

DOI: <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2023-79-75-81>
УДК 378.1:004.9

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ЗВО

©Бо Ван

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди

Інформація про автора:

Бо Ван – ORCID: 0009-0002-6659-4975; wanboua2021@gmail.com; аспірант кафедри педагогіки та інноваційної педагогіки Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди; вул. Алчевських, 29, Харків, 61000, Україна

Використання технології доповненої реальності в освітньому процесі закладів вищої освіти впливає на його продуктивність, що визначається істотним потенціалом для розвитку особистості як у суспільних відносинах, так і в різних сферах творчої самореалізації. У статті розглянуто визначення сучасними науковцями поняття «доповнена реальність». Визначено засоби технології доповненої реальності як сукупність апаратного та програмного комп'ютерного забезпечення доповнення контекстно-залежними віртуальними об'єктами, що оточують людину реального світу в конкретному просторі та часі, що змінюється при зміні реального середовища або ракурсу спостереження. Основними компонентами технології є апаратні засоби доповненої реальності, браузер доповненої реальності, система розпізнавання, система доповненої реальності, контент доповненої реальності. Існують різні класифікації технології доповненої реальності. За типом взаємодії системи доповненої реальності з користувачем виділяють автономні та інтерактивні системи доповненої реальності. За ступенем мобільності виділяють стаціонарні та мобільні системи доповненої реальності. За функціональним призначенням виділяють системи візуального пошуку, розпізнавання, системи «Augmented Reality 2.0», системи «лінза/екран-дзеркало», системи контекстної візуалізації. Також представлено особливості застосування технології доповненої реальності як засобу навчання в закладі вищої освіти, що сприяє підвищенню наочності та інформативності освітнього процесу при вивченні різноманітних дисциплін. Підвищення ефективності освітнього процесу передбачає більш детальне вивчення доцільності та шляхів використання технології доповненої реальності на основі наявних літературних джерел та проведених досліджень, що дасть змогу визначити можливості використання цієї технології як об'єкта вивчення і засобу навчання.

Ключові слова: технологія, доповнена реальність, віртуальна реальність, професійна освіта, освітній процес, заклад вищої освіти, засіб навчання.

Bo Wang "Characteristics of augmented reality technology and its application in the educational process of higher education establishments".

The use of augmented reality technology in the educational process of higher education establishments affects its productivity, which is determined by the significant potential for personality development both in social relations and in various spheres of creative self-realization. The article examines the definition of «augmented reality» by modern scientists. The tools of augmented reality technology are defined as a set of hardware and software computer support for supplementing the real world surrounding a person with context-dependent virtual objects in a specific space and time, which changes when the real environment or observation angle changes. The main components of the technology are augmented reality hardware, augmented reality browser, recognition system, augmented reality system, augmented reality content. There are different classifications of augmented reality technology. According to the type of interaction of the augmented reality system with the user, autonomous and interactive augmented reality systems are distinguished. According to the degree of mobility, stationary and mobile augmented reality systems are distinguished. According to their functional purpose, visual search and recognition systems, Augmented Reality 2.0 systems, lens/screen-mirror systems, and contextual visualization systems are distinguished. Also described are the features of the application of augmented reality technology as a means of learning in a higher education establishment, which contributes to increasing the visibility and informative of the educational process when studying various disciplines. Increasing the effectiveness of the educational process involves a more detailed study of the feasibility and ways of using augmented reality technology based on available literary sources and conducted research, which will make it possible to determine the possibilities of using this technology as an object of study and a means of learning.

Key words: technology, augmented reality, virtual reality, professional education, educational process, higher education establishment, means of learning.

Постановка проблеми. Використання технології доповненої реальності в освітньому процесі закладів вищої освіти впливає на його продуктивність, що визначається істотним потенціалом для розвитку особистості як у суспільних відносинах, так і в різних сферах творчої самореалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уперше термін «доповнена реальність» було запропоновано Т. Коделом [1], який визначав її як працюючий на основі спеціального програмного забезпечення комп'ютер та його монітор, прикріплений до голови людини, що дало змогу співробітникам авіакомпанії можливість здійснити монтаж електропроводки в літаках. Словосполучення «доповнена реальність» складається з двох слів, що означає розширений, збільшений, доповнений, і дійсність, реальність. Однак наразі існує потреба в більш чіткому обґрунтуванні даного терміну, що дасть можливість передати його точне значення.

