

Є. О. Канарський, О. О. Орехов, А. О. Стадник

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СИСТЕМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ: АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Анотація. Завдяки стрімкому розповсюдженню технології доповненої реальності в різних сферах людської діяльності постало питання оцінки якості цих систем. Хоч дослідження в цьому напрямку вже проводились, але вони охоплювали окремі показники якості і не пропонували єдину комплексну модель. Для оцінки якості систем доповненої реальності використовувався стандарт ISO-25010. Але даний стандарт не враховує особливі відмінності систем і додатків доповненої реальності, що робить дослідження для даного напрямку надзвичайно актуальними. Метою даної статті є огляд і систематизація існуючих публікацій на тему дослідження якості доповненої реальності для визначення поточних результатів та актуальних напрямків досліджень для подальшого використання при розробці моделей та метричних методів оцінки якості систем доповненої реальності. В ході проведення огляду було встановлено, що найбільша кількість досліджень присвячена якості використання доповненої реальності та користувацькому досвіду використання таких систем. В більшості випадків пропонується проводити оцінку за допомогою методу евристичного. Також є спроби розробки метрик на основі існуючих стандартів якості для програмних систем або модернізувати існуючі моделі оцінки. Пропозиції щодо розробки окремих метричних методів оцінки систем доповненої реальності відсутні або знаходяться в закритому доступі. На основі отриманих результатів огляду можна зробити висновок, що при розробці моделей і метрик оцінки якості систем доповненої реальності потрібно буде враховувати такі характеристики як якість використання, якість досвіду користувача та візуальну привабливість. Даний перелік планується доповнити після проведення більш глибокого огляду існуючих досліджень.

Ключові слова: доповнена реальність, моделі якості, метрики, досвід користувача, якість використання.

Вступ

Мотивація. Доповнена реальність (англ. Augmented Reality, AR) – це технологія, що дозволяє інтегрувати віртуальні об'єкти у оточуючу нас реальність. Іноді як синоніми використовуються назви розширена реальність, поліпшена реальність, збагачена реальність. Вперше цей термін був запропонований у 1992 році інженером Томом Коделлом. Дослідник Рональд Азума в 1997 році визначав доповнену реальність як систему, що [1]:

- поєднує віртуальне і реальне;
- взаємодіє в реальному часі;
- працює в 3D.

Раніше за нього у 1994 Пол Мілграм та Фуміо Кішино описували доповнену реальність як частину змішаної реальності (MR) [2]. Точніше, вони позначають доповнену реальність як частину реально-віртуального континууму, який з'єднує повністю реальне середовище з віртуальним (рис. 1).

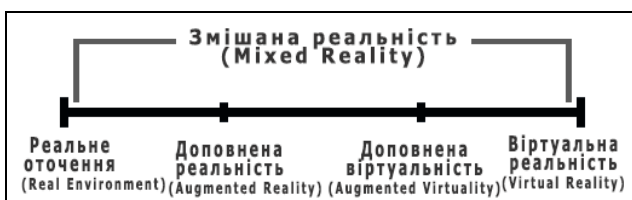


Рис. 1. Реально-віртуальний континуум

Хоч технологія доповненої реальності отримала широке поширення та почала активно розвиватись у різних сферах відносно недавно, сама технологія не є новою. Перше практичне використання доповнена реальність знайшла ще в 80-х роках минулого століття. Разом з початком використання AR-технологій постало питання про методи для оцінки якості таких

систем. В наш час, коли доповнена реальність отримала значний розвиток у зв'язку з поширенням мобільних пристроїв, це питання стало ще більш актуальним.

Головною відмінністю систем доповненої реальності від «традиційних» програмних продуктів являється інтерфейс. На відміну від таких звичних елементів керування, як кнопки та повзунки тощо, AR-системи використовують інші способи забезпечення можливості взаємодії користувача з віртуальними елементами. Саме на цю особливість робиться акцент при дослідженні проблематики оцінки якості доповненої реальності та інших складових змішаної реальності.

Аналіз публікацій. Переважна більшість публікацій присвячена дослідженню якості використання систем доповненої реальності як самостійного явища або частини змішаної реальності [3-21]. Розглядаються різні методики оцінки – від опитувань потенційних користувачів до евристичного аналізу. Також почалось дослідження досвіду користувача та його впливу на якість AR-системи [22-24]. В останні кілька років також стала актуальною розробка моделей якості, в тому числі на основі вже існуючих стандартів [25-27]. Велика кількість досліджень призначена для оцінки якості системи доповненої реальності в межах конкретної предметної області або специфічної задачі [28-34]. Також дослідження в даній і суміжній з нею областях проводить кафедра комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» [35,36].

Метою дослідження являється огляд існуючих публікацій для формування уявлення про поточний стан та актуальні напрямки розробок методик і методів оцінювання якості систем доповненої реальності.

Виклад основного матеріалу

Якість використання. Більша частина досліджень оцінки якості доповненої реальності присвячена якості використання (англ. usability) AR-систем, особливо інтерфейсу користувача. Перші дослідження стосувалися оцінки якості використання віртуальних середовищ в цілому і представляли собою просте опитування користувачів віртуальної або доповненої реальності. При цьому відзначалися поширені проблеми, пов'язані зі зручністю використання та уявленням користувачів про роботу системи [3]:

- оманливі ознаки дій;
- очікування дії, яка неможлива;
- прихований функціонал;
- відсутній або неоднозначний зворотній зв'язок.

У дослідженні ці проблеми пов'язують з розташуванням елементів інтерфейсу та сприйняттям користувачами елементів змішаної реальності для орієнтування у віртуальному просторі. Хоч дана робота не пропонує власних методів оцінки якості систем доповненої реальності, вона позначила їх основні проблеми та стала основою для подальших досліджень. Одним з таких результатів став представлений у роботі [4] покроковий метод оцінювання (WEM). Даний метод являється вдосконаленою покроковою перевіркою на відповідність до поставлених вимог і включає наступні основні кроки:

- підготовка сценаріїв та контрольних списків для користувачів;
- проходження кожного сценарію з використанням відповідних моделей;
- критика дизайну системи;
- реєстрація виявлених проблем;
- об'єднання проблем, виявлених в кожному сценарії, в загальних список;
- розстановка пріоритетів вирішення проблем на основі суб'єктивної оцінки.

