

УДК 7.05:004.5:372.8

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ВИВЧЕННІ ГЕОМЕТРІЇ**

Фоміна К.О., аспірант\*

*Харківська державна академія дизайну і мистецтв (Україна)*

*Метою вивчення геометрії є, зокрема, розвиток просторових здібностей. Проте, початківцям інколи складно в процесі навчання сприймати двовимірні зображення, що представляють тривимірний простір. Доповнена реальність – технологія, яка продемонструвала свою ефективність у навчанні та може бути використана для створення дидактичних матеріалів. Її особливість полягає в розміщенні віртуального об'єкта в реальному середовищі в реальному часі та з урахуванням розташування у просторі. Доповнюючи реальне середовище віртуальною інформацією, вона допомагає користувачеві вирішувати завдання реального світу. Незважаючи на користь, новизну та інтерес до технології, зокрема в освітній галузі, існує дуже мало досліджень, що демонструють практичне впровадження та способи її використання у вивченні геометрії.*

*У статті розглянуто та систематизовано зарубіжні дослідження, пов'язані із застосуванням доповненої реальності в процесі навчання геометрії. Усі вони демонструють застосування спеціально розроблених програм. Огляд досліджень складається з їх аналізу, техніки, що застосовується, мети, можливостей, видів роботи, типів маркерів, огляду дизайну та інтерфейсу, вживаного контенту та ступеня сприйняття студентами. Завдання та можливості програм відрізняються за рівнями складності й демонструють придатність технології до використання як у початковій, так і у вищій школі. Наведені програми відрізняються оформленням та способами взаємодії з інтерфейсом. Зокрема, винесення інтерфейсу у фізичний світ, як відзначили автори відповідних досліджень, створює сприятливе враження та надає процесу відчуття, відмінного від звичайної роботи з комп'ютером.*

*У процесі аналізу було визначено, що всі додатки позитивно сприйняті студентами, викликали зацікавлення та підвищення бажання вчитися. Застосування доповненої реальності можливе як для індивідуальної, так і групової роботи. Наявні успішні приклади використання технології в аудиторному та дистанційному навчанні. Програми із доповненою реальністю можуть слугувати вдалим дидактичним інструментом, що зробить навчання різноманітним та*

---

\* Науковий керівник – канд. мист., доцент Опалєв М. Л.

цікавим.

*Ключові слова: доповнена реальність, AR, освіта, навчання геометрії, дизайн додатків, мобільний додаток, дидактичний матеріал.*

**Постановка проблеми.** Освітня галузь потребує постійного розвитку та вдосконалення підходів до навчання, способів подання матеріалу, мотивації учнів та студентів для того, щоб реалізовувати модель навчання, що відповідає вимогам сучасності. У процесі розвитку й доступності технологій розширення дидактичного матеріалу відбувається поступово та природно. У викладанні дисциплін поряд з «традиційними» підручниками та друкowanими дидактичними матеріалами все частіше застосовують цифрові/технологічні: мультимедійні, інтерактивні системи, вебсервіси, навчальні ігри, віртуальну й доповнену реальність тощо.

Доповнена реальність (Augmented reality, далі AR) – одна із сучасних технологій, що зарекомендувала себе позитивно в багатьох галузях. Зокрема, її ефективність у навчанні підтверджують багато досліджень [1,3,6]. Впровадження системи AR передбачає розміщення віртуального об'єкта в реальному середовищі в режимі реального часу та з урахуванням розташування у просторі. Об'єкт може бути підготовлений заздалегідь або згенерований у процесі роботи програми. Надання інформації, яку користувач не може розпізнати безпосередньо за допомогою своїх природних тілесних відчуттів, допомагає йому вирішувати завдання реального світу.

Вивчення геометрії, як предмету, сприяє розвитку просторових здібностей та уяви, але в процесі навчання початківцям може бути важко уявити всі взаємозв'язки та закономірності. AR може постати в цьому процесі гарною базою та надавати певні переваги в процесі навчання. Через абстрагованість і формальність геометрія та математика зазвичай не є одними з улюблених предметів у студентів і потребують різноманітних підходів для підвищення мотивації до навчання [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Метою вивчення геометрії є розвиток просторових здібностей. Термін просторові здібності охоплює п'ять частин: просторове розпізнавання, просторове сприйняття, розумові повороти, просторові відносини та просторове представлення [2]. У дослідженні, присвяченому молекулярній геометрії [8], було відзначено користь навчання із застосуванням AR щодо покращення просторових знань.

