/10.016/j.future.2018.05.046>.

41 Липак Т. А. Застосування методів штучного інтелекту в цифровому збереженні культурної спадщини / Т. А. Липак // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 393–394. — (Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку).

42 UNESCO Intergovernmental Committee for The Protection and Promotion of the Diversity of Cultural Expressions. Information document, DCE/18/12. IGC/INF.4, 13 November 2018, Paris, URL: [https://en.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/12igc\\_inf4\\_en.pdf](https://en.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/12igc_inf4_en.pdf). Accessed 28 Dec 2023.

43 Липак Г.І., Багрій Р.І., Липак Т.А. Інформаційні технології дослідження, збереження та туристичної презентації історичних пам'яток // *Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, May 3, 2024. Bern, Swiss Confederation: International Center of Scientific Research. – с.105.*

44 The impact of AI on content diversity and cultural sensitivity. URL: <https://aicontentfy.com/en/blog/impact-of-ai-on-content-diversity-and-cultural-sensitivity>, Last accessed 28 Apr 2024.

45 Багрій Р. І., Липак Т. А., Липак Г. І. Методи штучного інтелекту в збереженні об'єктів культурної спадщини // *Наукові тренди постіндустріального суспільства: збірник наукових праць з матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ, 26 квітня, 2024 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2024. — 288 с. DOI 10.62731/mcnd-26.04.2024, ISBN 978-617-8312-26-8*

46 Sousa, J. J., Lin, J., Wang, Q., Liu, G., Fan, J., Bai, S., ... & Reis, L. P. (2023). Using machine learning and satellite data from multiple sources to analyze mining, water management, and preservation of cultural heritage. *Geo-spatial Information Science*, 1-20.

47 Russo, M., Eleonora, G., Remondino, F., Simone, T., & Francesco, F. (2021). Machine Learning for Cultural Heritage Classification. *DISÉGNO-OPEN ACCESS*, 209-213.

48 Machine Learning. What it is and why it matters. URL: [https://www.sas.com/en\\_us/insights/analytics/machine-learning.html](https://www.sas.com/en_us/insights/analytics/machine-learning.html)

49 Nafis, F., AL FARARNI, K., YAHYAOUY, A., & AGHOUTANE, B. (2021). An Approach based on Machine Learning Algorithms for the Recommendation of Scientific Cultural Heritage Objects. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(5).

50 M. Makridis and P. Daras (2013). Automatic classification of archaeological pottery sherds. *J. Comput. Cult. Herit.* 5(4), 15:21 doi:10.1145/2399180.2399183.

51 M. H. Abed, M. Al-Asfoor, et Z. M. Hussain (2020). Architectural Heritage Images Classification Using Deep Learning With CNN. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Visual Pattern Extraction and Recognition for Cultural Heritage Understanding, Bari, Italy*, p. 12.

52 When A Machine Learning Algorithm Studied Fine Art Paintings, It Saw Things Art Historians Had Never Noticed. URL: <https://medium.com/the-physics-arxiv-blog/when-a-machine-learning-algorithm-studied-fine-art-paintings-it-saw-things-art-historians-had-never-b8e4e7bf7d3e>

53 Saleh, B., Abe, K., Arora, R. S., & Elgammal, A. (2016). Toward automated discovery of artistic influence. *Multimedia Tools and Applications*, 75, 3565-3591.

54 Kumar, P. (2019). Smart Document Classification Using AI-ML. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST) ISSN, 2347-5552*.



55 Kotiyal, B., Kumar, A., Pant, B., & Goudar, R. H. (2014). Classification technique for improving user access on web log data. In *Intelligent Computing, Networking, and Informatics: Proceedings of the International Conference on Advanced Computing, Networking, and Informatics, India, June 2013* (pp. 1089-1097). Springer India.

56 Nafis, F., Al Fararni, K., Yahyaouy, A., & Aghoutane, B. (2021). An Approach based on Machine Learning Algorithms for the Recommendation of Scientific Cultural Heritage Objects. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(5).

57 Trček, D. (2022). Cultural heritage preservation by using blockchain technologies. *Heritage science*, 10(1), 6.

58 Menzies A, Oorschot P, Vanstone S. 1997. Handbook of applied cryptography. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439821916>.

59 J. Mitric, I. Radulovic, T. Popovic, Z. Scekcic and S. Tinaj, "AI and Computer Vision in Cultural Heritage Preservation," 2024 28th International Conference on Information Technology (IT), Zabljak, Montenegro, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/IT61232.2024.10475738.

