

## **ВІДГУК**

**опонента**, кандидата технічних наук, доцента кафедри  
автоматики електроніки та телекомунікацій Національного університету  
«Полтавська політехніка імені Ю. Кондратюка»  
Лактіонова Олександра Ігоровича  
на дисертаційну роботу Кулягіна Андрія Ігоровича  
на тему «Нейромережні методи створення рекомендаційних систем для  
інтерактивного мистецтва з використанням доповненої реальності»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

**Актуальність теми дисертації.** Збільшення кількості інструментів доповненої реальності в мистецтві, а також зростаючий попит та стрімкий розвиток AR мистецтва, призводить до пошуку шляхів удосконалення систем та платформ AR мистецтва задля збільшення імерсивності та якості взаємодії користувачів з ним. Для вирішення цих проблем існує потреба у використанні рекомендаційних систем для надання користувачам більш релевантних творів, відповідно до їх уподобань. Окрім того, постає необхідність надання користувачам більш емоційно та відповідних до контексту творів. Одним із нових підходів є аналіз емоційного фідбеку на фото- чи відео потоці та використання отриманих даних для зміни різних аспектів системи або конкретного контенту. Вказані особливості визначають актуальність теми роботи Кулягіна А. І.

Дисертаційна робота націлена на покращення результатів рекомендаційних систем для інтерактивного мистецтва з використанням доповненої реальності за допомогою нейромережних методів. Об'єктом дослідження є процеси створення рекомендаційних систем для інтерактивного мистецтва.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» в рамках науково-дослідних робіт «Наукові основи та методи забезпечення надійності парку БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних та військових об'єктів» Міністерство освіти і науки України, проєкт № 0121U112172). Внесок здобувача полягає у розробленні нових методів, моделі, елементів інформаційної технології та інструментальних засобів, що забезпечують вирішення поставлених у дисертації задач. Участь Кулягіна А. І. – виконавець.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.** Отримані здобувачем наукові результати розв'язують науково-прикладну задачу застосування нейромережних методів створення рекомендаційних систем для інтерактивного мистецтва з використанням доповненої реальності. Це дозволило здобувачу отримати наступні наукові результати:

- вперше розроблено нейромережну модель вибору релевантних арт-композицій для інтерактивного мистецтва з урахуванням характеристик арт-композицій і профілю користувача, що дозволило персоналізувати взаємодію користувачів з інтерактивним мистецтвом, враховуючи різноманітні характеристики арт-композиції та дані уподобання користувача з його профілю.

- вперше розроблено метод аналізу емоційних відгуків користувачів на відео у реальному часі для надання рекомендацій щодо вибору арт-композицій, що дозволяє отримувати емоційний фідбек користувача під час взаємодії з інтерактивним мистецтвом в реальному часі.

- дістав подальшого розвитку метод рекомендацій за допомогою інтеграції емоційного фідбеку користувачів для покращення релевантності арт-композицій, що дозволяє збільшити релевантність рекомендованих арт-композицій за рахунок аналізу емоційного фідбеку користувачів та врахування емоційного стану під час вибору арт-композиції.

Достовірність отриманих наукових та практичних результатів підтверджуються обґрунтованістю допущень, прийнятих при розробці моделей та методів.

Аналіз змісту розділів у дисертаційній роботі дозволяє зробити висновок про належну обґрунтованість наукових положень дисертації Кулягіна А. І. При цьому наукові положення та висновки, представлені у дисертації, обґрунтовано теоретичним аналізом, результатами практичного впровадження на підприємстві та в навчальному процесі. Можна відзначити, що дисертаційна робота Кулягіна А. І. є завершеним науковим дослідженням.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності.** За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Кулягіна А.І. повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки третього освітньо-наукового рівня «доктор філософії», за галуззю знань 12 Інформаційні технології.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Загальний обсяг дисертації 166 сторінок. Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і завдання дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена інформація про апробацію дисертаційної роботи і публікації.

У першому розділі проведено аналіз розвитку та проблем взаємодії користувачів з AR мистецтвом. Висвітлено еволюцію розвитку інтерактивного мистецтва доповненої реальності, покращення імерсивності користувачів систем доповненої реальності. Особлива увага приділяється аналізу неявних фідбеків користувачів в реальному часі та рекомендаціям за допомогою інтеграції аналізу емоційного фідбеку користувачів для підвищення релевантності рекомендацій арт-композицій.

У другому розділі проаналізовано різні типи нейромережних методів створення рекомендаційних систем арт-композицій для систем AR. Також проаналізовано використання нейромережної архітектури NCF з її багатошаровим перцептроном і здатністю до нелінійного моделювання, яка є значним кроком вперед у розвитку рекомендаційних систем, пропонуючи гнучкість у вивченні різноманітних типів взаємодій між користувачами та елементами. Проаналізовано, що використання технологій глибокого навчання та VSA здатне покращити здатність систем вловлювати зміни настроїв користувачів, забезпечуючи вищу релевантність та індивідуалізацію контенту. Успішне впровадження таких підходів вимагає вирішення комплексу викликів, пов'язаних з обробкою великих даних, приватністю користувачів та продуктивністю системи.