Майже всі дослідники [9,4] фіксують важкість у сприйнятті окремими учнями об'єктів, що утворюють тривимірний простір, та наголошують на необхідності різноманітних наочних матеріалів для

полегшення й активізації когнітивних процесів.

Вони розглядають AR, як технологію, що дає змогу розвивати навички візуалізації та, разом з ними, можливості просторового сприйняття [4,7]. Для досягнення цієї мети, зазначають дослідники, взаємодія між студентом та об'єктом AR повинна дозволяти викликати процеси, які у просторі та часі пов'язані з процесом когнітивної концепції тривимірного об'єкту. Внесок технології повинен безпосередньо впливати на форми взаємодії з математичними (геометричними) знаннями, пропонуючи нові можливості для навчання. У своєму дослідженні вони ставлять за мету візуальне та чуттєве представлення математики [4]. Lin та співавтори (2015 р.) виявили, що студенти з низькими навчальними успіхами демонстрували позитивне ставлення до навчання з AR [11]. Liao та ін. (2015 р.) розробили додаток з AR для допомоги студентам у вирішенні куба Рубіка та вивченні геометричних концепцій об'єму та площі поверхні. Науковці визначили, що AR може бути гарною технологією для вдосконалення навчання геометрії та освіти й покращення ставлення до всього вивчення математики (і геометрії) [13].

Дослідники з індонезійського університету у своєму проєкті [9] розробили додаток з інтерактивними моделями простих геометричних форм, як засіб для навчання математики у початковій школі. Вони відзначають ще одну важливу перевагу освіти, що може забезпечити AR – сприяння соціальній взаємодії між користувачами, розташованими в одному фізичному просторі, заповненому віртуальними об'єктами [15,4]. Ця методика особливо цінна для навчальних цілей, оскільки користувачі можуть залучати природні методи спілкування (приказки, жести тощо), але можуть також взаємодіяти з AR. Деякі користувачі відчувають себе в небезпеці, якщо їх огляд обмежений, як у віртуальній реальності. AR дозволяє їм все контролювати та бачити реальний світ навколо [2]. Також було відзначено [9], що AR здатна створити нову атмосферу, більш інтерактивну, у звичайному навчанні з математики, яке здається нудним для студентів.

Дослідження виконане 2019 року показало, що серед 117 робіт, присвячених застосуванню доповненої реальності в навчанні, лише 9 стосуються безпосередньо геометрії [3]. У цьому самому дослідженні автори пропонують свій варіант застосування технології для представлення тривимірної моделі будівлі на основі архітектурного креслення.

2020 року було опубліковано ще одне дослідження [6], яке мало за мету вивчити ефект викладання геометрії за підтримки AR на навички 3D-мислення студентів. Була створена шкала здібностей 3D-мислення та протестована з експериментальними й контрольними групами як до-, так і після тестової оцінки. Також для покращення навичок тривимірного

мислення були розроблені навчальні матеріали з геометрії AR (ARGTS) та навчальні матеріали й середовища AR. Це дослідження виявило, що навчання геометрії, яке підтримується ARGTS, значно підвищило навички 3D-мислення учнів та середнього балу за обраними темами навчання. Автори вважають, що результати цього дослідження особливо важливі для виявлення індивідуальних відмінностей у навичках 3D-мислення учнів середньої школи та створення персоналізованих динамічних інтелектуальних середовищ навчання [6].

Незважаючи на значний інтерес до технології AR в навчанні та велику кількість експериментальних робіт щодо впровадження технології, в науковій літературі розглянуто небагато проєктів щодо можливостей застосування AR у вивченні саме геометрії, і цей досвід здебільшого іноземний. Мало що було зроблено для систематичної розробки програм з AR для практичного застосування в навчанні в цій галузі [17].

Метою статті є огляд поточного стану досліджень із застосування AR у вивченні геометрії; визначення особливостей створених прототипів та додатків, аналіз інтерфейсу та принципів взаємодії з ним. Висвітлення можливостей застосування та спонукання вітчизняних науковців і викладачів до впровадження AR у навчання, зокрема геометрії.

**Основна частина.** Для дослідження були відібрані наукові проєкти, які використовують технологію AR. Обладнання, що застосовується для використання кінцевого продукту, відрізняється складністю, коштовністю та можливостями: від дорогих установок із HMD (head-mounted display, шоломами доповненої реальності) до додатків (програм) на телефон чи планшет.