Такий метод доволі простий у реалізації та дозволяє залучати до оцінки usability персонал без відповідної кваліфікації. Для підвищення точності отримуваних результатів пропонується повторний аналіз з більшою кількістю оцінювачів. За результатами перевірки, WEM може правильно визначити до 80,4% спостережуваних проблем. Упущені проблеми переважно пов'язані з труднощами навігації і не являються критичними.

Загалом таких методів для оцінки якості використання віртуального середовища було створено досить багато. Їх класифікація стала предметом окремого дослідження (рис. 2) [5].

Проте, не зважаючи на великий перелік доступних методів та їх ефективність при проведенні аналізу, залишалась актуальною потреба в більш економічно-ефективних методах інженерії якості використання [6] і адаптація їх до майбутніх вимог галузі [7].

Відокремлювати змішану реальність від віртуального середовища як самостійне явище для аналізу якості використання стали лише на початку XXI століття [8]. Одним з перших адаптованих до оцінки доповненої реальності методів став метод аналізу домену [9].

| | | Залучення користувачів | | Кількість | Тип результату |
|---------------------|----------------------------|--|---|------------|----------------|
| | | Потребує | Не потребує | | |
| Контекст оцінювання | Загальні | <ul style="list-style-type: none"> •Формальне підсумкове оцінювання •Post-hoc опитування | <ul style="list-style-type: none"> •Загальні моделі продуктивності для віртуальних середовищ | Кількісний | Якісний |
| | | <ul style="list-style-type: none"> •Неформальне підсумкове оцінювання •Post-hoc опитування | <ul style="list-style-type: none"> •Евристичний аналіз | Кількісний | |
| | Для конкретних застосувань | <ul style="list-style-type: none"> •Формальне оцінювання •Формальне підсумкове оцінювання •Post-hoc опитування | <ul style="list-style-type: none"> •Моделі продуктивності для конкретних програм віртуальних середовищ | Кількісний | Якісний |
| | | <ul style="list-style-type: none"> •Формальне оцінювання (формальне і неформальне) •Post-hoc Опитування •Інтерв'ю | <ul style="list-style-type: none"> •Евристичний аналіз •Когнітивний покроковий метод | Кількісний | |

Рис. 2. Класифікація методів дослідження якості використання віртуальних середовищ

Запропонований процес аналізу складається з чотирьох основних дій:

- розробка варіантів використання – варіанти використання описують випадки використання, для яких призначена система;
- профілі користувачів – дозволяє інженерам зосередити зусилля на проектуванні для певної цільової групи;
- аналіз потреб користувачів – уточнює потреби користувачів та дає аналіз необхідних можливостей;
- аналіз завдань користувача – використовує набір методів для декомпозиції завдань користувачів та розуміння набору процедур, які користувач використовує для досягнення мети. Цей аналіз корисний для встановлення показників ефективності, призначення цільових значень для метрик, визначення потенційних помилок та перевірки відповідності інтерфейсу до потреб користувача.

Дане дослідження стало першим випадком використання орієнтованого на користувача процесу проектування до AR-систем. Також існують методи з використанням підтримки комп'ютера [10]:

- I-DOVE (Interactive tool for Development Of Virtual Environment) – заснований на кількох наборах рекомендацій для розробки Virtual Environment;
- MAUVE – багатокритеріальна usability матриця для отримання рекомендацій щодо навігації, взаємодії з об'єктами, дизайну тощо;
- Гіпертекстовий прототип – інструмент для підтримки при проектуванні інтерфейсів віртуальних середовищ. Містить 45 загальних властивостей дизайну, які необхідні для нормального інтерфейсу.

Окрім комп'ютеризованих засобів також існують інші методи оцінки, основані на залученні користувачів до процесу розробки [11]:

- Польове спостереження – складається зі спостереження за користувачем та збором інформації про його поведінку та результати діяльності при виконанні поставлених завдань. Дослідження проводиться в робочому середовищі користувача. Дослідник має спостерігати за робочим процесом та робити записи, на основі яких ставиться оцінка;
- Інтерв'ю – метод виявлення потреб та індивідуальних проблем потенційних користувачів за допомогою інтерв'ю;

– Анкетування – застосовується командою дизайнерів для з'ясування, як розроблювана система буде використовуватись певною групою користувачів;

– Аналіз контексту використання – описує відповідні характеристики користувача (ISO 9421-11). Включає описи користувача, виконувани завдання, використовуване обладнання та робоче середовище. Ця інформація має важливе значення для розробки інших методів оцінки якості використання;

– Збори вимог – виконується після аналізу контексту використання для аналізу результатів;

– Експертна оцінка за критеріями – оцінювання експерта на основі заздалегідь встановлених критеріїв;

– Оцінка зручності використання – у тестуванні бере участь група користувачів, яка має виконувати невеликі завдання на основі підготовлених коротких сценаріїв. Після виконання завдань проводиться інтерв'ю і заповнюється анкета;

– Діаграма спорідненості – простий і економічно ефективний метод сортування великих обсягів даних. Використовується для групування різних вимог користувачів.

Дані методики існують вже давно і не забезпечують високу точність результатів, але все ще залишаються актуальними через свою простоту використання.

Повноцінне дослідження якості систем доповненої реальності почалося з 2007 року, коли мобільні пристрої стали досить поширеними. Саме мобільні пристрої стали платформою для розповсюдження AR-систем за межами спеціально обладнаних робочих місць. У роботі [12] пропонується методологія оцінювання якості використання для прототипу AR-бінокюляра PRISMA. Предметом оцінки названо поведінку користувача з новими туристичними технологіями. Оцінювання проводиться за кількісними і якісними показниками. Основними цілями кількісного аналізу являється оцінювання поведінки та підтвердження доданої вартості учасниками тестування. Аналіз проводився на основі анкети із 30 запитань, заповнених одразу після використання прототипу. Якісний аналіз збирає дані за допомогою методів безпосереднього спостереження, інтерв'ю та дослідження письмових документів. Його метою є визначення потреб і бажань користувачів подібних туристичних AR-систем. Такий підхід до оцінювання якості використання може вказати на основні недоліки системи та дати підказки для подальшого вдосконалення. В опитуваннях часто беруть участь зацікавлені представники відповідної сфери, що впливає на результати. Проте оцінювання проходить на основі відгуків фокус-групи з невеликою кількістю учасників, а залучати більше людей не дозволяє потік користувачів на тестовій локації. Такі результати не можна назвати об'єктивними або точними, але такий метод тестування залишається актуальним завдяки простоті та швидкості отримання результатів.

