

[https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-10\(17\)-115-126](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-10(17)-115-126)

Галина Ткачук

*доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інформатики і інформаційно-комунікаційних технологій, м. Умань, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-6926-1589>*

Володимир Стеценко

*кандидат педагогічних наук, професор, доцент кафедри інформатики і інформаційно-комунікаційних технологій, м. Умань, Україна,
<https://orcid.org/0000-0003-2232-2089>*

ТЕХНОЛОГІЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ: ПОНЯТТЯ, ОСОБЛИВІСТЬ, КЛАСИФІКАЦІЯ

Анотація. Технологія доповненої реальності ще не набула широкого поширення в освіті, проте в певних сферах людської діяльності успішно застосовується і розвивається. Незважаючи на велику кількість досліджень в галузі доповненої реальності, проте науковці розглядають технологію доповненої реальності фрагментарно, на прикладі конкретних дисциплін чи практик. Вважаємо, що дана проблема потребує дослідження, а саме: варто уточнити понятійний апарат, визначити особливості застосування технології доповненої реальності та класифікувати існуючі технології за певними критеріями.

В даній роботі нами уточнено поняття «доповненої реальності», проаналізовано особливості застосування даної технології та апаратно-програмні засоби її реалізації, представлено класифікацію існуючих технологій доповненої реальності.

Технологія доповненої реальності - це система, що поєднує віртуальні об'єкти та реальність, взаємодіє в реальному часі та працює в 3D. Доповнена реальність не створює повністю віртуальне середовище, а поєднує віртуальні елементи з реальним світом: до реального оточення користувача додаються віртуальні об'єкти, що змінюються унаслідок його дій. Для створення засобів доповненої реальності насамперед необхідний так званий «контент» – віртуальний об'єкт (наприклад, 3D-модель), який буде з'являтися при наведенні пристрою на певний маркер. При використанні технології доповненої реальності можна використовувати апаратні засоби доповненої



реальності, браузері доповненої реальності, системи розпізнавання та системи доповненої реальності.

Нами проведено класифікацію технологій доповненої реальності та визначено такі критерії, за якими їх можна розрізнити: тип взаємодії системи доповненої реальності з користувачем (автономні та інтерактивні системи), ступінь мобільності (стаціонарні та мобільні системи), за функціональним призначенням (системи візуального пошуку, системи розпізнавання, системи «Людина 2.0», що збільшують інформаційні можливості людини, системи, що працюють на основі принципу «лінза/екран-дзеркало», системи контекстної візуалізації).

Ключові слова: доповнена реальність, інформаційна система, віртуальна реальність, віртуальний об'єкт.

Halyna Tkachuk

*Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Informatics and Information and Communication Technologies, Uman, Ukraine,
<https://orcid.org/0000-0002-6926-1589>*

Volodymyr Stetsenko

*Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Docent of the Department of Informatics and Information and Communication Technologies, Uman, Ukraine,
<https://orcid.org/0000-0003-2232-2089>*

TECHNOLOGY OF AUGMENTED REALITY: CONCEPT, FEATURE, CLASSIFICATION

Abstract. Augmented reality technology has not yet become widespread in education, but it is successfully used and developed in certain areas of human activity. Despite a large number of studies in the field of augmented reality, however, scientists consider the technology of augmented reality fragmentarily, using the example of specific disciplines or practices. We believe that this problem requires research, namely: it is worth clarifying the conceptual apparatus, defining the features of the application of augmented reality technology, and classifying existing technologies according to certain criteria.

In this paper, we clarified the concept of "augmented reality", analyzed the features of the application of this technology and the hardware and software tools for its implementation, and presented the classification of existing augmented reality technologies.

Augmented reality technology is a system that combines virtual objects and reality, interacts in real-time, and works in 3D. Augmented reality does not create a completely virtual environment, but combines virtual elements with the real world: virtual objects are added to the user's real environment that changes as a result of his actions. To create augmented reality tools, first of all, so-called "content" is needed - a virtual object (for example, a 3D model) that will appear when the device is pointed at a certain marker. When using augmented reality technology, you may use augmented reality hardware, augmented reality browsers, recognition systems, and augmented reality systems.