60 Fiorucci, M., Khoroshiltseva, M., Pontil, M., Traviglia, A., Del Bue, A., & James, S. (2020). Machine learning for cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 133, 102-108.

61 Lamas, J., Leronés P. M., Medina R., Zalama E. and Gómez-García-Bermejo J. (2017) Classification of Architectural Heritage Images Using Deep Learning Techniques. *Applied Sciences*, 7, 992.

62 Основи охорони праці: Підручник. / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк, Ю. О. Полукаров, Т. Є. Луц. За ред. К. Н. Ткачука. – К. : Основа, 2014. – 456 с.

63 Шевченко В.І. Правові питання охорони праці. Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 184 с.

64 Закон України «Про охорону праці» від 21.11.2002р. №229-IV. 3

65 Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.01.2015 № 18, зареєстровано Міністерстві юстиції України 03 лютого 2015

р. за № 125/26570 Про затвердження Правил охорони праці для працівників музеїв.

66 Siemens. Пожежна безпека для історичних будівель і музеїв. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-ta-bezpeka-budivel/fokusni-rynky/dlya-istorychnykh-budivel-i-muzeyiv.html>

67 Siemens. Біла книга SWING. URL: <https://sid.siemens.com/v/u/A6V11218603>

68 ДБН «Культурно-видовищні та дозвілєві заклади». URL: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3074791651063890960?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074791651063890960?doc_type=2)

# ДОДАТКИ

### Список публікацій

1. Липак Т. А., Багрій О. А. Програмне забезпечення для електронного обліку музейних предметів // Матеріали VIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», 9-10 грудня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 26. — (Інформаційні системи та технології).
2. Липак Т. Застосування методів штучного інтелекту в роботі сучасних музеїв / Липак Т. // Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, 2023. с. — С. 160. — (Інформаційні технології).
3. Липак Т. А. Застосування методів штучного інтелекту в цифровому збереженні культурної спадщини / Т. А. Липак // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 393–394. — (Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку).
4. Багрій Р.І., Липак Т.А., Липак Г.І. Методи штучного інтелекту в збереженні об'єктів культурної спадщини // Наукові тренди постіндустріального суспільства: збірник наукових праць з матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ, 26 квітня, 2024 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп, 2024. — с. 169.
5. Липак Г.І., Багрій Р.І., Липак Т.А. Інформаційні технології дослідження, збереження та туристичної презентації історичних пам'яток // Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, May 3, 2024. Bern, Swiss Confederation: International Center of Scientific Research. – с.105.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



9–10 грудня 2020 року

ТЕРНОПІЛЬ  
2020

УДК 004.9:069

О.А. Багрій, студентка 6-го курсу; Т.А. Липак, студент 3-го курсу  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛІКУ МУЗЕЙНИХ ПРЕДМЕТІВ

UDC 004.9:069

O.A. Bahrii, 6rd year student; T.A. Lyapak, 3rd year student

## SOFTWARE FOR ELECTRONIC ACCOUNTING OF MUSEUM ITEMS

Важливим напрямом музейної науково-фондової діяльності є каталогізація фондів та створення науково-фондового паспорта музейних предметів. Зважаючи на трудомісткість традиційного паперового обліку та незручності в доступі до інформації для дослідників, нагальним для музеїв постає питання електронного обліку фондів. Тож інформатизація обліку музейних фондів є вимогою часу.

Тривалий час в Україні не було законодавчо закріплених норм ведення цифрового обліку музейних фондів, проте в 2016 р. запроваджено Порядок обліку музейних предметів в електронній формі [1]. Цей документ рекомендує приватним музеям та зобов'язує державні і комунальні музеї організувати облік музейних предметів та наслідувати загальні правила використання електронних облікових даних.

Музеї мають кілька шляхів отримання ПЗ для проведення обліку своїх фондів [2].

Перший шлях – це вибір однієї з готових систем, що широко представлені на ринку програмного забезпечення і вже широко застосовуються великими вітчизняними музеями. Це такі російські розробки як «Каміс», «Ніка», АС «Музей». До їх переваг можна віднести професійність розробки та наявність подальшої технічної підтримки, а до недоліків – неможливість адаптації до наявної інформаційної системи музею, необхідність перелаштування до українських вимог та вагомі фінансові витрати.