Більш комплексне дослідження вкладено в роботу [13]. Головною метою дослідження являється розробка методу інженерії якості використання, орієнтованого на користувачів та включення його у життєвий цикл розробки. Таким чином пропонується

поліпшити дизайн інтерфейсу додатків доповненої реальності. Як і в роботі [12], тут використовуються дослідження поведінки користувачів, проте результати додатково підкріплені розрахунками кореляції, впливу стилів тексту та алгоритмів малювання на помилку. Також до уваги було взято проблеми з освітленням, налаштування та інші фактори, що впливали на користувача. В результаті був використаний той самий метод опитування користувачів, але завдяки додатковим розрахункам результати можна вважати більш валідними. Проблемою дослідження являється те, що воно направлено на дослідження активних стилів малювання для доповненої реальності. Сучасні AR-системи не обмежуються текстовими даними, тому потрібні додаткові дослідження і розрахунки, без яких робота являється застарілою.

Схожі тези можна побачити в публікації [14] від 2009 року. Розглядаючи методи опитування, перевірки та тестування для оцінки якості використання AR-інтерфейсів, автор відзначає необхідність враховувати відмінність доповненої реальності від інших систем. Характеристика методів перевірки та опитування відповідають тим, що описані в дослідженнях [12] і [13] відповідно. Метод тестування описується як основний метод оцінки якості використання для систем доповненої реальності, але за описом він майже ідентичний до методу перевірки і не має прикладів використання.

Однак дослідження якості використання не обмежується стандартизованими опитуваннями. Для організації, стурбованих покращенням взаємодії з користувачами, відстеження та вимірювання якості використання є постійною проблемою. Вирішенням проблеми стандартизації usability займається в тому числі IT-відділ компанії Intel [15]. Для стандартизації була обрана п'ятибальна шкала Лайкерта – так звана шкала зручності використання системи (SUS). Однак просто адаптувати SUS для роботи з доповненою реальністю виявилось неможливим, тому було прийнято рішення пов'язати пул потенційних елементів зі стандартом ISO 9241-11. Загалом було розроблено 12 потенційних пунктів, за якими повинна проводитись оцінювання. Всі пункти були поділені на три категорії – ефективність, результативність (дієвість) і задоволеність (табл. 1).

Після декількох раундів тестувань, була проведена кореляція показників. Були внесені значні зміни для покращення балансу та усунення плутанини з елементами (табл. 2).

Отримані метрики якості використання для користувацького досвіду було визнано як надійною, валідною та чутливою альтернативою традиційної шкали SUS. Самі автори досліджень відзначають компактний розмір отриманих метрик та потенційну можливість використовувати їх в інших етапах життєвого циклу. Разом з тим відзначається високий рівень кореляції між показниками. Проте компактність описаних в роботі [15] метрик не дає всебічну оцінку досліджуваної системи, а лише спирається на суб'єктивну оцінку користувачів та їх власний досвід. Результати дослідження можна використати для подальших розробок в напрямку оцінки якості використання.

Таблиця 1 – Використані потенційні елементи

| Компоненти usability | Потенційні елементи |
|----------------------|--|
| Ефективність | [Цей елемент] зберігає мені час |
| | Я схильний до помилок [в цій системі] |
| | Я не роблю помилок [з цією системою] |
| Дієвість | Я маю витратити багато часу на виправлення [з цією системою] |
| | [Ця система] дозволяє мені виконувати мої завдання |
| | Для моїх завдань мені потрібна система з більшою кількістю функцій |
| | Мені не потрібні доповнення [для цієї системи] |
| Задоволеність | Можливості [цієї системи] не відповідають моїм вимогам |
| | Я задоволений [цією системою] |
| | Я краще користувався б чимось іншим замість [цієї системи] |
| | Маючи вибір, я обрав би [цю систему] замість інших |
| | Використання [цієї системи] було розчаруванням |

Таблиця 2 – Компоненти usability

| Компонент usability | Потенційні елементи |
|---------------------|---|
| Дієвість | Можливості [цієї системи] відповідає моїм вимогам |
| Задоволеність | Використання [цієї системи] викликає розчарування |
| Загальність | [Ця система] легка у використанні |
| Ефективність | Я витрачаю багато часу на виправлення помилок [в цій системі] |

Для оцінки систем доповненої реальності можна використовувати SUS без додаткових модифікацій. У дослідженні [16] оцінюється розроблена інтерактивна AR-система для навчання стосовно збереження риб на Тайвані. У частині оцінки системи в основному оцінювалась якість використання системи з точки зору кінцевого користувача. Саме опитування складається з 10 питань, які оцінюються за 5-бальною шкалою:

- Я вважаю, що хочу використовувати цю систему частіше;
- Я вважаю, що система надто складна;
- Я вважаю, що система проста ц використанні;
- Я вважаю, що мені знадобиться технічна підтримка для використання цієї системи;
- Я вважаю, що окремі функції цієї системи добре інтегровані;
- Я вважаю, що в цій системі багато суперечностей;
- Я вважаю, що більшість людей швидко навчяться користуватись цією системою;
- Я вважаю, що система дуже громіздка для використання;
- Я вважаю, що відчуваю себе дуже впевнено при користуванні системою;
- Я вважаю, що мені потрібно багато чому навчитися для роботи з цією системою.