We have classified augmented reality technologies and defined the following criteria by which they can be distinguished: the type of interaction of the augmented reality system with the user (autonomous and interactive systems), the degree of mobility (stationary and mobile systems), by functional purpose (visual search systems, recognition systems, "Human 2.0" systems that increase human information capabilities, systems working based on the "lens/screen-mirror" principle, contextual visualization systems).

Keywords: augmented reality, information system, virtual reality, virtual object.

Постановка проблеми. Технологія доповненої реальності ще не набула широкого поширення в освіті, проте в певних сферах людської діяльності успішно застосовується і розвивається. Прообразом технології доповненої дійсності прийнято вважати технологію віртуальної реальності. Віртуальна реальність та її похідні, до яких можна відносити і доповнену реальність, мають суттєвий потенціал для розвитку суспільних відносин та сфери освіти.

Обидві ці технології та відповідні їм засоби мають багато спільного. Обидві технології формують певне інтерактивне інформаційне поле. При цьому перша технологія максимально віддаляє людину від реальних об'єктів і процесів, а друга, навпаки, ґрунтується на взаємодії з ними. Віртуальна реальність (Virtual Reality) відрізняється від доповненої реальності (Augmented Reality) за рахунок різниці у співвідношенні об'єктів, що формуються за допомогою пристроїв, та взаємодії з навколишнім середовищем. Віртуальна реальність є контекстно незалежною (щодо незалежної від реальних об'єктів, процесів та явищ), її сфера застосування є вужчою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині наукові дослідження спрямовані на дослідження різних аспектів використання технологій доповненої реальності. Науковці Ф. Кішіно, Т.П. Коделл, Д.В. Майзел, П. Мілґрем, А.Е. Сазерленд та інші досліджували проблеми таксономії, розробки та використання засобів доповненої реальності, програмно-апаратні комплекси її реалізації та інше. Роботи вітчизняних авторів та педагогів



Є.Модло, Ю.Єчкало, С.Семерікова, В.Ткачук, А.Тарадуди, І.Стеблівця, О.Чубукова, І.Пономаренко вказують на позитивний ефект використання даної технології у навчанні та перспективність застосування даної технології в сфері освіти.

Дані дослідження є надзвичайно актуальними, проте науковці розглядають технологію доповненої реальності фрагментарно, на прикладі конкретних дисциплін чи практик. Вважаємо, що дана проблема потребує дослідження, а саме: варто уточнити понятійний апарат, визначити особливості застосування технології доповненої реальності та класифікувати існуючі технології за певними критеріями.

Мета статті - уточнити поняття «доповненої реальності»; проаналізувати особливості застосування даної технології та апаратно-програмні засоби її реалізації; здійснити класифікацію існуючих технологій доповненої реальності.

Виклад основного матеріалу. Для ґрунтовного дослідження проблеми варто чітко визначити поняття «доповнена реальність». Однак зазначимо, що нині даний термін не має єдиного, універсального, вичерпного чи загальноприйнятого визначення. Зокрема, для позначення цієї технології часто використовують термін «розширена реальність».

Термін «доповнена реальність», запропонований Т. П. Коделом, у 1992 р. використовувався для позначення комп'ютера та його монітора, прикріпленого до голови людини, який працює під управлінням спеціалізованого програмного забезпечення. Оскільки Т.П.Кодел був співробітником компанії Boeing, то подібний засіб давав можливість здійснювати монтаж електричного оснащення у літаках.

У словосполученні «Augmented Reality» слово «Augmented» має декілька значень: розширений, збільшений, доповнений. Так само і слово Reality можна перекласти як дійсність, реальність, справжність, істинність та інші. Оскільки дослівний переклад українською мовою цього словосполучення на дає змогу передати точне значення терміну, то досі залишається актуальною проблема коректності трактування поняття «доповнена реальність».

