

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
д.т.н., професору Володимирі ГНАТУШЕНКУ

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **МАРТИНЕНКА Андрія Анатолійовича**
«Методи і моделі організації, обробки та аналізу даних в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень при ідентифікації творів живопису»
подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**
з галузі знань 12 «Інформаційні технології»,
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

1. Актуальність теми.

Ідентифікація, експертиза, митна експертиза та реєстрація культурних цінностей – це важливі ланки в системі обліку та контролю за збереженням пам'яток національної культури, їх переміщенням через митний кордон, а також у сфері регулювання правовідносин розпорядництва, пов'язаними з ними майновими комплексами усіх форм власності. Експертна діяльність активно сприяє науковому вивченню культурних цінностей – артефактів національної історії, матеріальних носіїв ідеалів народу, а також специфічного товару на світовому ринку.

Проведення ідентифікації культурних цінностей і творів живопису, як один з етапів експертизи, – складна справа, що не піддається чітко зафіксованому формальному опису, а часто має евристичний характер і залежить від професійного рівня та професійної інтуїції експерта.

Важливим напрямком розвитку інформаційних технологій є розробка систем, призначених для підтримки процесів прийняття рішень. Конкретне застосування таких систем є актуальним під час вирішення широкого кола задач, пов'язаних із пошуком і збереженням інформації про об'єкти матеріальної та духовної культури, що мають велике художнє, історичне, етнографічне та наукове значення, їх ідентифікацією, оцінюванням й експертизою.

Культурні цінності давно є об'єктами злочинів, зокрема вивезення їх із держави. Фальсифікація приховує твори живопису від митного контролю; її виявлення потребує тривалої експертизи з використанням різноманітних методів аналізу і відповідно швидкого прийняття рішення.

Зважаючи на вищезазначене, дисертаційна робота Мартиненка А.А. є актуальною.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Висвітлені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є науково і теоретично обґрунтованими, достовірними та апробованими. Проведення наукового дослідження, висвітлення результатів,

формулювання пропозицій та практичних рекомендацій здобувачем здійснено з використанням як загальних, так і специфічних для даної тематики апробованих методів дослідження та аналізу. Отримані автором результати достатньо обґрунтовані, ступінь їх достовірності не викликає запитань або зауважень.

Дисертація Мартиненка А.А. в цілому є структурно та змістовно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною, сприяє в достатній мірі сприйняттю викладеного автором матеріалу. Робота добре проілюстрована, наявна достатня кількість таблиць та їх графічних візуалізацій для представлення експериментальних результатів. Наявний змістовний зв'язок розділів.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

В рамках дисертаційної роботи запропоновано низку нових наукових положень:

1. Вперше розроблено двоетапну процедуру автоматизованої експертизи для встановлення авторства та справжності картин, застосування якої дозволило підвищити ефективність ідентифікації твору живопису та знизити людський фактор при попередній експертизі.

2. Набула подальшого розвитку інтелектуальна система підтримки прийняття рішень класифікації творів живопису за атрибутом часу його створення в режимі real time, що підвищило ефективність роботи експертів та дозволило скоротити час при встановленні віку твору живопису при попередній експертизі та при прийнятті рішення щодо подальшого його аналізу.

3. Вперше розроблено архітектуру інтелектуальної системи прийняття рішень на етапі (музейна експертиза), що виконує автоматизований збір візуальних ознак та аналіз Fine-Grained ознак із зображення картини, формування вектору провенансу та ідентифікацію картини на ім'я автора, стилю, жанру та часу створення на основі мереж глибокого навчання для автоматичної класифікації картин з урахуванням їхнього провенансу. Це дозволило підвищити якість та ефективність роботи інтелектуальної системи прийняття рішень для ідентифікації та класифікації творів живопису.

4. Удосконалено метод класифікації картин з урахуванням провенансу у векторному представленні та з можливістю розрізнення характерних особливостей художників одного жанру, однієї часової епохи з використанням уявлення знань у вигляді графової структури, де виділення ознак на зображеннях картин виконується за допомогою Searching and Learning Discriminative Regions (SDR, LDR пошук і вивчення дискримінаційних регіонів). На відміну від інших підходів, це створило передумови для прийняття ефективних рішень щодо експертизи творів за мінімально можливий час.