Другий шлях – можливість скористатися безкоштовним вільно розповсюджуваним ПЗ, проте використання іноземних розробок створює ряд незручностей для вітчизняних музеїв, пов'язаних з адаптацією такого ПЗ. Запровадження єдиної державної системи обліку музейної інформації, яка б надала уніфікований доступ до загальнодержавного музейного фонду, розв'язало б цю проблему, проте на сьогодні немає такого програмного продукту.

Третій шлях – це розробка власної АІС обліку на замовлення. Проте цей варіант може виявитися занадто дорогорішним для державних та комунальних музеїв.

І, нарешті, четвертий шлях – це розробка, впровадження і супровід потрібного ПЗ власними силами. Цей підхід вимагає наявності відповідних кваліфікованих кадрів в музеї та ризик недостатньої якості розробки ІС музею, проте перевагами є дешевизна, повний контроль створення системи, підлаштування під існуючу ІС тощо.

Прикладом реалізації такого підходу є розробка в Харківському історичному музеї інформаційної системи опису та обліку музейних предметів «Кліо» [2].

### Література.

1. Порядок обліку музейних предметів в електронній формі (<https://ips.ligakon.net/document/RE29608?an=4&scop=40&fcop=50>).
2. І. Шевцов. Безкоштовне програмне забезпечення для обліку музейних фондів: 3 нотатки із власного досвіду (<http://prostir.museum.ua/post/32135>).

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)  
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет у Кошице (Словаччина)  
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)  
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)  
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

# **АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Збірник**  
тез доповідей

**ХІІ Міжнародної науково-практичної  
конференції молодих учених та студентів**  
6-7 грудня 2023 року



**УКРАЇНА**  
**ТЕРНОПІЛЬ – 2023**

---

УДК 004.9/069

Т. А. Липак

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВОМУ ЗБЕРЕЖЕННІ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

Т. Lypak

### APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE DIGITAL PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE

Оцифровані артефакти відіграють важливу роль у збереженні матеріальної культури, включно з невеликими об'єктами, величною архітектурою та цілими об'єктами культурної спадщини. Кінцевою метою 3D-оцифрування культурної спадщини є створення точних, детальних і доступних цифрових двійників об'єктів, що становлять історичну та культурну цінність. Використання 3D-вимірювань і цифрової реконструкції у сфері культурної спадщини набуває все більшого значення в останні роки завдяки технологічному прогресу і більшій доступності технологій, які дають задовільні результати.

Дослідники виділяють ряд переваг 3D-оцифрування культурної спадщини:

- Можливість зберігати та захищати фізичні об'єкти та місця – цифрові двійники можуть функціонувати як резервна копія при пошкодженні чи знищенні оригінального об'єкта, їх можна використовувати для вивчення об'єкта без ризику його пошкодження.

- 3D-оцифрування може надати цінну інформацію для консервації та реставрації, дозволяючи експертам проаналізувати структуру і стан об'єкта та виявити потенційні проблеми, які можуть виникнути в майбутньому.

- Можливість надання доступу для ширшої аудиторії – цифровими двійниками можна ділитися онлайн або через віртуальну реальність, що може бути особливо цінним для об'єктів і місць, які важкодоступні або розташовані у віддалених районах.

- Профілактичне обслуговування фізичних активів – постійно відстежуючи дані з датчиків, встановлених на об'єкті, цифровий двійник може виявити будь-які аномалії і попередити обслуговуючий персонал до того, як відбудеться значне пошкодження, що допоможе запобігти дорогим простоям і ремонтам [1].

У сфері культурної спадщини для отримання, розробки та зберігання 3D-моделей використовуються різні методи, в тому числі з елементами штучного інтелекту, зокрема:

- *Структура із руху* (Structure-from-Motion, SfM) - це популярна методика 3D-реконструкції, яка відновлює тривимірний об'єм об'єкта з серії зображень, що показують різні ракурси і записані однією камерою. Методика включає етапи переміщення камери навколо об'єкта, отримання декількох зображень, ідентифікації особливостей, зіставлення та присвоєння позиції в тривимірному просторі. Час обробки та роздільна здатність реконструйованого об'єму пропорційні кількості різних знімків.

- *Структуроване світлове сканування* - техніка 3D-реконструкції, яка використовує проектор і камеру для зйомки серії візерунків, що проєктуються на об'єкт під різними кутами. Візерунки створюють тіні на поверхні об'єкта, які фіксуються камерою і використовуються для реконструкції 3D-моделі. До переваг належать висока точність, можливість захоплення інформації про колір та висока швидкість сканування; недоліки – чутливість до навколишнього світла, обмежений діапазон, складність захоплення дрібних деталей, висока вартість обладнання.