У контексті застосування технології доповненої реальності в освітньому процесі вважаємо за доцільне формулювання суті цієї технології при обговоренні особливостей пристроїв та функціонування відповідних засобів як середовища з прямим або опосередкованим доповненням реального (фізичного) світу цифровими даними в режимі реального часу за допомогою комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

Типову систему доповненої реальності можна представити таким чином: комп'ютер за допомогою відеокамери аналізує оточуючий простір, система намагається знайти знайомі об'єкти реального світу. Для простоти технічної реалізації об'єкти можна спеціально виділити контрастним малюнком, який називається маркером. Після того, як система розпізнала фізичний об'єкт, вона виводить на екран комп'ютеру певну цифрову інформацію (віртуальний об'єкт), як правило, це 3D-модель, що «накладається» на об'єкт реального світу. Система поєднує віртуальний об'єкт із реальним і при фізичній взаємодії з реальним об'єктом (наприклад, при його переміщенні), користувач взаємодіє відразу і з віртуальним об'єктом і з об'єктом доповненої реальності [2]. При цьому в користувача, який дивиться на екран комп'ютера, формується уявлення, що віртуальний об'єкт існує в реальному світі.

Також технологію доповненої реальності можна схарактеризувати як розгляд людиною реального світу через прозорий дисплей, на якому відображаються певні віртуальні

об'єкти. Однак така система має обмежену кількість властивостей робочого об'єкта, оскільки вона, по-перше, може мати інформацію про те, де має бути об'єкт, але не володіти інформацією про те, як він виглядає; по-друге, система може володіти інформацією про те, як виглядає об'єкт, але невідомо, де він перебуває в системі. При цьому реальний об'єкт має бути певним «маркером» для зв'язку віртуального об'єкта з реальним середовищем і тим самим знизити невизначеність моделі. Різноманітне комбінування властивостей робочого об'єкта дозволить вирішити багато завдань.

Для характеристики технології доповненої реальності як засобу навчання необхідно розглянути визначення сучасними науковцями поняття «доповнена реальність»:

- посилення природного зворотного зв'язку з оператором за допомогою імітованих сигналів, тобто як результат додавання уявних об'єктів, що сприймаються людиною як елементи реального світу [3];
- видима модифікація навколишнього простору, отримана шляхом упровадження інформаційних об'єктів, таких як графічні та мультимедійні об'єкти, змодельовані за допомогою комп'ютера [4; 5];
- система, що забезпечує можливість заповнення реального фізичного простору 3D-моделями, текстом, зображеннями та іншими віртуальними об'єктами реалістичним образом на екрані комп'ютера [6];
- система, що дозволяє поєднувати віртуальні об'єкти з реальними і здатними взаємодіяти в реальному часі, а також функціонуючою в 3D-режимі [7].

Мета статті: схарактеризувати технологію доповненої реальності та особливості її застосування в освітньому процесі ЗВО.

Виклад основного матеріалу. Аналіз праць науковців засвідчує, що, характеризуючи технологію доповненої реальності, автори здебільшого описують особливості її технічної реалізації. Однак для використання технології доповненої реальності в освітньому процесі необхідно здійснити сутнісний аналіз даного поняття та визначити його специфіку.

Виявлення значущих характеристик технології доповненої реальності дозволить сформулювати її фундаментальне та інваріантне визначення, ґрунтуючись на двох різних підходах: по-перше, доповнена реальність є результатом доповнення, що

залежить від контексту об'єктів віртуального світу у сфері відчуття людини, тобто отриманий результат не може розглядатися в реальному світі, що оточує людину в даний момент часу; по-друге, до уваги слід приймати лише об'єкти віртуального світу, пов'язані з реальними об'єктами, але такими, що трактують «доповнену реальність» поза реальним світом, що оточує людину в даний момент. Тобто акцент робиться на фізичній реалізації через функціональність технічних засобів технології доповненої реальності, котра за своєю суттю є сукупністю апаратного та програмного комп'ютерного забезпечення доповнення реальності. Сама ж «доповнена реальність» розглядається як сукупність контекстно-залежних об'єктів та процесів віртуального світу, що включені у сфери відчуття і сприйняття людини.