5. Отримали подальший розвиток згорткові нейронні мережі з функцією уваги, яка діє в мультизадачному режимі, для формалізації провенансу та його використання, як атрибута під час ідентифікації картин. Це дозволило, на відміну від інших систем, проводити повну музейну експертизу творів живопису.

Дисертаційна робота є частиною двох держбюджетних тем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» («Методи, моделі та

технології обробки даних в комп'ютерних системах загального та спеціального призначення» (державний реєстраційний номер 0121U113718); «Високопродуктивні багатопроцесорні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (державний реєстраційний номер 0122U201569).

4. Практична цінність результатів роботи.

Запропоновані у роботі рішення можуть бути впроваджені в митній справі Дніпровській митниці Держмитслужби та в Дніпровському художньому музеї при ідентифікації та класифікації творів живопису.

Результати проведених досліджень застосовуються у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» на факультеті інформаційних технологій на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем при викладанні дисциплін: «Машинне навчання»; «Сучасні методи і системи підтримки прийняття рішень»; «Моделі та методи штучного інтелекту в комп'ютерних науках».

5. Повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертації працях.

Матеріали дисертаційної роботи повною мірою викладені у 13 публікаціях, з них – 8 статей у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, з яких 3 – категорії А (індексується в Scopus та Web of Science), 5 – категорії Б; 5 тезах доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

6. Мова, стиль та зміст дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Стиль мовлення, використаний для викладення концепцій та результатів дослідження, є структурованим та послідовним, що допомагає читачеві легко зрозуміти постановку задачі, запропоновані методи, проведені експерименти. Використання математичних методів та експериментальних результатів допомагає підкреслити обґрунтованість та наукову цінність представлених результатів. Загалом, стиль мовлення в роботі демонструє високий рівень наукової грамотності та вміння ефективно описувати складні ідеї в науковому контексті. Застосування загальноприйнятої термінології в роботі свідчить про глибоке знання та розуміння предметної області. Автор використовує фахові терміни для точного виразу концепцій, що допомагає забезпечити коректність та наукову достовірність викладу.

Тема, зміст та отримані результати роботи відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 156 сторінок тексту, що містять 148 сторінок основного тексту, анотації на 8 сторінках, 20 рисунків, 5 таблиць, списку використаних джерел, що налічує 183 найменування на 19 сторінках, 2 додатків на 8 сторінках.

Короткий зміст дисертації.

У вступі здобувачем визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження та задачі, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи,

подано наукову новизну та практичне значення результатів. Наявна інформація про публікації та апробацію результатів досліджень.

В *першому розділі* автором описано та проаналізовано питання експертизи та ідентифікації культурних цінностей при використанні систем підтримки прийняття рішень. Наведено розгляд проблеми встановлення дійсності і авторства творів живопису. Також в розділі розглянуто питання вибору та обґрунтування методів кластеризації творів живопису, та була виконана постановка завдання дослідження.

В *другому розділі* наведено комплексний формалізований підхід до розробки методу класифікації творів живопису на етапі митної експертизи. Розроблена математична постановка і метод рішення задачі митної експертизи творів живопису у вигляді завдання автоматичної класифікації картин за роком створення. Також встановлено, що найефективніше розв'язання поставленої задачі доцільно шукати у вигляді класифікатора, дія якого базується на зваженому алгоритмі k -найближчих сусідів. Для забезпечення високої точності розв'язання задачі запропоновано набір атрибутів, що включає колірні, текстурні, статистичні та інші характеристики зображень. Значення атрибутів формуються за фотографіями картин в інтелектуальній системі прийняття рішень, яка потім класифікує твір живопису за віком. Для розрахунку ваг під час реалізації алгоритму k -найближчих сусідів пропонується використовувати метод Фішера, а для обчислення міри схожості об'єктів використовувати евклідову метрику. Описано переваги запропонованого підходу. Як набір даних для експериментальних досліджень пропонується використовувати датасет, що містить роботи відомих світових і європейських художників, а також метадані з біографією художників, періодом життя, описом жанрів і стилів написаних ними картин.