Анкета заповнюється учасниками опитування після завершення роботи з досліджуваною системою, після чого розраховується середній бал та медіана. Для розглянутої роботи ці значення становлять 78 і 66 балів відповідно, що вказує на придатність системи до використання. Учасники опитування також відмітили зручність використання системи. Загалом можна сказати, що SUS відноситься до вже розглянутої методикою опитування за допомогою анкетування. Головною відмінністю SUS являється чітко визначений, стабільний перелік питань. З точки зору проведення оцінки, він являється ефективним, економічним за часом та простим у використанні. Головним його мінусом являється суб'єктивність отриманих результатів.

Окрім опитувань та перевірки за допомогою метрик, популярною методикою оцінки якості використання являється евристичний метод. Його суть полягає в тому, що група експертів перевіряє дизайн інтерфейсу за допомогою набору характеристик. Евристичне оцінювання просте у виконанні, дешеве та доволі ефективне. За його допомогою не можна виявити всі проблеми, але переважна більшість основних і більшість другорядних недоліків стануть явними. Процеси перевірки якості використання за допомогою евристичної оцінки добре задокументовані і мають багато публікацій, що описують використання цих методів. Разом із ростом популярності AR-систем постало питання оцінки якості використання, в тому числі за допомогою евристичного методу. Оскільки традиційні евристики не підходять для оцінки доповненої реальності, в роботі [17] пропонується методологія створення нових евристик якості використання для кожного конкретного випадку:

- Дослідницький етап – збір бібліографічного матеріалу, конкретні програми та їх характеристики, загальні та/або пов'язані евристики;
- Описовий етап – визначення найважливіших характеристик раніше зібраних даних та формалізація основних понять;
- Кореляційний етап – визначення характеристик, які повинні мати евристики usability на основі традиційних евристик та аналізу існуючих прикладів;
- Пояснювальний етап – формальне визначення набору запропонованих евристик за допомогою стандартного шаблону;
- Етап валідації – перевірка нових евристик за допомогою експериментів, виконаних на обраних тематичних дослідженнях, доповнених користувацькими тестами;
- Етап уточнення – уточнення результатів на основі відгуків, отриманих на етапі перевірки.

Представлений алгоритм універсальний і підходить для будь-якої системи. Для перевірки його придатності в розглянутій роботі та досліджуваних greed-систем було розроблено 12 нових евристик, згрупованих у три категорії: дизайн та естетика, навігація, помилки та довідка. Результати роботи були підтримані School of Informatics Engineering of the Pontifical Catholic University of Valparaiso, членами "UseCV" Research Group та IDIS Research Group of University of Cauca. Загалом отримана таким чином евристика мають загальні для даного методу

оцінки якості використання недоліки – можна пропустити деякі малопомітні проблеми. Проте недоліки компенсуються дешевизною, швидкістю та простотою методу.

Крім вищевказаних, існує ще одна причина популярності використання евристичних досліджень. Головною платформою для додатків доповненої реальності являються смартфони та планшети. Через велику кількість способів використання AR у додатках різного призначення. Таке різноманіття ускладнює стандартизацію, тому простіше використати евристичне дослідження. У дослідженні [18] розглядаються принципи якості використання для AR-додатків на смартфоні. Метою дослідження стала розробка принципів якості використання для розробки та оцінки мобільних додатків. Розробка проводилась на основі аналізу існуючих досліджень методів евристичної оцінки, принципів проектування систем доповненої реальності, вказівок щодо інтерфейсів портативних мобільних пристроїв і принципів зручності використання матеріального інтерфейсу користувача. В результаті було розроблено 22 принципи, що були розділені на п'ять різних груп (рис. 3).

Детально розроблені принципи usability описані в табл. 3. На основі отриманих результатів було проведено дослідження декількох мобільних додатків на операційній системі Android.

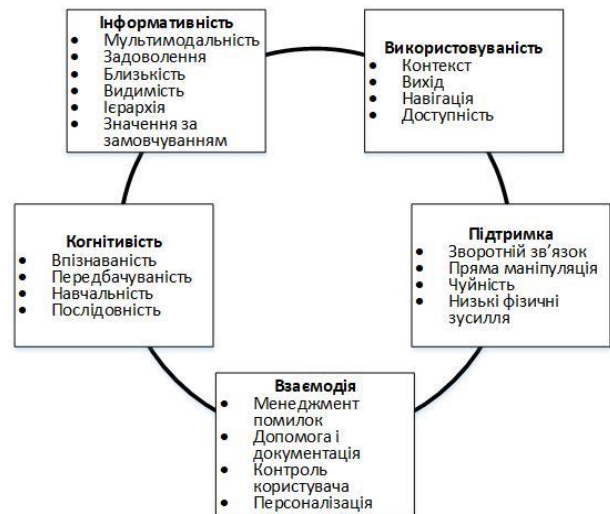


Рис. 3. Структуровані принципи usability

Таблиця 3 – Принципи usability для оцінки та розробки додатків доповненої реальності

| Принципи | | Визначення |
|--------------------|--------------------------|---|
| Інформативність | Значення а замовчуванням | Початок роботи повинен бути легким для користувача. Також повинна надаватись рамка, що позначає простір введення і пов'язані з ним екземпляри |
| | Задоволення | Естетичний дизайн, в тому числі палітра кольорів, повинен справляти захоплююче враження на користувача |
| Інформативність | Близькість | Слід використовувати не лише знайомі метафори та значки, а й орієнтовану на користувача мову. |
| | Ієрархія | Якщо обсяг інформації великий, вона має подаватись поетапно |
| | Мультиmodalність | Інформація має надаватись зі звуком та візуальним відображенням |
| | Видимість | Графічні фактори мають мати належний дизайн. |
| Когнітивність | Послідовність | Загальноживані терміни та інтерфейси повинні йти послідовно, щоб уникнути плутанини. |
| | Навчальність | Функції та особливості програми мають бути легкими для вивчення |
| | Передбачуваність | Функції та особливості програми мають бути легкими для вивчення. |
| | Впізнаваність | Необхідну інформацію слід надавати належним чином, щоб користувачам не довелося використовувати короточасну пам'ять |
| Підтримка | Менеджмент помилок | Помилки, що виникають під час використання програм, повинні бути підкріплені методом запобігання та вирішення |
| | Допомога і документація | Необхідно надати відповідну довідку для підтримки програм користувача |
| | Персоналізація | Інтерфейс має бути досить простим, щоб його можна було змінювати відповідно до смаків і особливостей користувачів. |
| | Контроль користувача | У користувачів має бути відчуття, що вони контролюють систему, а система реагує на їхні дії |
| Взаємодія | Пряма маніпуляція | Коли користувачі керують пристроєм, інформація, що з'являється на екрані, і дії користувачів повинні інтуїтивно співставлятися |
| | Зворотній зв'язок | Користувачам повинна надаватись інформація про послідовність процесу та стан системи |
| | Низькі фізичні зусилля | Зусилля, пов'язані з роботою програми, мають бути мінімізовані |
| | Чуйність | Реакція на дії користувачів має бути швидкою |
| Використовуваність | Доступність | Програма повинна швидко починати роботу, а попередній робочий стан і параметри повинні залишатися незмінними після повторного запуску. |
| | Контекст використання | Інтерфейс користувача має бути розроблений з урахуванням різних типів середовищ і розроблений відповідно до середовища використання |
| | Вихід | Припинити роботу або повернутися до попередньої частини роботи має бути легко |
| | Навігація | Користувачам слід дозволити вільну навігацію в додатку, коли вони виконують свою роботу |