Для дослідження специфіки пристроїв та функціонування відповідних засобів будемо використовувати одне з існуючих визначень доповненої реальності: «система, що поєднує віртуальні об'єкти та реальність, взаємодіє в реальному часі та працює в 3D. Доповнена реальність не створює повністю віртуальне середовище, а поєднує віртуальні елементи з реальним світом: до реального оточення користувача додаються віртуальні об'єкти, що змінюються унаслідок його дій» [11, 13].

Будь-яка стандартна система доповненої реальності функціонує наступним чином: обчислювальний пристрій за допомогою відеокамери аналізує навколишній простір, система шукає об'єкти реального світу, які мають спеціальні маркери, які також має система. Для простоти технічної реалізації об'єкти найчастіше спеціально виділяють контрастним та яскравим малюнком з чіткими обрисами, який виконує роль маркера. Після того, як система розпізнала фізичний об'єкт, на екран обчислювального пристрою виводиться віртуальний об'єкт (статична картинка, відео або 3D-модель), який накладається на об'єкт реального світу. Система «прив'язує» віртуальний об'єкт до реального об'єкта та за фізичної взаємодії з реальним об'єктом (наприклад, при його обертанні чи переміщенні), користувач взаємодіє відразу ж і з віртуальним об'єктом (він також може обертатись чи переміщуватись). При цьому у користувача, який дивиться на екран пристрою, виникає відчуття, що віртуальний об'єкт існує в реальному світі.

Рис.1. Поєднання реального і віртуального об'єкту

Технологія доповненої реальності як сукупність способів і засобів, що дають змогу створювати видимий тривимірний простір, в якому віртуальні об'єкти доповнюють реальний простір та змінюються при зміні реального оточення або ракурсу спостереження.

Віртуальними об'єктами в рамках технології доповненої реальності можуть бути створені та візуалізовані за допомогою комп'ютерної техніки текстові, аудіо- та відеофрагменти, графічні та фотографічні зображення, моделі реальних чи вигаданих об'єктів, у тому числі процесів, анімаційні об'єкти тощо.

Поряд із беззаперечним позитивним аспектом використання технологій доповненої реальності варто відмітити і певні труднощі. Один із недоліків вказує на недосконалість технології позиціонування об'єктів у просторі. Такі



технології мають недостатню стабільність і точність, не надають можливості роботи всередині будівель без застосування спеціального обладнання. Крім того, мають місце проблеми з технологіями розпізнавання образів. Маркери, які працюють як розпізнавальні образи в технології доповненої реальності не розпізнаються пристроями при спотворенні геометричного характеру: застосування маркерів потребує наявності плоскої поверхні та правильного кута розпізнавання.

Для створення засобів доповненої реальності насамперед необхідний так званий «контент» – віртуальний об'єкт (наприклад, 3D-модель), який буде з'являтися при наведенні пристрою на певний маркер. Маркер є частиною технології доповненої реальності, він є інтерфейсом між віртуальним та реальним оточенням.

Є досить велика кількість видів маркерів, але, як правило, як маркер використовується зображення. Для реалізації маркерної технології доповненої реальності достатньо комп'ютера, відеокамери, спеціалізованого програмного забезпечення та маркерів, які друкуються на папері за допомогою звичайного принтера.

При використанні технології доповненої реальності можна використовувати апаратні засоби доповненої реальності, браузер доповненої реальності, системи розпізнавання та системи доповненої реальності. Розглянемо кожен компонент окремо.

Апаратні засоби доповненої реальності – апаратні засоби та системи, що забезпечують технічні та технологічні можливості для створення та функціонування систем доповненої реальності. Прикладами таких засобів є процесори, пристрої виведення інформації різних типів (у тому числі специфічні, такі як окуляри доповненої реальності), різноманітні пристрої введення та датчики, такі як датчики для визначення швидкості та прискорення, позиціонування у просторі, гіроскопи, підсистеми обміну інформацією засобами радіозв'язку на незначній відстані, звичайні або спеціалізовані 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 у цьому випадку виводиться на прозорі екрани – скло окулярів.