Слід зазначити, що технологія доповненої реальності містить елементи «віртуальної реальності». Це дає можливість для перенесення характерних властивостей віртуальної реальності на реальність доповнену. При цьому наявний практичних досвід та застосування основних положень проведених досліджень дозволяє вважати «віртуальну реальність» більш знайомим та вивченим поняттям, що частіше використовується в освітньому процесі. Однак можливим є проведення порівняння цих двох технологій, при якому технологію доповненої реальності можна визначити як технологію «доповнення» реальних об'єктів віртуальними.

Так, незалежно від способів реалізації технології віртуальної реальності виділяють такі основні її характеристики: екзогенність (тобто породжується зовнішньою стосовно неї реальністю); актуальність (відбувається саме в момент спостереження, в цей час та в цьому місці); автономність (має власні закони буття, часу та простору); інтерактивність (має можливість взаємодіяти з іншою реальністю, будучи незалежною від неї).

Слід зазначити, що визначені характеристики віртуальної реальності можливо екстраполювати на технологію доповненої реальності, окрім однієї властивості – автономності, оскільки віртуальні об'єкти все одно залежать від об'єктів реального світу, наприклад, від законів фізики, а значить є лише відносно автономними.

Отже, розмаїття трактувань поняття «доповнена реальність» та неоднозначність його локалізації в різних мовах, зумовлює актуальність та доцільність вивчення способів

його визначення, а також необхідність розширення сфери практичного застосування цієї технології.

Вивчаючи особливості застосування технології доповненої реальності в освітньому процесі, учені наводять додатково визначення понять «технологія доповненої реальності» та «засоби доповненої реальності».

Технологію доповненої реальності визначають як сукупність способів та засобів, що дозволяють створити для людини видимий простір, в якому контекстно-залежні віртуальні об'єкти доповнюють реальний простір, що оточує людину в цей момент часу, та змінюються при зміні реального середовища або режиму спостереження, за рахунок чого сприймаються як елементи реального простору.

Віртуальними об'єктами в межах технології доповненої реальності можуть бути створені та візуалізовані за допомогою комп'ютерної техніки текстові, аудіо- та відеофрагменти, графічні та фотографічні зображення, моделі реальних або вигаданих об'єктів та процесів.

Отже, сучасні засоби доповненої реальності є сукупністю апаратного та програмного комп'ютерного забезпечення доповнення контекстно-залежними віртуальними об'єктами, що оточують людину, реальний світ в конкретному просторі та часі, що змінюється при зміні реального середовища або ракурсу спостереження.

Для більш чіткого розуміння можливостей та особливостей застосування технології доповненої реальності, особливо як засіб навчання в освітньому процесі закладів вищої освіти, необхідно розглянути розмаїття трактувань цієї технології та розглянути історію її виникнення, а також і інші сфери застосування.

Уперше технологію доповненої реальності почали застосовувати у військовій сфері для вирішення бойових завдань на гелікоптерах та літаках, виводячи необхідну для пілота інформацію на лобове скло або скло шолома. Така індикація забезпечувала отримання пілотом необхідної інформації безпосередньо на фоні спостережуваної обстановки, не відводячи при цьому погляд на панель приладів; дозволяла пілоту під час маневреного повітряного бою зекономити час та надавало можливість контекстного виділення цілі для ураження поворотом голови або рухом очей. Також існують технології доповненої реальності, що допомагають фахівцям при типовому ремонті літака

складними технічними засобами, такими як автомобілі або машини. У цьому випадку використання технології доповненої реальності передбачає тимчасову демонстрацію працівникові потрібної інтерактивної інструкції, котра відображається безпосередньо на об'єкті ремонту. Наприклад, необхідна потрібна деталь автомобіля або літака виділяється кольором, при цьому відбувається демонстрація правильних прийомів її демонтажу.