2014 року науковці з Swiss German University (Індонезія) розробили додаток [8] із застосуванням бібліотеки OpenCv, що працює на базі Intel і реалізує різні інструменти для обробки зображень. Завдяки можливостям OpenCv для виявлення кольору та реєстрації віртуального об'єкта в режимі реального часу він підтримує створення додатків на основі доповненої реальності. Ідея прототипу – допомогти учням початкової школи у вивченні транспортира. Науковці відзначили, що існує багато різних способів глибокого розуміння студентами, і один з ефективних способів – це використання візуального вивчення, а також безпосередньої практики.

У прототипі використовують чотири кольорові картки-маркери як елементи керування системою: червона – точка зведення, зелена і синя карта виконують роль цільових точок, а карта кольору лайму – для демонстрації значення градусу кута. На Рис. 1,*a* показано вимірювання лівого кута, а на Рис. 1,*б* – прямого кута. Залежно від зеленої або синьої карти, кут буде намальований з лівої чи правої

координати відповідно. Завдання студентів: спочатку виміряти утворений кут за допомогою транспортира, а потім перевірити, чи правильна їхня відповідь, показавши камері маркер кольору лайму. Результатом експерименту стали позитивні відгуки студентів, які тестували систему, 92% з них назвали цей процес швидшим, ніж використання звичайного методу [8].

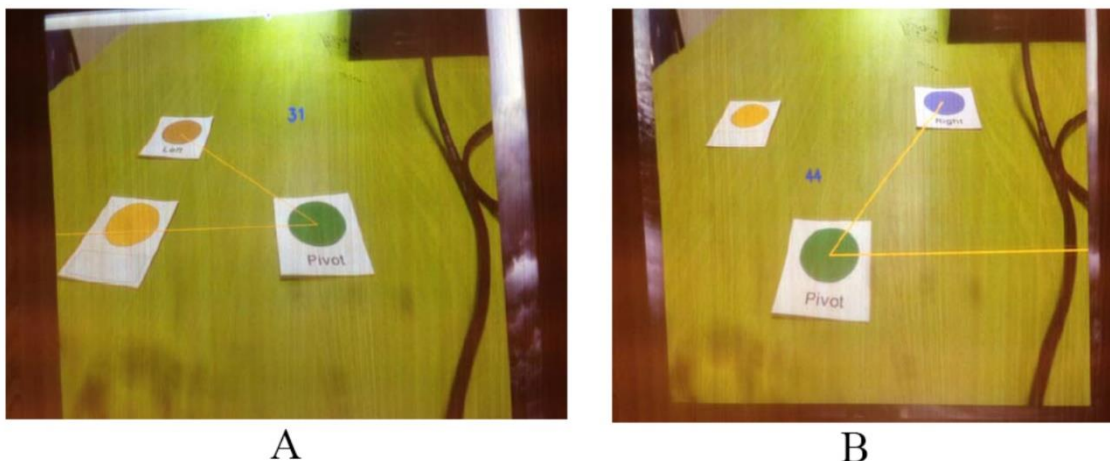


Рис. 1. Результат застосування прототипу системи [13]

Для вивчення геометрії в університеті PGRI Семаранг (Індонезія) 2017 року було розроблено додаток [1], що демонструє ту чи ту тривимірну модель залежно від обраної картки-маркера (Рис. 2). Автори описали процес розробки у статті та відзначили позитивний відгук на додаток від експертів, що означало можливість використання такого додатка в аудиторії. Вони визначили також сторони проєкту, що можуть бути покращені: доповнення інструментальною музикою для створення доброзичливої атмосфери та необхідність збільшення розміру карток та 3D-об'єктів.



Рис. 2. Ліворуч – приклад картки, праворуч – тестування у додатку

Дослідники з університету Кордоби (Іспанія) 2016 року представили мобільну систему доповненої реальності під назвою DiedricAR, що спрямована на вивчення нарисної геометрії [10]. Додаток дозволяє студентам самостійно навчатися за допомогою власних мобільних пристроїв (смартфонів і планшетів), які відбивають додаткову інформацію та моделі (з використанням AR) над навчальним матеріалом (робочим зошитом для вправ DiedricAR), спеціально розробленим для нової моделі навчання, визначеної Європейською системою вищої освіти. Порівняно з деякими наявними системами доповненої реальності, які використовують для вивчення описової геометрії, DiedricAR пропонує перевагу, будучи спеціально розробленою для мобільних пристроїв, що дає студентам змогу навчатися будь-де, а також взаємодіяти з дидактичним змістом (показуючи бажаний проміжний крок під час розв'язування двовимірних вправ) [10].

