УДК 004.9:930.85:004.8

МЕТОДИКА РОЗРОБЛЕННЯ AR-ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩІНИ

[1]Олександр СУПРУН
[1]доцент, кафедра МСТ, ХНУРЕ

Abstract. *The paper proposes a methodology for developing augmented reality (AR) applications for interactive presentation of historical and cultural heritage. The stages of the development cycle are systematized: analysis of the heritage object and requirements, user-centered design, production of digital content (photogrammetry and 3D modeling), software implementation based on Unity and AR Foundation, as well as evaluation using standardized usability metrics. Design approaches (user-centered design, design thinking, social-centered design) are compared, and the application of the System Usability Scale (SUS) as a criterion of AR application quality is substantiated. Directions for improving AR projects in museums, historical sites, and tourism are outlined.*

Keywords: *augmented reality, cultural heritage, AR application, user-centered design, Unity, usability, SUS, digital storytelling.*

Цифровізація історико-культурної спадщини стала одним із пріоритетних напрямів сучасної інформаційної політики музеїв, архівів і туристичних інституцій. Доповнена реальність (AR) — технологія, що накладає віртуальні об’єкти на реальне середовище в реальному часі — відкриває якісно нові можливості інтерактивного представлення пам’яток: відтворення втрачених архітектурних елементів, оживлення музейних експонатів, занурення відвідувача в історичний контекст місця. Оглядові дослідження засвідчують, що AR-застосунки сприяють поглибленню знань про спадщину та підвищують залученість аудиторії, проте значна частина розробок не доходить до повноцінної оцінки якості [1].

Доповнена реальність у контексті культурної спадщини реалізується за двома базовими схемами відстеження. Маркерна схема використовує розпізнавання зображень — фотографій експонатів, ілюстрацій, гравюр і відповідно до них прив’язує віртуальний контент; вона проста в реалізації та стійка в приміщеннях, але потребує друкованих носіїв або якісних зображень. Безмаркерна схема спирається на GPS-координати та технології одночасної локалізації і побудови карти (SLAM), що робить можливою роботу на відкритих археологічних локаціях і в історичних кварталах. Вибір схеми визначає вимоги до цифрового контенту, стабільності з’єднання та апаратних можливостей пристроїв відвідувачів [2, 3].

Запропонована методика розроблення AR-застосунків охоплює п’ять послідовних етапів, кожен з яких передбачає документування рішень для забезпечення відтворюваності процесу. На першому етапі — аналізі, визначається об’єкт спадщини, цільова аудиторія (школярі, туристи, дослідники) та освітні чи презентаційні цілі; обов’язковим є консультування з істориками та фахівцями з охорони пам’яток для уникнення фактологічних помилок. Другий етап — дизайн, ґрунтується на користувач-орієнтованому підході: побудова персон користувачів, проєктування сценаріїв взаємодії, розробка інформаційної архітектури. Третій етап — виробництво цифрового контенту. Тривимірні моделі пам’яток створюються методами фотограмметрії (зйомка об’єкта з кількох сотень ракурсів з подальшою

реконструкцією геометрії) або процедурного моделювання для втрачених об'єктів, відновлюваних на підставі архівних креслень та літописних описів. Окремої уваги потребує диджитал-сторітелінг: структурування контенту у формі наративу з персоналізованими персонажами, інтерактивними вікторинами та системою винагород значно підвищує емоційне залучення відвідувачів. Четвертий етап — програмна реалізація. П'ятий етап — оцінювання. З огляду на те, що значна частина AR-проєктів спадщини залишається без повноцінної оцінки, методика передбачає обов'язковий блок валідації за стандартизованими інструментами: шкалою системної зручності SUS, опитувальником користувацького досвіду UEQ та шкалою NASA-TLX для оцінювання когнітивного навантаження. Залежно від цілей проєкту застосовуються також контрольні дослідження з попереднім та підсумковим тестуванням знань для освітніх сценаріїв.

Порівняльний аналіз методологій проєктування (рис. 1) свідчить, що всі розглянуті підходи перевищують поріг прийнятності SUS (68 балів), найвищі показники демонструє ітеративна схема Research–Design–Develop–Test з циклами тестування безпосередньо на локації. Разом з тим дослідження використання AR у музеях спадщини засвідчують, що технічна якість застосунку є лише одним із факторів прийняття: суттєву роль відіграють соціальний вплив, очікувана корисність та доступність контенту.