Браузер доповненої реальності – спеціальне програмне забезпечення, що в режимі реального часу поєднує різні інформаційні шари, що формуються завдяки отриманню інформації з мережі та взаємодії з датчиками. Прикладом такого браузера може бути Vliprag – один з найбільш розповсюджених браузерів доповненої реальності. В основі роботи програми покладено підсистему розпізнавання образів, за допомогою якої в оточуючому світі відшукуються «маркери» – об'єкти реального світу або зображення. Після

розпізнавання «маркеру» програма додає до реального зображення віртуальні об'єкти, що можуть бути зображеннями, тривимірними моделями, анімацією, інтерактивними динамічними сценами, посиланнями тощо [15, 12].

Система розпізнавання – система апаратних і програмних засобів, яка з урахуванням відомостей про орієнтацію у просторі та часі, формах, фактурі та інших значущих характеристиках дає змогу проводити ідентифікацію об'єктів в реальному середовищі.

Система доповненої реальності – програмно-апаратний комплекс, здатний працювати із технологією доповненої реальності. Включає систему розпізнавання, систему виведення інформації, обчислювальний комплекс і контент доповненої реальності. Контент доповненої реальності – це змістове наповнення, що відображається за допомогою програмних засобів доповненої реальності. У цьому випадку використовують два підходи.

Перший підхід передбачає особливий індивідуальний обмін даними між деяким штучним об'єктом, що містить контент, і програмним забезпеченням. Прикладом можуть слугувати поширені сьогодні об'єкти, виконані за допомогою технології штрих-кодів, QR-кодів або RFID-міток (рис.2). При цьому RFID-мітки є більш дорогим аналогом штрих-кодів, але для цих міток не потрібний візуальний контакт для взаємодії. Такі мітки несуть більше інформації і можуть переміщатися на великі відстані без порушення працездатності систем доповненої реальності.



Рис. 2. Приклади об'єктів для надання змісту (контенту) у системах доповненої реальності

Другий підхід полягає у тому, що використовуються джерела інформації, які є у відкритому доступі в мережі. У цьому випадку програмні засоби доповненої реальності звертаються до спеціально створених так званих змістових (контентних) агрегаторів або брокерів для знаходження та отримання змісту (оформленого за особливими правилами) для кожного об'єкта, за яким відбувається запит інформації. Насправді в межах цього підходу можна говорити про інтеграцію хмарних технологій [14].

Технології та системи доповненої реальності дають змогу провести їх класифікацію (рис.3). Критерієм для класифікації може бути тип взаємодії



системи доповненої реальності з користувачем. У цьому випадку виділяють автономні та інтерактивні системи.

Рис.3. Класифікація технологій доповненої реальності

Автономні системи доповненої реальності не передбачають взаємодії з користувачами та призначені лише для демонстрації даних про об'єкт. Такі системи мають можливість аналізу об'єктів, що знаходяться в полі зору відеокамери (поле зору людини), і виводити інформацію довідкового характеру про такі об'єкти. Так, наприклад, якщо людина розглядає в музеї картину, то за допомогою автономної системи доповненої реальності вона може отримати відомості про автора картини, історію, покладену в основу її сюжету, долю картини та інші відомості.

Інтерактивні системи доповненої реальності передбачають взаємодію з користувачем, який має можливість вибору та налаштування типу додаткового (накладеного) шару даних та отримання різних відомостей про об'єкт. Зрозуміло, що такі системи вимагають наявності засобів для введення даних. Це можуть бути тактильні екрани мобільних пристроїв або засоби розпізнавання людської мови.

Ще один критерій для класифікації може бути ступінь мобільності системи доповненої реальності, відповідно можуть бути стаціонарні та мобільні системи.