Оскільки тестування проводилось в лабораторних умовах, результати тестування із залученням користувачів можуть відрізнятись. При спробі розробити аналоги до вже існуючих додатків з використанням отриманих рекомендацій, показники якості використання вдалось покращити. Таким чином було підтверджено валідність результатів даного дослідження. Слід враховувати, що дане дослідження було обмежене трьома мобільними застосунками, використовуваними лише на території Кореї. Тестування проходило в лабораторних умовах на смартфонах Android, тож на iOS результати не перевірялись. При дослідженні використовувались дисплеї стаціонарних смартфонів, тож масштабування інтерфейсу не біло враховане.

Також розробці евристик для систем доповненої реальності присвячена робота [19]. У дослідженні проводиться розробка набору універсальних евристик для оцінки якості використання AR не тільки на мобільних, а й на спеціалізованих гаджетах і платформах. У своїй роботі автор проводить дослідження методів евристичної оцінки та їх застосування при тестуванні додатків доповненої реальності, а також модифікує деякі вже відомі. В результаті ним було запропоновано список з шести евристик для оцінки AR-додатків, а саме:

- Методи взаємодії та контроль;
- Презентація віртуальних об'єктів;
- Зв'язок між віртуальними об'єктами і реальним світом;
- Інформація, пов'язана з віртуальними об'єктами;
- Придатність і контексті використання;
- Фізичний контроль використання.

Даний список представляє собою універсальний набір на основі повторюваних і частих проблем, що зустрічаються при роботі з доповненою реальністю, тому їх можна назвати універсальними. Однак така універсальність не гарантує точність результатів оцінки. При розробці евристик для кожного конкретного випадку, їх перелік може становити кілька десятків. Це добре видно на прикладі двох попередніх розглянутих публікацій. Тому автор даної роботи пропонує під час евристичного аналізу також використовувати інші евристики, наприклад такі як запропоновані Якобом Нільсеном. Також автор не проводив перевірку отриманих результатів на практиці, тому при використанні даний набір евристик може потребувати корегувань в кожному окремому випадку.

В останніх публікаціях чітко можна побачити наступну тенденцію: не просто досліджуються та пропонуються методи оцінки якості використання AR-застосунків, а й враховуються сфера їх застосування. Наприклад, роботи [20] і [21] присвячені дослідженню принципів якості використання у додатках доповненої реальності для дітей дошкільного віку та організації освітнього процесу відповідно. Ці два дослідження проводились різними групами з різних університетів з різницею у два роки, але їх структура майже ідентична. Першим кроком досліджується наявна література. Крім загальних понять та методів оцінки якості використання, описуються та зводяться

у таблицю характерні проблеми, з якими стикаються діти або студенти. Отримані результати використовуються для розробки принципів якості використання, з яких видаляються дублікати і комбінуються схожі. Після видалення і об'єднання дублікатів, визначені принципи діляться на групи та проводиться аналіз головних компонентів. Нарешті, в результаті аналізу були отримані 23 окремих принципи якості використання для розробки AR-додатків для дітей дошкільного віку у роботі [20] та навчання студентів у роботі [21]. На основі отриманих принципів якості використання автори досліджень планують провести розробку застосунків та використати їх для проведення евристичного аналізу.

Користувацький досвід. Окрім якості використання, існують інші методи оцінки якості систем доповненої реальності. Оскільки такі сервіси пропонують новий вид взаємодії, для забезпечення успіху їм також потрібно розуміти очікування і потреби майбутніх користувачів. Оцінювання цих факторів та їх вплив на якість AR-систем здійснюється за допомогою дослідження досвіду користувача (англ. User Experience, UX).

Як і у випадку з дослідженням якості використання, у перших дослідженнях використовувався метод інтерв'ю для розуміння уявлень та вимог потенційних користувачів до AR-систем. У роботі [22] проводиться опитування та систематизація отриманих результатів для різних областей застосування. Опитуваними стали відвідувачі в торгових центрах, оскільки там завжди багато відвідувачів, розміщуються різноманітні магазини та проводяться розважальні заходи. На відміну від більшості подібних досліджень, дана робота не розглядає системи доповненої реальності в рамках конкретної предметної області. Натомість в роботі досліджуються ставлення користувачів до AR-систем, уявлення про їх роботу та загальне відношення до використання технологій та обміну інформацією. Автори пояснюють такий вибір напрямку досліджень тим, що вивчення UX на момент написання статті знаходяться ще в початковому стані, а також пошуком можливість виділити специфічні для AR характеристики UX. Наступним кроком досліджень автори називають розробку конкретних показників для оцінки AR-систем на основі теорій і концепцій UX.