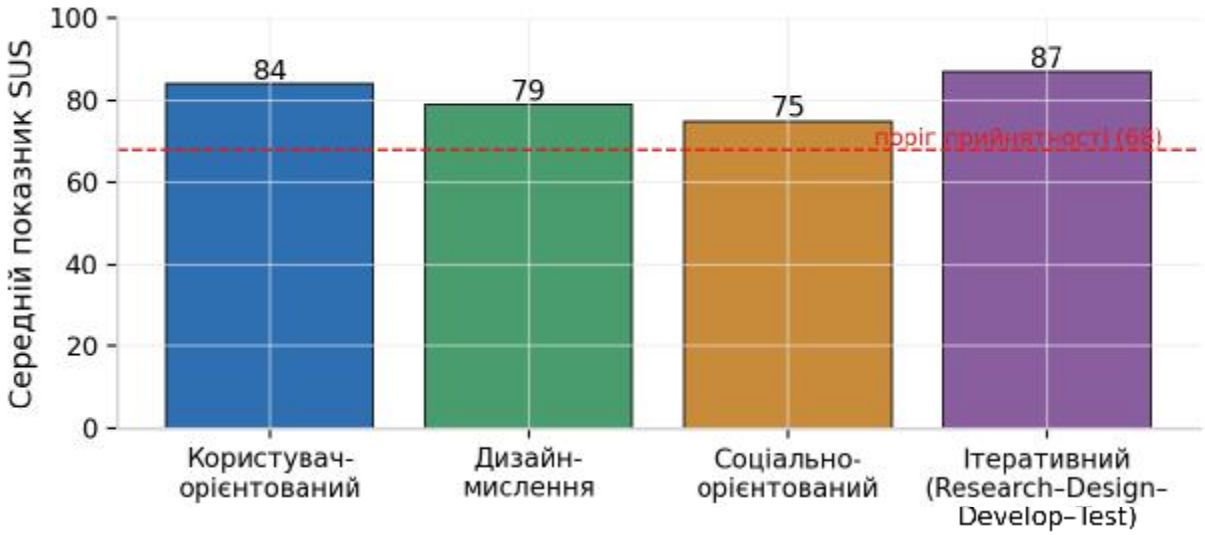

Рис. 1. Середні показники системної зручності (SUS) AR-застосунків за підходами до проєктування

Комплексний показник зручності інтерфейсу AR-застосунку розраховується за шкалою SUS на підставі десяти п'ятибальних тверджень анкети за формулою [1]:

$$SUS = 2{,}5 \cdot (x_1 + x_2 + \ldots + x_{10}) \quad (1)$$

де SUS — інтегральний показник системної зручності (0–100); x_i — коригована відповідь респондента на i-те твердження: для тверджень з непарними номерами $x_i = r_i - 1$, для тверджень із парними номерами $x_i = 5 - r_i$, де r_i — необроблена відповідь за п'ятибальною шкалою. Значення SUS ≥ 68 вважається прийнятним, $SUS \geq 80{,}5$ — відповідає класу «excellent»; у проєктах спадщини

цей поріг рекомендовано підвищувати до 75 з огляду на різнорідність аудиторії, включно з дітьми та літніми відвідувачами.

Практичне впровадження методики виявило низку типових проблем. Розпізнавання маркерів суттєво погіршується за змінного освітлення музейних залів, завантаження високополігональних 3D-моделей вимагає стабільного високошвидкісного з'єднання, а фрагментація мобільних пристроїв ускладнює тестування. Окремим викликом є баланс між науковою достовірністю та візуальною привабливістю: гіпотетичні реконструкції втрачених об'єктів мають бути чітко позначені як інтерпретації, а не автентичні відтворення. Підхід, орієнтований на користувача, з інтеграцією зворотного зв'язку в кожен цикл розробки, дозволяє поступово усувати ці обмеження.

Отже, запропонована методика забезпечує системний шлях від ідеї AR-проєкту до оціненого робочого застосунку: аналіз об'єкта та аудиторії → користувач-орієнтований дизайн → виробництво достовірного цифрового контенту → реалізація на Unity/AR Foundation → валідація за SUS/UEQ/NASA-TLX. Вона придатна для музеїв, історичних заповідників та туристичних маршрутів і може бути адаптована для нематеріальної спадщини — традиційних ремесел, обрядів та усної творчості, яка лишається значно менш дослідженою у AR-застосуваннях. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку інтероперабельних відкритих середовищ авторингу, доступних фахівцям з культурної спадщини без технічної підготовки, а також на вивчення довгострокового впливу AR-взаємодії на запам'ятовування історичних знань.

Список літератури

1. Chatsiopoulou, I., et al. (2025). Augmented reality in Cultural Heritage: A narrative review of design, development and evaluation approaches. *Heritage, 8(10*), 421. https://doi.org/10.3390/heritage8100421

2. Jin, Y., Ma, M., & Liu, Y. (2024). Comparative study of HMD-based virtual and augmented realities for immersive museums: User acceptance, medium, and learning. *Journal on Computing and Cultural Heritage,* 17(4), 1–17.

3. A study of the educational applications of Augmented Reality in museums. (2025). *In Proceedings of the 2025 International Conference on Big Data and Informatization Education. ACM*. https://doi.org/10.1145/3729605.3729642

4. Augmented Reality in Cultural Heritage: A systematic review of mobile applications and user experience evaluation. (2025). *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering,* 13(3).