Прив'язка до реального світу засобів доповненої реальності відбувається шляхом використання спеціальних технологій розпізнавання образів та позиціонування в просторі. На жаль, сьогодні недоліки технології доповненої реальності обумовлені нерозвиненістю технологій позиціонування в просторі. Такі технології наразі є недостатньо стабільними та точними, унеможливають роботу всередині побудованих систем без застосування спеціального обладнання.

Крім того, існують проблеми і з використовуваними технологіями розпізнавання образів, оскільки замінені маркери не розпізнаються комп'ютерними засобами при вираженні геометричного характеру: застосування маркерів передбачає наявність пласкої поверхні, а також на правильність розпізнавання маркерів впливає те, під яким кутом пристрій для розрахунку сканує маркери.

Визначені специфічні особливості застосування та розвитку технології доповненої реальності доцільно також урахувати при створенні методичної системи професійної підготовки майбутніх фахівців засобами доповненої реальності. При цьому слід враховувати, що подібна технологія є новим способом доступу до інформації.

Сучасний вплив технології доповненої реальності на розвиток суспільства можна порівняти з ефектом при прояві та масовому застосуванні сервісів та ресурсів мережі Інтернет.

Значущими властивостями глобальних комп'ютерних мереж є можливість контекстно-залежного надання інформації, тобто в залежності від оточуючих умов людини. Наявність значної кількості різноманітних даних у відкритому доступі робить значущим та актуальним не факт можливості доступу до таких даних, а надання даних, необхідних у цей момент конкретній людині із залученням до об'єкта оперування, розміщення, часу тощо. У зв'язку з цим затребуваність технології доповненої

реальності, уміння її застосовувати в повсякденному житті та професійній діяльності зростатиме з кожним днем.

Наразі існує декілька аспектів при застосуванні технологій доповненої реальності, зокрема для створення засобів доповненої реальності необхідним є «контент», тобто віртуальна частина (3D-модель тощо), та комп'ютерний пристрій, на який буде «накладено» кінцеве зображення. Вид такої віртуальної частини залежить від завдання, яке необхідно вирішити. Крім цього, важливо, яким чином віртуальна частина буде «прив'язана» до реального середовища. Для цього необхідні різноманітні пристрої вводу, що обираються відповідно завдань, які необхідно вирішити.

Позиціонування об'єктів та процесів при реалізації технологій доповненої реальності може здійснюватися через такі підходи: об'єктно-залежний, у межах якого позиціонування спирається на фізичні об'єкти або їх зображення; локаційно-залежний, при якому позиціонування здійснюється на основі точних просторових координат (інформація про просторове розташування засобів доповненої реальності робить неможливим використання зображення для визначення виду віртуального об'єкта та його положення).

Відповідно можна зазначити, що для застосування технології доповненої реальності в освітньому процесі закладів вищої освіти одним із найбільш значущих її параметрів є стійкість до перешкод (наприклад, системи позиціонування, засновані на супутникових технологіях, неефективні в приміщеннях), точність та простота. Такі властивості характерні для технологій, заснованих на розпізнаванні образів. При цьому найбільш простою та досить розповсюдженою є маркерна технологія, що використовується при викладанні освітніх дисциплін шляхом застосування спеціальних контрастних зображень, розпізнавання програмним забезпеченням доповненої реальності. Ці зображення називаються маркерами.

Наразі існує досить велика кількість видів маркерів, але частіше за все як маркер використовується чорно-біле зображення, що складається з чорного квадрату з товстими рамками та іншого зображення всередині.

Розробка моделі доповненої реальності, заснованої на використанні маркерів, може бути реалізована за допомогою алгоритму, що передбачає перетворення кольорового зображення на зображення, виконане в режимі

«градації сірого», його подальше перетворення в двокольорове (чорно-біле) зображення (бінаризація) з урахуванням заданого порогу перетворення в чорне, визначення або виділення на зображенні замкнутих областей та контурів, знаходженні кутів зображення маркеру, прив'язка системи координат до положення маркеру в просторі (перетворення координат).

Для реалізації маркерної технології доповненої реальності достатньо комп'ютера, відеокамери, спеціального програмного забезпечення та маркерів, які роздруковуються на папері за допомогою звичайного принтера.