Стаціонарні системи доповненої реальності передбачають взаємодію користувача в одному місці, без будь-яких переміщень. Прикладом стаціонарної системи є установка доповненої реальності, що знаходиться у Державному Дарвінівському музеї. Стаціонарна відеокамера спрямована на один із виставкових залів музею, а монітор відображає відео з камери, на яку накладаються інтерактивні моделі тварин. У цьому випадку віртуальна

тварина, що пересувається залом на комп'ютерному екрані, є результатом застосування технології доповненої реальності.

Мобільні системи доповненої реальності передбачають рух у просторі та функціонування в динамічному режимі в умовах взаємодії з різними об'єктами з реального оточення. Типовим прикладом мобільної технології доповненої реальності є маркерна технологія, що застосовується на мобільних пристроях. Так, наприклад, мобільна система, що допомагає під час ремонту автомобіля, показує, як і яку деталь слід замінити під час ремонту.

За функціональним призначенням системи доповненої реальності можна класифікувати на такі групи:

1. Системи візуального пошуку. Системи цієї групи реалізують підказки навігаційного характеру у відповідь на запит користувача. У цьому випадку мова йде не про традиційні поширені навігатори, що показують шлях на місцевості. При взаємодії із системами доповненої реальності реалізується ширший підхід до формулювання запитів, наприклад, обумовлений пошуком тих чи інших послуг чи товарів чи об'єктів із певними параметрами.

2. Системи розпізнавання. Системи цієї групи генерують контекстно-залежні відомості про об'єкти, що знаходяться в полі зору користувача. За допомогою систем такого типу людина, яка бере участь у переговорах, може отримувати необхідні відомості про своїх колег, партнерів. Для кожної людини, яка бере участь у переговорах, така система може виводити візуальну інформацію про її посаду, біографію, вік, потреби та інші значущі характеристики. Такі відомості можна отримати з відкритих джерел в мережі.

3. Системи «Людина 2.0», що збільшують інформаційні можливості людини. Системи цього типу дають можливість демонстрації покрокових інструкцій для вирішення певних побутових чи професійних завдань. У цьому випадку прикладом є додаткові для користувача можливості вибору алгоритму приготування страви, вибору рецепту, контролю за переліком інгредієнтів, послідовності їх використання та дозування. Іншим прикладом можна вважати візуальну допомогу технікам, які ремонтують автомобілі з підказками необхідних інструментів, місць їх використання, порядку операцій при демонтажі та монтажі агрегатів автомобілів.

4. Системи, що працюють на основі принципу «лінза/екран-дзеркало». Функціонування таких засобів доповненої реальності базується на накладенні об'єктів віртуального світу на зображення реальних об'єктів для підвищення правильності уявлень про параметри об'єктів, характерні для їхнього розташування в просторі. Наприклад, такий підхід може наочно продемонструвати покупцю до здійснення покупки, який вигляд будуть мати меблі, що купуються в Інтернет-магазині, в умовах реальної домашньої обстановки покупця. Завдяки подібним системам і технологіям людина може побачити запропонований йому товар у реальних умовах майбутнього

місцезнаходження та підібрати найкраще розміщення без зайвих фізичних витрат.

5. Системи контекстної візуалізації. Системи доповненої реальності цього типу більшою мірою підходять до застосування у промисловості під час вирішення 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 на виробництві або допомогти отримати уявлення про те, яким чином буде рухатись транспортний засіб у реальному середовищі – на дорозі.

Висновки. Наведені вище факти, аргументи та характеристики свідчать про наявність позитивного потенціалу використання та впровадження технологій доповненої реальності. Аналіз класифікації технологій доповненої реальності, прикладів, визначень та підходів до її реалізації свідчить, що така технологія здатна суттєво вплинути на ефективність професійної та повсякденної діяльності людини. Оволодіння цією технологією та прийомами її використання у різних галузях людської діяльності наближає людину до реалій технічного розвитку сучасного суспільства.