У третьому розділі було описано вхідні дані, обмеження і допущення задачі рекомендацій арт-композицій користувачам систем доповненої реальності, вперше запропонована нейромережна модель для вибору релевантних арт-композицій, яка продемонструвала високу ефективність і адаптивність при її впровадженні. Також було реалізовано метод аналізу емоційних відгуків користувачів на відео у реальному часі для надання рекомендацій щодо вибору арт-композицій, метод рекомендацій за допомогою інтеграції аналізу емоційного фідбеку користувачів для підвищення релевантності рекомендацій арт-композицій. Також представлені результати впровадження дисертаційного дослідження. Позитивний фідбек та результати з різних сфер демонструють надійність, масштабованість і великий потенціал запропонованих методів для подальшого впровадження.

Четвертий розділ дисертаційного дослідження є логічним розвитком попередніх. У ньому було проведено порівняльний аналіз різних методологій тестування та оцінки ефективності розроблених нейромережних моделей, проаналізовано результати застосування розроблених моделей. Також було запропоновано стратегії оптимізації та подальший розвиток розроблених моделей та методів.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям комп'ютерних наук.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кулягіна Андрія Ігоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів.** Дисертаційна робота написана українською мовою. При аналізі мови та стилю дисертації було помічено, що здобувач зазвичай використовує чітку та конкретну лексику, що допомагає передати його результати чітко та зрозуміло. Текст організований за логічними блоками, просліджується зв'язок між розділами, що забезпечує достатньо наглядний перехід від одного аспекту дослідження до іншого. В цілому, прослідковується дотримання академічного стилю, уникнення надмірних деталей робить текст цілком доступним для читача та допомагає передати ідеї наукового дослідження. Здобувач використовує наглядні приклади та ілюстрації, що допомагають усвідомити основну ідею та результати досліджень.

В цілому, дисертація написана із дотриманням наукового стилю з використанням сучасних термінів та мовних аспектів. Дисертація демонструє високий професіоналізм та володіння загальноприйнятою термінологією в сфері інформаційних технологій.

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

**Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.** Наукові результати дисертації висвітлені у 4 статтях, надрукованих у наукових фахових виданнях України, серед яких 1 стаття проіндексована у базі даних Scopus. Також результати дисертації були апробовані на 3 міжнародних

науково-технічних конференціях, тези однієї з доповідей проіндексовані у базі даних Scopus.

Науковий рівень публікацій здобувача достатньо високий, де особистий внесок чітко прослідковується у кожній роботі. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Постановочна частина дисертації виглядала б краще, якби у першому розділі більш наглядно (у вигляді діаграм та графіків) були б наведені результати аналітичного огляду сучасних нейромережних методів створення рекомендаційних систем АРТ-композицій для систем AR. Це підвищило б ступінь обґрунтованості зробленого автором висновку, що що використання традиційних методів у рекомендаційних системах для мобільних пристроїв в контексті доповненої реальності виявляється недостатньо ефективним.

2. У розділах 2 і 3 недостатньо конкретизовані причини вибору саме (2+1)D моделі згорткової нейронної мережі для створення гібридної рекомендаційної системи HR-VSA.

3. У розділі 4 дисертаційної роботи оцінка ефективності рекомендаційної системи проводиться за показником середньої абсолютної похибки (MAE). Бажано було б побачити результати оцінки ефективності й по деяких інших показниках, проаналізованих у підрозділі 4.1 (середньоквадратичне відхилення (RMSE), precision, recall, F1 score, MCC).

4. У дисертаційній роботі слід було надати більш детальне пояснення переваги використання саме відео користувачів арт-систем доповненої реальності в якості неявного фідбека над іншими формами і видами неявних фідбеків.

5. Не у повній мірі висвітлено процес оптимізації гіперпараметрів мереж.

6. Програмний код містить функцію `train_test_split`, а текст дисертаційного дослідження недостатньо розкриває це питання.

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

**Висновок про дисертаційну роботу.** Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кулягіна Андрія Ігоровича на тему «Нейромережні методи створення рекомендаційних систем для інтерактивного мистецтва з використанням доповненої реальності» виконана

на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про при судження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами.

Здобувач Кулягін Андрій Ігорович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Кандидат технічних наук,  
доцент кафедри «Автоматики,  
електроніки та телекомунікацій»  
Національного університету  
«Полтавська політехніка імені  
Юрія Кондратюка»,  
лауреат Премії Президента  
України для молодих учених



Олександр ЛАКТИОНОВ

Підпис кандидата технічних наук, доцента кафедри «Автоматики, електроніки та телекомунікацій» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Лактіонова Олександра Ігоровича засвідчую:

Проректор з наукової та міжнародної роботи  
Національного університету  
«Полтавська політехніка імені  
Юрія Кондратюка»  
Доктор технічних наук, професор



Олена СТЕПОВА