Подальший розвиток об'єктно-залежного підходу до позиціонування об'єктів при реалізації технології доповненої реальності є використання безмаркерної технології, при якій як опорний образ може використовуватися практично будь-яке зображення або образ (реальний об'єкт).

Взаємодія комп'ютерної техніки із зображенням об'єктів, явищ та процесів реального світу є розбіжним визначенням доповненої реальності, що відокремлює цю технологію від технології віртуальної реальності. Доповнена реальність володіє значним потенціалом для формування більш ергономічних відносин людини з інформацією. Завдяки таким технологіям дані надаються користувачам автоматично в залежності від контексту різних ситуацій. Це має відношення і до отримання освіти, і до професійної діяльності, і до повсякденного життя. Тобто технологія доповненої реальності може підняти взаємодію людини з інформацією на принципово новий рівень.

При включенні доповненої реальності як об'єкта вивчення та засобів навчання в освітньому процесі закладів вищої освіти необхідно враховувати основні компоненти, без яких неможливо оперувати засобами досліджуваної технології.

Апаратні засоби доповненої реальності – це комп'ютерні апаратні засоби та системи, що забезпечують технічні та технологічні можливості для створення та функціонування системи доповненої реальності. Прикладами таких комп'ютерних засобів є процесори, пристрої виведення інформації різних типів, різноманітні пристрої введення і датчики, такі як датчики для визначення швидкості і прискорення, позиціонування в просторі, гіроскопи, підсистеми обміну інформацією по радіозв'язку на незначній відстані, звичайні або спеціалізовані комп'ютерні відеокамери та інше обладнання.

Особливим прикладом апаратних засобів доповненої реальності є спеціальні окуляри з відеокамерами для захоплення зображення та датчиками для позиціонування об'єктів у просторі. Результат функціонування засобів доповненої реальності в цьому випадку виводиться на прозорі екрани – скло окулярів.

Браузер доповненої реальності – це спеціальне програмне забезпечення, що в режимі реального часу об'єднує різні інформаційні шари, які формуються завдяки отриманню інформації з телекомунікаційних мереж та взаємодії з датчиками.

Система розпізнавання – це система апаратних і програмних засобів, які на основі зведених орієнтацій у просторі та часі, формах, фактурах та інших значущих характеристиках дозволяють проводити ідентифікацію людей та об'єктів в умовах реального середовища. Існують описані раніше локаційно-залежні та об'єктно-залежні підходи до розпізнавання, серед яких об'єктно-залежний підхід, що може диференціюватись на два різних прийоми, пов'язані із застосуванням або не застосуванням штучних зображень-маркерів.

Система доповненої реальності – це програмно-апаратний комплекс, здатний працювати з технологією доповненої реальності, що містить систему розпізнавання, систему виведення інформації, обчислювальний комплекс та контент доповненої реальності.

Контент доповненої реальності – змістове наповнення технології, що відображається шляхом застосування програмних засобів доповненої реальності. При цьому розрізняються два основних підходи. Перший полягає в тому, що передбачається особливий індивідуальний обмін відомостями між деяким штучним об'єктом, що містить контент, та комп'ютерною програмою. У якості таких можуть виступати розповсюджені технології, виконані за штрих-кодами, QR-кодами або RFID-мітками. При цьому RFID-мітки є більш дорогим аналогом штрих-кодів, але для цих методів не потрібен візуальний контакт для взаємодії. Такі мітки не містять більше інформації і можуть перемішатися на більшій стоянці без порушення працездатності системи доповненої реальності.

Другий підхід полягає в тому, що використовуються джерела інформації, що перебувають у відкритому доступі. У цьому випадку програмні засоби доповненої реальності звертаються до спеціально

створених так званих контентних агрегаторів або брокерів для оперативного розміщення та отримання оформленого за особливими правилами вмісту для кожного об'єкта, за яким відбувається запит інформації. У межах цього підходу можна говорити про використання технологій всередині доповненої реальності «хмарних» технологій.

Правильне представлення даних про технологію доповненої реальності вимагає систематизації інформаційних технологій, в основі якої можуть перебувати технічні та користувацькі характеристики технології доповненої реальності [8; 9].