Література:

1. Caudell T. P., Mizell D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*. January 7-10, 1992. Kauai, Hawaii. Volume 2: Software Technology Track (pp. 659-669). / Edited by Jay F. Nunamaker, Jr. and Ralph H. Sprague, Jr. – Los Alamitos: IEEE Computer Society Press [in English].
2. Cieutat J.-M., Hugues O., Ghouaiel N. (2012). Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills. *International Journal of Computer Applications*. 46 (20), 31-36. Retrieved from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00739730/document>.
3. Martin-Gutierrez J., Guinters E., Perez-Lopez D. (2012). Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 51, 832-839. Retrieved from: <http://surl.li/dknwh>.
4. Milgram P., Kishino F. (1994). Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D (12), 1321-1329.
5. Restivo M. T., Chouzal F., Rodrigues J., Menezes P., Patrão B., Lopes J. B. (2014). Augmented Reality in Electrical Fundamentals. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 10 (6), 68-72. Retrieved from: <http://onlinejournals.org/index.php/i-joe/article/download/4030/3323>.
6. Sutherland I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*. (pp. 757-764). Washington: Thompson Books.
7. Інноваційні технології навчання інформатичних дисциплін: колективна монографія / за заг. ред. М. О. Медведєвої, І. М. Тягай ; МОН України, Уманський держ. пед. унт імені Павла Тичини. Умань : Візаві, 2021. 231 с.

8. Литвинова С. Г. Теоретико-методичні основи проектування хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу : дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.10 / Ін-т інформ. технол. і засобів навчання. Київ, 2016. 602 с.

9. Медведєва М. О., Колмакова В. О., Коровнік І. С. Візуалізація навчального матеріалу: аналіз сучасних онлайн-сервісів. *Інноваційна педагогіка*. 2021. Випуск 41. Т.2, С. 128–132.

10. Медведєва М.О., Жмурко О.І., Криворучко І.І., Ковтанюк М.С. Організація продуктивної взаємодії між учасниками освітнього процесу в умовах дистанційного навчання: аналіз сучасних додатків. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи*. 2021. Вип. 80. Т 2. С.39–45.

11. Модло Є.О., Єчкало Ю.В., Семеріков С.О., Ткачук В.В. Використання технології доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі навчання ВНЗ. *Наукові записки*. 2017. № 11 (1). С. 93–100.

12. Рассовицька М.В., Стрюк А.М. Використання засобів доповненої реальності у навчанні майбутніх інженерів-механіків. URL: https://www.academia.edu/download/55849470/Ras_Str.pdf.

13. Ткачук В. В., Єчкало Ю. В., Тарадуда А. С., Стеблївець І. П. Доповнена реальність як засіб реалізації дистанційного навчання в умовах карантину. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/29833>.

14. Хмарні та мобільні технології в освіті: навч.-метод. посіб. / уклад. М. О. Медведєва. Умань : Візаві, 2021. 122 с.

15. Чубукова О.Ю., Пономаренко І.В. Інноваційні технології доповненої реальності для викладання дисциплін у вищих навчальних закладах України. *Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку*. 2018. № 16. С. 20-27.

References:

1. Caudell, T. P. & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*. January 7-10, 1992. Kauai, Hawaii. Volume 2: Software Technology Track (pp. 659-669). / Edited by Jay F. Nunamaker, Jr. and Ralph H. Sprague, Jr. – Los Alamtos: IEEE Computer Society Press [in English].

2. Cieutat, J.-M., Hugues, O. & Ghouaiel, N. (2012). Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills. *International Journal of Computer Applications*. 46 (20), 31-36. Retrieved from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00739730/document>. [in English].

3. Martin-Gutierrez, J., Guinters, E. & Perez-Lopez, D. (2012). Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 51, 832-839. Retrieved from: <http://surl.li/dknwh>. [in English].

4. Milgram, P. & Kishino, F. (1994). Taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D (12), 1321-1329. [in English].