Серед особливостей інтерфейсу (Рис. 3) можна відзначити спеціальні розмічені на сторінках зошита піктограми на контрастному фоні, які постають як кнопки управління програмою. У такий спосіб елементи інтерфейсу були винесені з екрану пристрою у фізичне середовище. Цей підхід дозволяє більш зручну взаємодію із системою за рахунок відсутності необхідності зміщення фокусу зору від моделі до елементів управління на екрані.

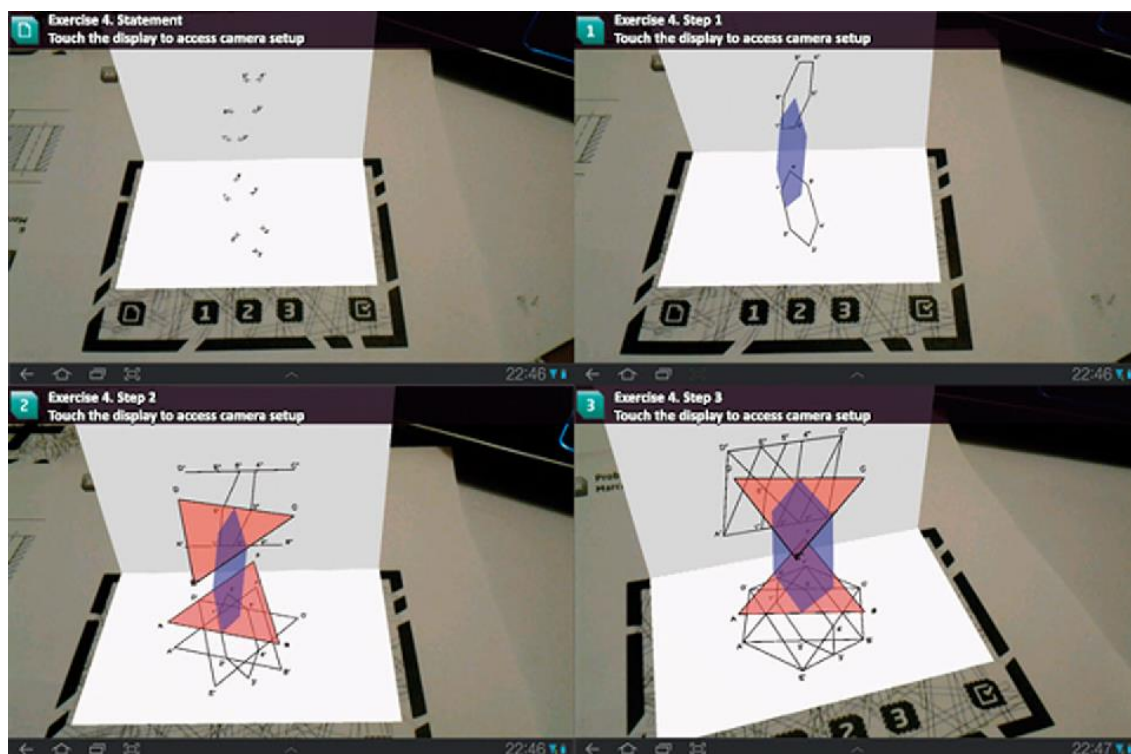


Рис. 3. Розв'язання для двогранної вправи, що надається програмою DiedricAR: початковий стан та проміжні кроки 1, 2 та 3 [3]



У Технологічному інституті Монтеррея (Мексика) 2013 року було розроблено додаток з AR «Calculus» для вивчення математики [4]. На відміну від попереднього, він є прикладом інтерфейсу, зосередженого на екрані смартфона. Основна ідея – візуалізація математичних абстракцій за допомогою AR. Додаток відбиває на екрані пристрою згенерований об'єкт: криву або площину. Особливість програми полягає в тому, що прості графіки, створювані функціями, можуть трансформуватися в інтерактивні 3D-об'єкти. Можливість взаємодії віртуальних об'єктів один з одним дає змогу провести операцію, яку було б важко або неможливо виконати на папері (наприклад, розрізати об'ємну фігуру площиною (Рис. 4)).