Критерієм для класифікації може бути тип взаємодії системи доповненої реальності з користувачем. У цьому випадку виділяють автономні та інтерактивні системи.

Автономні системи доповненої реальності не передбачають взаємодії з користувачами та призначені лише для демонстрації даних об'єкта. Такі системи надають можливість аналізу об'єктів, що перебувають у полі зору відеокамери (поле зору людини), і виводять інформацію довідкового характеру про такі об'єкти. Наприклад, якщо людина розглядає в музеї картину, то за допомогою автономної системи доповненої реальності вона може отримати відомості про автора картини, історії, що лежать в основі її сюжету, долю картини тощо.

Інтерактивні системи доповненої реальності передбачають взаємодію з людиною, що має можливість вибору і налаштування типу додаткового (накладеного) шару даних і отримання різних даних стосовно об'єкта, що розглядається. Подібні системи вимагають обов'язкової наявності засобів для введення даних. У роликах такі засоби можуть використовувати тактильні екрани мобільних комп'ютерних пристроїв або засоби для розпізнавання людського мовлення тощо.

Іншим критерієм для класифікації можна вважати ступінь мобільності системи доповненої реальності, коли вирізняють такі: стаціонарні, що передбачають взаємодію з користувачем в одному місці, без будь-яких переміщень; та мобільні, які розуміють рух у просторі та функціонування в динамічному режимі в умовах взаємодії з різними об'єктами з реального середовища.

Відповідно до функціонального призначення системи доповненої реальності класифікуються на такі групи:

- системи візуального пошуку, що реалізують підказки навігаційного характеру у відповідь на запит людини. У цьому випадку

йдеться про традиційні розширені навігатори, котрі показують шлях у певній місцевості. При взаємодії з системами доповненої реальності реалізується більш широкий підхід до формулювання запитів, наприклад, зумовлений пошуком певних послуг або товарів, об'єктів або людей із визначеними параметрами;

- системи, засновані на розпізнаванні, що генерують контекстно-залежні дані про об'єкти або людей, що перебувають у полі зору користувача. За допомогою системи такого типу людина, яка бере участь у переговорах, може оперативно й індивідуально отримати необхідні відомості про своїх партнерів. Стосовно кожної людини, яка бере участь у перемовинах, така система може виводити візуальну інформацію про його посаду, біографію, вік, потреби та інші важливі характеристики. Такі відомості можуть бути отримані з відкритих джерел телекомунікаційних мереж;

- системи «Augmented Reality 2.0», що збільшують інформаційні можливості людини. Системи цього типу дають можливість демонстрації покрокових інструкцій для вирішення певних побутових або професійних завдань;

- системи, що працюють на основі принципу «лінза/екран-дзеркало». Функціонування таких засобів доповненої реальності ґрунтується на розміщенні об'єктів віртуального світу на зображеннях реальних об'єктів для підвищення правильності представлення параметрів об'єктів, характерних для їх розташування в просторі;

- системи контекстної візуалізації. Системи доповненої реальності цього типу в більшій мірі підходять для впровадження в промисловість при вирішенні інженерних і конструкторських завдань. Прикладом такої реалізації є система для демонстрації особливостей роботи промислового обладнання, де за допомогою контекстної візуалізації можна побачити його роботу в заданих умовах виробництва тощо.

Висновок. Аналіз сучасних публікацій, прикладів, визначень та підходів до класифікації технології доповненої реальності, галузей її створення та застосування свідчить, що ця технологія здатна суттєво впливати на ефективність професійної та повсякденної діяльності людини.

Оволодіння технологією доповненої реальності та прийомами її використання в різних сферах людської діяльності є реаліями технічного розвитку сучасного суспільства. Доцільність використання цієї технології в

педагогічному процесі закладів освіти різного рівня не викликає заперечень. Таке навчання може охоплювати різні дисципліни, але ключову інтегруючу роль має відігравати курс інформатики, оскільки технологія доповненої реальності є передусім інформаційною технологією.