5. Restivo, M. T., Chouzal, F., Rodrigues J., Menezes, P., Patrão, B. & Lopes, J. B. (2014). Augmented Reality in Electrical Fundamentals. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 10 (6), 68-72. Retrieved from: <http://onlinejournals.org/index.php/i-joe/article/download/4030/3323>. [in English].

6. Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*. (pp. 757-764). Washington: Thompson Books. [in English].



7. Medvedieva, M. O. & Tiahai, I. M. (Ed.). (2021). Innovatsiini tekhnolohii navchannia informatychnykh dystsyplin [Innovative technologies for teaching computer science disciplines]. Uman: Vizavi, 2021. 231 p. [in Ukrainian].

8. Lytvynova, S. H. (2016) Teoretyko-metodychni osnovy proektuvannia khmaro oriientovanoho navchalnoho seredovyscha zahalnoosvitnoho navchalnoho zakladu [Theoretical and methodological foundations of designing a cloud-oriented educational environment of a general educational institution]. Doctor's thesis. Kyiv [in Ukrainian].

9. Medvedieva, M. O., Kolmakova, V. O. & Korovnik I. S. (2021). Vizualizatsiia navchalnoho materialu: analiz suchasnykh onlain-servisiv [Visualization of educational material: analysis of modern online services]. *Innovatsiina pedahohika – Innovative pedagogy*, 41(2), 128–132. [in Ukrainian].

10. Medvedieva, M. O., Zhmurko, O. I., Kryvoruchko, I. I. & Kovtaniuk, M. S. (2021) Orhanizatsiia produktyvnoi vzaiemodii mizh uchasykamy osvitnoho protsesu v umovakh dystantsiinoho navchannia: analiz suchasnykh dodatkov [Organization of productive interaction between participants of the educational process in the conditions of distance learning: analysis of modern applications]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Serii 5. Pedahohichni nauky: realii ta perspektyvy – Scientific journal of M.P. Dragomanov National Pedagogical University. Series 5 Pedagogical Sciences: Realities and Perspectives*, 80 (2), 39–45 [in Ukrainian].

11. Modlo, Ye.O., Yechkalo, Yu.V., Semerikov, S.O. & Tkachuk, V.V. (2017). Vykorystannia tekhnolohii dopovnenoi realnosti u mobilno oriientovanomu seredovysshchi navchannia VNZ [The use of augmented reality technology in a mobile-oriented learning environment of higher education institutions]. *Naukovi zapysky – Scientific Notes*, 11 (1), 93–100. [in Ukrainian].

12. Rasso vytska, M.V. & Striuk, A.M. Vykorystannia zasobiv dopovnenoi realnosti u navchanni maibutnykh inzheneriv-mekhanikiv [The use of augmented reality tools in the training of future mechanical engineers]. Retrieved from: https://www.academia.edu/download/55849470/Ras_Str.pdf. [in Ukrainian].

13. Tkachuk, V. V., Yechkalo, Yu. V., Taraduda, A. S. & Steblivets, I. P. Dopovnena realnist yak zasib realizatsii dystantsiinoho navchannia v umovakh karantynu [Augmented reality as a means of distance learning in quarantine conditions]. Retrieved from: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/29833> [in Ukrainian].

14. Medvedieva, M. O. (Ed.). (2021). Khmarni ta mobilni tekhnolohii v osviti [Cloud and mobile technologies in education]. Uman: Vizavi, 122 p. [in Ukrainian].

15. Chubukova, O.Iu. & Ponomarenko, I.V. (2018). Innovatsiini tekhnolohii dopovnenoi realnosti dlia vykladannia dystsyplin u vshchychkh navchalnykh zakladakh Ukrainy [Innovative technologies of augmented reality for teaching subjects in higher educational institutions of Ukraine]. *Problemy innovatsiino-investytsiinoho rozvytku – Problems of innovation and investment development*, 16. 20-27. [in Ukrainian].