- *Лазерне сканування* - популярний метод цифрового 3D-документування та збереження об'єктів культурної спадщини, що передбачає використання лазерного променя, який спрямовується на об'єкт, фіксує геометрію і текстуру поверхні,



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)  
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет у Кошице (Словаччина)  
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)  
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)  
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

# **АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Збірник**  
тез доповідей

**XII Міжнародної науково-практичної  
конференції молодих учених та студентів**  
6-7 грудня 2023 року



**УКРАЇНА**  
**ТЕРНОПІЛЬ – 2023**

УДК 004.9/069

Т. А. Липак

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЦИФРОВОМУ ЗБЕРЕЖЕННІ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

Т. Лупак

### APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN THE DIGITAL PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE

Оцифровані артефакти відіграють важливу роль у збереженні матеріальної культури, включно з невеликими об'єктами, величною архітектурою та цілими об'єктами культурної спадщини. Кінцевою метою 3D-оцифрування культурної спадщини є створення точних, детальних і доступних цифрових двійників об'єктів, що становлять історичну та культурну цінність. Використання 3D-вимірювань і цифрової реконструкції у сфері культурної спадщини набуває все більшого значення в останні роки завдяки технологічному прогресу і більшій доступності технологій, які дають задовільні результати.

Дослідники виділяють ряд переваг 3D-оцифрування культурної спадщини:

- Можливість зберігати та захищати фізичні об'єкти та місця – цифрові двійники можуть функціонувати як резервна копія при пошкодженні чи знищенні оригінального об'єкта, їх можна використовувати для вивчення об'єкта без ризику його пошкодження.

- 3D-оцифрування може надати цінну інформацію для консервації та реставрації, дозволяючи експертам проаналізувати структуру і стан об'єкта та виявити потенційні проблеми, які можуть виникнути в майбутньому.

- Можливість надання доступу для ширшої аудиторії – цифровими двійниками можна ділитися онлайн або через віртуальну реальність, що може бути особливо цінним для об'єктів і місць, які важкодоступні або розташовані у віддалених районах.

- Профілактичне обслуговування фізичних активів – постійно відстежуючи дані з датчиків, встановлених на об'єкті, цифровий двійник може виявити будь-які аномалії і попередити обслуговуючий персонал до того, як відбудеться значне пошкодження, що допоможе запобігти дорогим простоям і ремонтам [1].

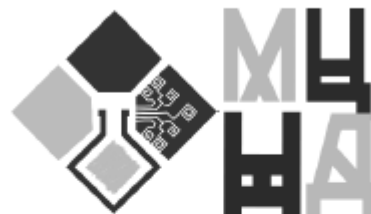
У сфері культурної спадщини для отримання, розробки та зберігання 3D-моделей використовуються різні методи, в тому числі з елементами штучного інтелекту, зокрема:

- *Структура із руху* (Structure-from-Motion, SfM) - це популярна методика 3D-реконструкції, яка відновлює тривимірний об'єм об'єкта з серії зображень, що показують різні ракурси і записані однією камерою. Методика включає етапи переміщення камери навколо об'єкта, отримання декількох зображень, ідентифікації особливостей, зіставлення та присвоєння позиції в тривимірному просторі. Час обробки та роздільна здатність реконструйованого об'єму пропорційні кількості різних знімків.

- *Структуроване світлове сканування* - техніка 3D-реконструкції, яка використовує проектор і камеру для зйомки серії візерунків, що проектується на об'єкт під різними кутами. Візерунки створюють тіні на поверхні об'єкта, які фіксуються камерою і використовуються для реконструкції 3D-моделі. До переваг належать висока точність, можливість захоплення інформації про колір та висока швидкість сканування; недоліки – чутливість до навколишнього світла, обмежений діапазон, складність захоплення дрібних деталей, висока вартість обладнання.