Отже, застосування технології доповненої реальності як засобу навчання в закладі вищої освіти сприяє підвищенню наочності та інформативності освітнього

процесу при вивченні різноманітних дисциплін. Однак підвищення ефективності освітнього процесу передбачає більш детальне обговорення доцільності та шляхів використання технології доповненої реальності на основі наявних літературних джерел та проведених досліджень, що дасть змогу визначити можливості використання цієї технології як об'єкта вивчення і засобу навчання.

Список використаних джерел:

1. Caudell T. P. Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes / T. P. Caudell, D. A. Mizell // *System Sciences: Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on. Presence: Teleoperators and Virtual Environments.* – 1992. – Vol. 2. – Pp. 659–669.
2. Dong Suyang. Collaborative visualization of engineering processes using tabletop augmented reality / Dong Suyang and Behzadan, Amir H. and Chen, Feng and Kamat, Vineet R. // *Advances in Engineering Software.* Elsevier. – 2013. – Vol. 55. – Pp. 45–55.
3. Nee A.Y.C. Augmented reality applications in design and manufacturing / Nee A.Y.C., Ong S. K., Chryssolouris G., Mourtzis D. // *CIRP Annals-Manufacturing Technology.* – 2012. – Vol. 61 (2). – Pp. 657–679.
4. Wang X. A comprehensive survey of augmented reality assembly research / Wang X, Ong S. K., Nee AYC // *Advances in Manufacturing.* – 2016. – Vol. 4 (1). – Pp. 1–22.
5. Yuan M. L. Registration Using Projective Reconstruction for Augmented Reality Systems / M. L. Yuan, S. K. Ong, A.Y.C. Nee // *IMST.* – 2004. – Access mode : <http://hdl.handle.net/1721.1/3919> (Last accessed 01 May 2023)
6. Sairio M. Augmented Reality / M. Sairio. – Access mode : www.tml.tkk.fi/Studies/.../mikko_sairio.pdf (Last accessed 01 May 2023)
7. Azuma R. A. Survey of Augmented Reality Presence / R. A. Azuma // *Teleoperators and Virtual Environments.* – 1997. – № 195. – Pp. 355–385.
8. Augmented Reality In Education? Here Are 20 Examples [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.teachthought.com/technology/augmented-reality-in-education-hereare-20-examples> (Last accessed 01 May 2023)
9. Radkowski R. Investigation of Visual Features for Augmented Reality Assembly Assistance /

R. Radkowski // *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality.* – 2015. – Pp. 488–498.

References

1. Caudell, TP & Mizell, D 1992, 'Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes' *System Sciences: Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on. Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 2, Pp. 659–669.
2. Dong, Suyang and Behzadan, Amir, H and Chen, Feng and Kamat & Vineet, R 2013, 'Collaborative visualization of engineering processes using tabletop augmented reality' *Advances in Engineering Software*, Vol. 55, Pp. 45–55.
3. Nee, AYC, Ong, SK, Chryssolouris, G & Mourtzis, D 2012, 'Augmented reality applications in design and manufacturing' *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 61 (2), Pp. 657–679.
4. Wang, X, Ong, SK & Nee, AYC 2016, 'A comprehensive survey of augmented reality assembly research' *Advances in Manufacturing*, Vol. 4 (1), Pp. 1–22.
5. Yuan, ML, Ong, SK & Nee, AYC 2004, *Registration Using Projective Reconstruction for Augmented Reality Systems*, viewed 01 May 2023 <<http://hdl.handle.net/1721.1/3919>>
6. Sairio, M *n.d.*, *Augmented Reality*, viewed 01 May 2023 <www.tml.tkk.fi/Studies/.../mikko_sairio.pdf>
7. Azuma, RA 1997, 'Survey of Augmented Reality Presence' *Teleoperators and Virtual Environments*, no 195, Pp. 355–385.
8. Augmented Reality In Education? Here Are 20 Examples, viewed 01 May 2023 <<http://www.teachthought.com/technology/augmented-reality-in-education-hereare-20-examples>>
9. Radkowski, R 2015, 'Investigation of Visual Features for Augmented Reality Assembly Assistance' *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*, Pp. 488–498.

Стаття надійшла до редакції 06.05.2023р.