Більш розгорнуто результати даного дослідження та концепції UX в цілому представлено в дисертації [23] все того ж автора. Окрім методу інтерв'ю, використаного в роботі [22], в дисертації для збору інформації про потреби і очікування потенційних користувачів використовуються результати онлайн-опитувань. Завдяки отриманим відповідям автор отримав уявлення про те, який досвід користувачі очікують отримати від користування додатками доповненої реальності, та систематизувати очікуваний UX за наступними категоріями:

- Інструментальний – базується на цінності технології для користувача в якості інструменту для полегшення діяльності;
- Когнітивний – пов'язаний з думками та можливістю AR-сервісу задовольняти потреби користувачів у нових знаннях;

– Емоціональний – пов'язаний з можливістю AR-сервісу викликати в користувача таку емоційну реакцію (задоволення, радість, захоплення, емоційне збудження, ностальгія);

– Сенсорний – впливає на сприйняття користувачем оточуючого середовища та інтерактивність, залежить від здатності AR-системи впливати на естетичні почуття;

– Соціальний – виникає при взаємодії користувача з людиною, безпосередньо пов'язаною з тою ж AR-системою;

– Мотиваційний – стимулює користувача досягти якоїсь мети за допомогою технології.

Даний перелік описує досвід, до якого прагнуть досліджені та потенційні користувачі AR-системи. Відповідно, розробники при проектуванні мають це враховувати і намагаться зробити такий досвід можливим. Але UX, не охоплює всього, що слід враховувати при проектуванні і не може прогнозувати реальний досвід, отримуваний користувачами в процесі роботи. У висновках до дисертації автор зазначає, що використання UX в конкретних областях являється складною задачею. Люди часто мають абстрактні або узагальнені потреби та очікування від роботи з доповненою реальністю, які можна віднести і до інших складових змішаної реальності. Така відсутність конкретики теоретично може підштовхнути до більш розширених досліджень UX. В подальшому дана дисертація стала основою для дослідження автором концепції та суб'єктивних показників оцінки UX мобільних систем доповненої реальності.

В останніх дослідженнях UX розглядається більш комплексно. Якщо в попередніх дослідженнях розглядався виключно сприйняття і реакція користувачів на використання систем доповненої реальності, то в сучасних дослідженнях також беруться до уваги сторонні фактори, що можуть вплинути на користувачський досвід. В роботі [24] пропонується цілісна концептуальна модель UX з 10 компонентів (рис.4), вилучених із вже існуючих моделей – UXIVE Model.

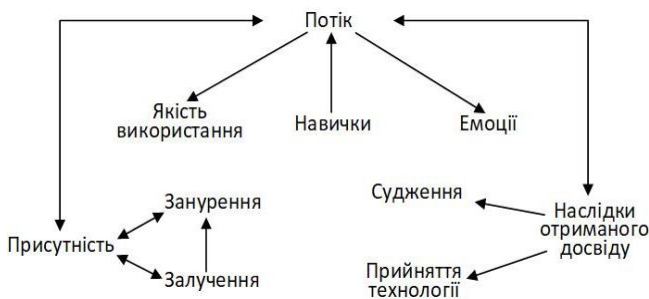


Рис. 4. Модель UXIVE

Модель UXIVE описує компоненти, з яких формується UX, та відношення між ними. Результати підкріплюються результатами опитування більш ніж 150 користувачів AR-систем. Автори справедливо зазначають, що отримані результати не являються абсолютно точними, оскільки в опитуванні брали участь обмежена кількість користувачів однієї AR-системи, половина з яких належить до однієї вікової групи. Але навіть з переліченими недоліками, дане

дослідження являється першим, де вивчаються взаємозв'язки компонентів UX між собою, їх вплив на користувача і розвиток технологій доповненої реальності.

Моделі оцінки якості. На даний момент не існує ніяких загальноприйнятих моделей для комплексної оцінки якості систем доповненої реальності. Частково це пов'язано з тим, що доповнена реальність тільки починає масово розповсюджуватись. В зв'язку з цим постало питання про оцінку якості таких систем. На даний момент для оцінки якості AR-систем використовуються моделі якості на основі стандарту ISO-25010, метрики якого адаптуються під функції доповненої реальності [25]. Інші дослідження оцінюють якість систем AR на основі їх візуальної складової – якості зображення та естетичної привабливості. Моделі оцінки впливу візуальної якості [26] та оцінки якості накладених зображень [27] демонструють значення візуальної складової на задоволеність користувачів від використання AR. Однак вони обмежені візуальною складовою, тоді як на якість AR-систем впливають декілька різних показників.

Інші дослідження. Крім розглянутих вище, існує ще велика кількість досліджень, пов'язаних з різними аспектами якості доповненої реальності. Ці публікації поєднують кілька напрямків досліджень або розглядають проблему під незвичним кутом, тому їх важко систематизувати. В них розглядаються такі питання, як моделі прийняття доповненої реальності [28], оцінка намірів користувачів при використанні мобільних додатків [29], розробка рекомендацій для навчальних AR-систем [30], оцінювання систем з точки зору користувачів [31,32], принципи та метрики для розробки дизайну AR-додатків [33,34], експериментальні дослідження в туризмі та інших сферах застосування доповненої реальності. Також сюди можна віднести дослідження якості використання інтерактивних програмних засобів [35] і якість людино-машинних інтерфейсів [36].

Висновки та подальші дослідження

В дані статті проводиться огляд існуючих публікацій на тему оцінки якості доповненої реальності. Публікації можна систематизувати за напрямками досліджень. Найбільша кількість досліджень присвячена якості використання, оскільки за допомогою цього показника найлегше оцінити привабливість для користувача розроблюваного програмного продукту. Частіше всього для проведення оцінювання використовується метод евристичного дослідження. Такий вибір методики оцінки зумовлений тим, що якість використання являється суб'єктивною характеристикою і використання такого ж суб'єктивного методу оцінки здається логічним. На даний момент можна помітити що дослідження якості використання проходять в двох напрямках – перший зосереджений на визначенні універсальних евристик для будь-яких AR-додатків, другий передбачає розробку окремого набору евристик для кожної предметної області або окремого випадку. При цьому у другому випадку для покращення результатів оцінки часто додатково застосовуються універсальні евритики.