- *Лазерне сканування* - популярний метод цифрового 3D-документування та збереження об'єктів культурної спадщини, що передбачає використання лазерного променя, який спрямовується на об'єкт, фіксує геометрію і текстуру поверхні,

ЗБІРНИК НАУКОВИХ  
ПРАЦЬ З МАТЕРІАЛАМИ  
VI МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ



# НАУКОВІ ТРЕНДИ ПОСТІНДУСТРІАЛЬНОГО СУСПІЛЬСТВА

| 26 квітня 2024 рік  
м. Івано-Франківськ, Україна

Вінниця, Україна  
«UKRLOGOS Group»  
2024

## МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗБЕРЕЖЕННІ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ

**Багрій Роман Ігорович**

магістр системного аналізу

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна*

**Липак Тарас Андрійович**

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна*

**Липак Галина Ігорівна**

ORCID ID: 0000-0001-9187-5758

кандидат наук із соціальних комунікацій, доцент

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна*

Традиційно об'єкти матеріальної культурної спадщини (будівлі, твори мистецтва, приладдя, зброя тощо) для забезпечення їх доступності для майбутніх поколінь зберігалися та реставрувалися за допомогою ручного втручання людини. Одним із ключових недоліків методів ручного збереження є притаманна їм суб'єктивність [1], а також великі затрати коштів і часу, що може створити проблеми для невеликих установ або окремих колекціонерів.

Останнім часом світ спостерігає величезні технологічні стрибки, які можуть кардинально допомогти збереженню культурної спадщини, зокрема матеріальної. Для збереження та реставрації творів мистецтва та важливих історичних об'єктів все частіше застосовуються алгоритми штучного інтелекту (ШІ). ШІ може аналізувати та класифікувати тексти, фотографії та інші дані за допомогою методів машинного навчання, що сприяє ефективній організації та пошуку інформації.

Можна виділити декілька напрямів збереження матеріальної культурної спадщини за допомогою алгоритмів штучного інтелекту:

- **Цифрова реконструкція:** За допомогою комп'ютерного зору та обробки зображень алгоритми можуть відтворювати втрачені або пошкоджені об'єкти та споруди у віртуальному середовищі.

- **Збереження даних:** Алгоритми обробки даних допомагають ефективно зберігати інформацію про культурні артефакти від атрофії часом.

- **Аналіз та класифікація:** Алгоритми машинного навчання допомагають в класифікації та аналізі об'єктів культурної спадщини, що спрощує їхнє вивчення та збереження.

- **Віртуальні музеї та експозиції:** Інтелектуальні системи можуть створювати віртуальні музеї та експозиції, які дозволяють зберігати та публікувати культурну спадщину у доступному для широкої аудиторії форматі.

- **Захист від знищення:** Використання алгоритмів для моніторингу та прогнозування ризиків допомагає у запобіганні знищенню об'єктів культурної спадщини через природні катастрофи або антропогенні чинники.

Для відтворення та збереження матеріальних об'єктів культурної спадщини застосовують різновид ШІ - машинне навчання - як технологію, здатну опрацьовувати великі масиви даних, виділяти в них характерні ознаки та накопичувати їх. Таким чином штучний інтелект, зокрема машинне та глибоке

навчання, забезпечують потужні алгоритми, які можуть допомогти фахівцям відновити відсутні або зіпсовані матеріали, знаходячи візерунки, кольори та текстури на сканах із високою роздільною здатністю або зображеннях пошкоджених об'єктів, сприяючи реставрації та консервації об'єктів матеріальної культурної спадщини [2].

Розглянемо, яким чином методи штучного інтелекту можуть бути застосовані для збереження тривимірних творів мистецтва, таких як скульптури, храми та екстер'єри історичних споруд. У таких випадках використовуються датчики, які детально вивчають об'єм, форму та текстуру об'єкта. Ці датчики можуть включати методи фотограмметрії, 3D-сканери або лазерні сканери. Щоб отримати дуже точне та повне 3D-цифрове представлення твору мистецтва, проводять точні вимірювання і збирають дані з поверхні об'єкта. Отриманий 3D-файл використовується як ресурс і план дій під час реставрації. Це дозволяє реставраторам у цифровій формі відновлювати відсутні або пошкоджені частини твору мистецтва, забезпечуючи бездоганну відповідність відновлених елементів оригінальному дизайну. 3D-файл надає важливу інформацію про оригінальну форму, пропорції та складні деталі об'єкта, які можуть бути втрачені з часом. За допомогою цього цифрового довідника реставратори можуть приймати обґрунтовані рішення щодо матеріалів, методів і втручань, необхідних для реставрації.

Висновки. У найближчій перспективі використання штучного інтелекту значно розшириться та продемонструє потенціал у віртуальному відтворенні, реставрації та збереженні творів матеріальної культурної спадщини, що призведе до економії часу, зменшення людських зусиль та ймовірності помилок і підвищення ефективності результатів.

#### Список використаних джерел:

1. Ranaldi, L., & Zanzotto, F. M. (2021). Discover AI knowledge to preserve Cultural Heritage.
2. Gaber, J. 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*, 10, 185-190.