В *третьому розділі* розглянуто задачу автоматизованої класифікації картин за допомогою інтелектуальної системи ухвалення рішень на основі графа знань і Fine-Grained Image Analysis, наведено математичну постановку і метод розв'язання задачі автоматизованої класифікації картин з урахуванням їхнього провенансу на основі штучних нейронних мереж глибокого навчання на етапі повної музейної експертизи. Також в розділі запропоновано рішення у вигляді класифікатора на основі згорткових нейронних мереж з функцією уваги, що діє в мультизадачному режимі. Дані для навчання та валідації системи пропонується добирати з датасетів із відкритим доступом, у яких присутні як зображення картин, так і метадані з описами провенансу. Крім того, пропонується використовувати ресурси українських музеїв для актуалізації системи в умовах України.

В *четвертому розділі* приведені результати експериментальних досліджень, що підтверджують ефективність розробленого методу розв'язання задачі автоматизованої класифікації картин за роком їх створення для митної експертизи творів живопису. Наведено розроблену архітектуру автоматизованої системи класифікації картин з використанням Knowledge Graph і Fine-Grained Image Analysis для інтелектуальної системи прийняття рішень на етапі музейної

експертизи. Система класифікації картин виконує автоматичний збір візуальних ознак та аналіз Fine-Grained ознак з оцифрованого зображення картини, формування вектору провенансу та ідентифікацію картини за ім'ям автора, стилем, жанром і часом створення на основі мереж глибокого навчання для автоматизованої класифікації картин з урахуванням їхнього провенансу. Наведено застосування Knowledge Graph для формалізації провенансу та його використання як атрибута під час ідентифікації картин за допомогою Fine-Grained Image Analysis, реалізованої в архітектурі згорткових нейронних мереж глибокого навчання. Для організації навчання класифікатора пропонується використовувати функцію втрат на основі кутової неузгодженості між внутрішньомережевими уявленнями об'єктів класифікації. В розділі наведені результати експериментальних досліджень, що підтвердили ефективність розробленого методу розв'язання задачі автоматизованої класифікації картин за ім'ям автора, стилем, жанром і часом створення для підтримки ухвалення рішень експертами мистецтвознавцями під час проведення повної музейної експертизи оцифрованих творів живопису. Також було розроблено та наведено структуру та алгоритм роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для ідентифікації культурних цінностей; концептуальну модель інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень ідентифікації культурних цінностей.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

7. Дотримання академічної доброчесності.

Ознак порушення автором академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1) В роботі проведено аналіз існуючих систем підтримки прийняття рішень при ідентифікації та класифікації творів живопису. Але корисно було б здійснити більш детальне порівняння їх характеристик. Це дало б змогу читачу мати більше уявлення про об'єкт та предмет дослідження і про переваги створених методів і моделей.

2) В третьому розділі частина матеріалу містить загально відомий характер, який варто було б скоротити чи навести лише посилання на відповідні джерела та/або частково перенести в перший розділ.

3) В розділі 4 варто було б більш уваги приділити питанню практичного використання отриманих результатів та їх подальшого розвитку.

4) На сторінці 105 рисунок 4.7 містить англійські підписи, що не узгоджується з іншими рисунками та рештою роботи.

5) В роботі мають місце незначні відхилення від правил та вимог оформлення роботи та нумерації посилань на використані джерела інформації.

Разом з тим зазначаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Загальний висновок.

Ступінь наукової новизни отриманих результатів, теоретичне і практичне значення, достовірність отриманих висновків і рекомендацій, актуальність теми дослідження, достатня апробація представлених до захисту результатів та відсутність порушення норм академічної доброчесності дозволяють зробити висновок, що дисертаційна робота «Методи і моделі організації, обробки та аналізу даних в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень при ідентифікації творів живопису» Мартиненка Андрія Анатолійовича відповідає вимогам, що передбачені в «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Здобувач Мартиненко Андрій Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри програмних засобів
Національного університету
«Запорізька політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Сергій СУББОТІН