Також usability являється важливою складовою інших досліджень якості AR, таких як користувацький досвід або моделі на основі стандарту якості програмного забезпечення ISO-25010. Можна сказати, що якість використання являється ключовим параметром оцінки якості доповненої реальності, який доповнює інші параметри якості. Таким чином цей показник стане об'єднуючим при об'єднанні актуальних досліджень UX та вже існуючих метрик якості програмного забезпечення в єдину модель якості систем доповненої реальності. На даний момент дослідження та створення моделей якості для систем

доповненої реальності знаходиться на початковому етапі, тому публікацій не цю тему майже немає. Це в значній мірі пов'язано з тим, що AR лише відносно нещодавно почали масово поширювати на смартфонах. AR-технології все частіше зустрічаються в нашому повсякденному житті, тому тема розробки моделей і метрик оцінки якості доповненої реальності являється актуальною і важливою. В майбутніх роботах планується провести більш детальний аналіз існуючих публікацій та визначити основні параметри і показники, на яких базуватиметься модель якості доповненої реальності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Azuma R. T. A Survey of Augmented Reality [Electronic resource] / Ronald T. Azuma // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – Vol. 6, no. 4. – P. 355-385. – DOI: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
2. Milgram P. A Taxonomy Of Mixed Reality Visual Displays [Electronic resource] / Paul Milgram, Fumio Kishino // IEICE Transactions on Information Systems. – 1994. – E77D, no. 12. – P. 1321–1329. – Mode of access: <https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76jBo-Milgram IEICE 1994.pdf>
3. Kaur K. Designing virtual environments for usability [Electronic resource] : Electronic Thesis or Dissertation / Kaur Kulwinder. – [S. l.], 1998. – Mode of access: <http://openaccess.city.ac.uk/7567/>
4. Sutcliffe A. G. Evaluating the usability of virtual reality user interfaces [Electronic resource] / A. G. Sutcliffe, K. Deol Kaur // Behaviour & Information Technology. – 2000. – Vol. 19, no. 6. – P. 415-426. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/014492900750052679>
5. Bowman D. A. A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods [Electronic resource] / Doug A. Bowman, Joseph L. Gabbard, Deborah Hix // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 2002. – Vol. 11, no. 4. – P. 404-424. – DOI: <https://doi.org/10.1162/105474602760204309>
6. Gabbard J. L. Usability Engineering of Virtual Environments [Electronic resource] / Joseph L. Gabbard, Deborah Hix // Handbook of Virtual Environments (1st Edition). – Boca Raton, CRC Press, 2002. – P. 681-699. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780585399102>
7. Tromp J. G. Systematic Usability Evaluation and Design Issues for Collaborative Virtual Environments [Electronic resource] / Jolanda G. Tromp, Anthony Steed, John R. Wilson // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 2003. – Vol. 12, no. 3. – P. 241–267. – DOI: <https://doi.org/10.1162/105474603765879512>
8. Gabbard J. L. Researching Usability Design and Evaluation Guidelines for Augmented Reality (AR) Systems [Electronic resource] / Joseph L. Gabbard. – Mode of access: https://www.rkriz.net/sv/classes/ESM4714/Student_Proj/class00/gabbard/index.html
9. Usability engineering: domain analysis activities for augmented-reality systems [Electronic resource] / Joseph Gabbard [et al.] // Electronic Imaging 2002, San Jose, CA / ed. by A. J. Woods [et al.]. – [S. l.], 2002. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/12.468073>
10. Bach C. Obstacles and Perspectives for Evaluating Mixed Reality Usability [Electronic resource] / Cédric Bach, Dominique L. Scapin // ResearchGate. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/221104007_Obstacles_and_Perspectives_for_Evaluating_Mixed_Reality_Usability
11. Träskbäck M. User requirements and usability of mixed reality applications [Electronic resource] : Licentiate thesis / Träskbäck Marjaana. – Helsinki, 2004. – 109 p. – Mode of access: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/48/urn012717.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. Alzua-Sorzabal A. An Experimental Usability Study for Augmented Reality Technologies in the Tourist Sector [Electronic resource] / Aurrene Alzua-Sorzabal, María Teresa Linaza, Marina Abad // Information and Communication Technologies in Tourism 2007. – Vienna. – P. 231-242. – DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-211-69566-1_22
13. Gabbard J. L. Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-Based Studies to Inform Design [Electronic resource] / J. L. Gabbard, J. E. Swan // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 2008. – Vol. 14, no. 3. – P. 513-525. – DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2008.24>
14. Kostaras N. N. Assessing the Usability of Augmented Reality Systems / Nektarios N. Kostaras, Michalis N. Xenos // 13th Panhellenic Conference on Informatics, Corfu, 10–12 September 2009. – Los Alamitos, 2009. – P. 197–201
15. Finstad K. The Usability Metric for User Experience [Electronic resource] / Kraig Finstad // Interacting with Computers. – 2010. – Vol. 22, no. 5. – P. 323-327. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2010.04.004>
16. Lin H.-C. K. Establishment And Usability Evaluation Of An Interactive Ar Learning System On Conservation Of Fish [Electronic resource] / Hao-Chiang Koong Lin [et al.] // The Turkish Online Journal of Educational Technology. – 2011. – Vol. 10, no. 4. – P. 181–187. – Mode of access: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ946626.pdf>
17. Rusu C. A Methodology to Establish Usability Heuristics [Electronic resource] / Cristian Rusu [et al.] // The Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, Gosier, 23–28 February 2011. – [S. l.], 2011. – P. 59–62. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/229040164_A_Methodology_to_establish_usability_heuristics
18. Ko S. M. Usability Principles for Augmented Reality Applications in a Smartphone Environment [Electronic resource] / Sang Min Ko, Won Suk Chang, Yong Gu Ji // International Journal of Human-Computer Interaction. – 2013. – Vol. 29, no. 8. – P. 501-515. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2012.722466>
19. Kalalahti J. Developing Usability Evaluation Heuristics For Augmented Reality Applications [Electronic resource] : Masters thesis / Kalalahti Joanna. – Lappeenranta, 2015. – 90 p. – Mode of access: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/103081/masters_thesis_joanna_kalalahti_31122014.pdf?sequence=2