 Primedia  
eLaunch



PROCEEDINGS OF THE  
V INTERNATIONAL SCIENTIFIC  
AND THEORETICAL CONFERENCE

MODERNIZATION  
OF SCIENCE AND ITS  
INFLUENCE ON GLOBAL  
PROCESSES


03.05.2024

BERN  
SWISS CONFEDERATION

 SCIENTIA  
COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

## SECTION 13.

### INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

Липак Галина Ігорівна 

кандидат наук із соціальних комунікацій, доцент

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна*

Багрій Роман Ігорович

магістр з системного аналізу

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна*

Липак Тарас Андрійович

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня

*Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Україна*

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ, ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ТУРИСТИЧНОЇ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ІСТОРИЧНИХ ПАМ'ЯТОК

Історико-культурна спадщина тісно пов'язана з туризмом, оскільки рівень збереженості та представлення в суспільстві історичного і культурного надбання визначає туристичну привабливість конкретного регіону та напряму впливає на розвиток туристичної галузі. Останніми роками значно розширено традиційні визначення культурної спадщини: тепер вона включає не лише історико-мистецькі артефакти, а й їхнє оточення, яке називають культурним ландшафтом [1], що включає також літературу, поезію, міфи, фольклор, історичні події та традиції.

В останнє десятиліття сферу культурної спадщини охопило повсюдне оцифрування. Значним кроком вперед у документуванні стану документної спадщини свого часу стали технології цифрової фотограмметрії та лазерного сканування [2]. Із розгортанням Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ) вони стали більш доскональними, що дозволило покращити моніторинг історичної спадщини на місці у важкодоступних, віддалених або небезпечних місцях [3]. Згодом базові види розгортання ІТ призвели до розвитку більш інноваційних технологій, таких як віртуальна, доповнена та змішана реальність.

Найпоширенішим застосуванням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій є використання мультимедіа. До прикладу, автори [4] представляють фреймворк, який підтримує фотореалістичне накладання віртуальних об'єктів на віртуалізовані реальні сцени шляхом розгортання сферичних аерофотозображень, тобто фреймворк використовує рендеринг на основі зображень, що дозволяє користувачам змінювати точку зору у віртуалізації реального світу.

Часто технологія віртуальної реальності використовується в туризмі та археології для віртуальних реконструкцій, які виходять за рамки традиційної 3D візуалізації архітектурних моделей. Це досягається завдяки тому, що ці віртуальні середовища створюють відчуття подорожі в минуле завдяки віртуальним персонажам, розширеній взаємодії та мультисенсорній реальності. Такий підхід додає нових вимірів користувацькому досвіду, і одним зі способів створення відчуття віртуального занурення

є гейміфікація. Такий вимір розглядається через суб'єктивізацію досвіду відвідувачів у місцях культурної спадщини, і стосується гейміфікації з використанням доповненої реальності, що особливо підходить для дітей та молоді.

Вже у 2017 році з'явилася тенденція до зміни курсу вищезгаданих розробок, що майже повністю базуються на мультимедіа. Все більшого значення почали набувати мультимедійні рішення для покращення користувацького досвіду на археологічних об'єктах з використанням великих даних. В останні роки для культурної спадщини значно зростає значення проривних технологій, особливо сенсорних мереж (IoT).

Отже, на сьогодні існуючі дослідження новітніх технологій в секторі історико-культурної спадщини в основному зосереджені на мультимедіа у формі розширеної, змішаної або віртуальної реальності. Однак стрімко розвиваються такі проривні технології як штучний інтелект та блокчейн [5], що, безперечно, мають широкі перспективи розвитку у сфері збереження і презентації важливих історичних пам'яток.

#### Список використаних джерел:

1. UNESCO. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage, [http://whc.unesco.org/en/convention\\_text](http://whc.unesco.org/en/convention_text), Last accessed 29 Sep 29 2021.
2. Yastikli N. Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *J Cult Herit.* 2007;8:423–7.
3. Trček-Pečak T, Trček D, Belič I. A methodology for sustainable monitoring of micro locations at remote, hard-to-access and unsafe places smart structures and systems. *Techno Press.* 2015;15(5):1363–72.
4. Okura F, Kanbara M, Yokoya N. Mixed-reality world exploration using imagebased rendering. *J Comput Cult Herit.* 2015;8(2):9.
5. Trček, D. (2022). Cultural heritage preservation by using blockchain technologies. *Heritage science*, 10(1), 6