20. Tuli N. Usability Principles for Augmented Reality based Kindergarten Applications [Electronic resource] / Neha Tuli, Archana Mantri // *Procedia Computer Science*. – 2020. – Vol. 172. – P. 679-687. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.089>
21. Al-Obaidi A. Usability Principles for Augmented Reality Applications in Education [Electronic resource] / Arwa Al-Obaidi, Master Prince // *International Journal of Computer Science and Network Security*. – 2022. – Vol. 22, no. 1. – P. 49–54. – DOI: <http://dx.doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.1.8>
22. Expected user experience of mobile augmented reality services: a user study in the context of shopping centres [Electronic resource] / Thomas Olsson [et al.] // *Personal and Ubiquitous Computing*. – 2011. – Vol. 17, no. 2. – P. 287-304. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-011-0494-x>
23. Olsson T. User Expectations and Experiences of Mobile Augmented Reality Services [Electronic resource] / Thomas Olsson // Tampere University of Technology. – 2012. – P. 1–102. – Mode of access: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2953-5>
24. Towards a Model of User Experience in Immersive Virtual Environments [Electronic resource] / Katy Tcha-Tokey [et al.] // *Advances in Human-Computer Interaction*. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1–10. – DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/7827286>
25. Scheibmeir J. Quality Model for Testing Augmented Reality Applications [Electronic resource] / Jim Scheibmeir, Yashwant K. Malaiya // 2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York City, NY, USA, 10–12 October 2019. – [S. l.], 2019. – DOI: <https://doi.org/10.1109/UEMCON47517.2019.8992974>
26. David A. The value of visual quality and service quality to augmented reality enabled mobile shopping experience [Electronic resource] / Alsui David [et al.] // *Quality Management Journal*. – 2021. – Vol. 28, no. 3. – P. 116–127. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10686967.2021.1920868>
27. Huiyu D. Confusing Image Quality Assessment: Towards Better Augmented Reality Experience [Electronic resource] / Duan Huiyu [et al.] // *arXiv Computer Vision and Pattern Recognition*. – 2022. – P. 1–13. – DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.04900>
28. Leue M. C. A Theoretical Model of Augmented Reality Acceptance / M. Claudia Leue, Dario tom Dieck, Timothy Jung // Department of Food and Tourism Management Manchester Metropolitan University. – 2014. – P. 1–5. – Mode of access: https://agrilifecdn.tamu.edu/ertr/files/2014/02/enter2014_RN_93.pdf
29. Understanding users' continuance intention toward smartphone augmented reality applications [Electronic resource] / Keesung Kim [et al.] // *Information Development*. – 2014. – Vol. 32, no. 2. – P. 161–174. – DOI: <https://doi.org/10.1177/0266666914535119>
30. Towards the development of guidelines for educational evaluation of augmented reality tools [Electronic resource] / Manoela M. O. da Silva [et al.] // 2016 IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual & Augmented Reality (KELVAR), Greenville, SC, USA, 19 March 2016. – [S. l.], 2016. – DOI: <https://doi.org/10.1109/KELVAR.2016.7563677>
31. User evaluation of mobile augmented reality scenarios [Electronic resource] / Thomas Olsson [et al.] // *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. – 2012. – Vol. 4, no. 1. – P. 29-47. – DOI: <https://doi.org/10.3233/AIS-2011-0127>
32. Dünser A. Evaluating Augmented Reality Systems [Electronic resource] / Andreas Dünser, Mark Billinghurst // *Handbook of Augmented Reality*. – New York, NY, 2011. – P. 289-307. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_13
33. Augmented Reality Design Heuristics: Designing for Dynamic Interactions [Electronic resource] / Tristan C. Endsley [et al.] // *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. – 2017. – Vol. 61, no. 1. – P. 2100–2104. – DOI: <https://doi.org/10.1177/1541931213602007>
34. Graphic User Interface Design Principles for Designing Augmented Reality Applications [Electronic resource] / Afshan Ejaz [et al.] // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2019. – Vol. 10, no. 2. – DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100228>
35. Орехова А.А. Качество в использовании интерактивных параллельных программных средств / А. А. Орехова, К. А. Бохан, В. С. Харченко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Київ, 2012. – Т. 1. – Вип. 1 (21). – С. 127-131.
36. Orechova A. Human-machine interface quality assessment techniques: Green and safety issues [Electronic resource] / Anastasiia Orechova, Oleksandr Orehov, Vyacheslav Kharchenko // *DT 2014 - 10th International Conference on Digital Technologies*. – IEEE, 2014. – P. 248-254. – DOI: <https://doi.org/10.1109/DT.2014.6868723>

Received (Надійшла) 14.09.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.11.2022

Assessing the quality of an augmented reality system: an analysis of the state of research

Yevhenii Kanarskyi, Oleksandr Orehov, Anastasiia Stadnyk

Abstract. Due to the rapid spread of augmented reality technology in various spheres of human activity, the question of quality assessment of these systems has arisen. Although studies in this direction have already been conducted, they covered individual quality indicators and did not offer a single comprehensive model. The ISO-25010 standard was used to assess the quality of augmented reality systems. But this standard does not take into account the special differences of systems and applications of augmented reality, which makes research for this direction extremely relevant. The purpose of this article is to review and systematize existing publications on the topic of augmented reality quality research to determine current results and current research directions for further use in the development of models and metric methods for assessing the quality of augmented reality systems. During the review, it was established that the largest number of studies is devoted to the quality of using augmented reality and the user experience of using such systems. In most cases, it is suggested to conduct an assessment using the heuristic method. There are also attempts to develop metrics based on existing quality standards for software systems or to modernize existing evaluation models. Proposals for the development of separate metric methods for evaluating augmented reality systems are absent or are in closed access. Based on the results of the review, it can be concluded that when developing models and metrics for assessing the quality of augmented reality systems, it will be necessary to take into account such characteristics as the quality of use, the quality of the user experience, and visual appeal. This list is planned to be supplemented after conducting a more in-depth review of existing research.

Keywords: augmented reality, quality models, metrics, user experience, usability.