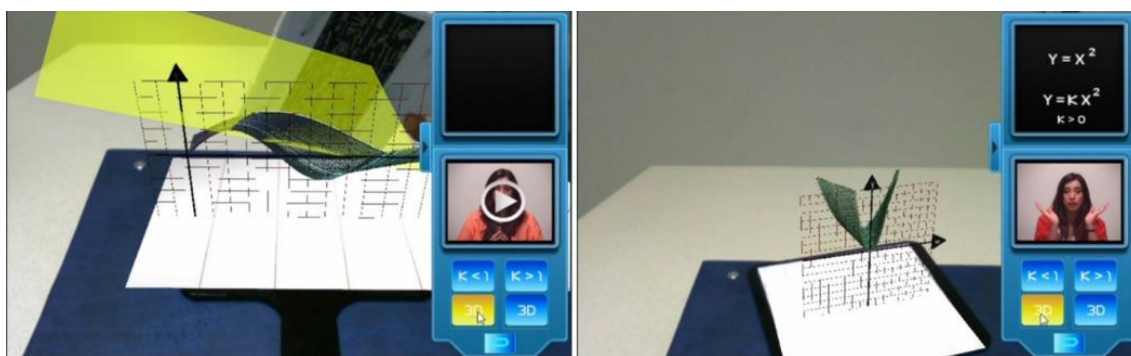


Рис. 4. Інтерфейс 3D режиму додатку «Calculus» [14]. Ліворуч перетин двох функцій у просторі, праворуч – згенерована на базі однієї функції поверхня

Для змістовної частини було обрано такі теми: 2D у 3D, тіла обертання, поверхні у просторі. Хоча ці теми розглядають у курсах I, II та III Математики, вони були зосереджені в одному додатку, спрямованому на весь курс вивчення. За допомогою представлення в AR математичних об'єктів, з якими можна взаємодіяти, студент має можливість подумки відзначити процес, за допомогою якого вони генеруються, та сприйняти його візуально [4]. Залежно від математичних формул закладені різні форми та графічні ефекти.

Серед особливостей додатку можна назвати наявність відео-пояснень, що були добре сприйняті студентами та «схожими на спілкування у чаті», тобто дружніми; показ математичних виразів для їх асоціації з графічним представленням; залучення до роботи в парі (один студент маніпулює додатком, а інший акриловою площиною-маркером). В експерименті студенти вільно маніпулювали кожним елементом у програмі, щоб отримати різні точки зору створеної моделі завдяки відчуттю можливості керувати фізичним об'єктом, який створюється додатком [4]. Також розробники провели дослідження, спрямоване на виявлення ефектів від застосування додатку в освіті. Студенти переважно позитивно відгукувалися про дизайн програми й відзначили простоту її використання.

Дослідники з Китаю (2019 р.) [13] розробили короткий курс з AR, спрямований на покращення знань з тривимірної геометрії. У Китаї учні молодших класів опановують проєкцію та її креслення у восьмому чи дев'ятому класах. Вивчення матеріалу було складним для учнів, які вперше серйозно вивчали твердотільну геометрію. До цього дослідження відібрані студенти (75 студентів 7-го класу, 12-14 років) мали деякі попередні знання про двовимірну евклідову геометрію та простори. У твердотільній геометрії вони знали лише деякі основні поняття тривимірної геометрії (наприклад, концепція основних фігур, таких, як куб, кубоїд, куля тощо), але в них не було поняття «проєкції» в математиці чи тривимірному малюванні [12]. Під час експерименту учням проводився 40-хвилинний курс, який був попередньо підготовлений з урахуванням побажань викладача, та виконувалося оцінювання: заміри, тести, опитування (перед курсом, впродовж і після нього) – для визначення ефективності, оцінки задоволеності та ставлення до навчання.

Під час експерименту використовувалися картки з дизайном двох видів, деякі – з назвами фігур, інші – із зображенням проєкцій. Ці картки необхідно було поєднати в пару. Після поєднання вони сканувалися додатком і, якщо поєднання виконане правильно, – можна було побачити тривимірну модель та оглянути її у просторі, виконати масштабування, обертання та переміщення. Для кращого сприйняття форми – грані фігури були зафарбовані в різні кольори.

На основі результатів тестів та анкетування технологія AR у класі твердотільної геометрії мала позитивний вплив на успішність учнів. Як зазначають дослідники, після використання програми AR у навчальній діяльності протягом 40 хвилин курсу бали студентів до та після тесту мали суттєву різницю, а використання AR могло б допомогти студентам у вивченні тривимірної проєкції. Також дослідження показало, що учні в молодших класах готові навчатися «саме цим шляхом».

З 2013 року в Австрійському університеті Н. Kaufmann та співавтори розробляють та постійно вдосконалюють найпотужнішу систему з усіх представлених, яка охоплює можливість одночасної роботи із спільним простором (від 1 до 6 студентів та викладач). Як зазначає Kaufmann [11], основна перевага використання AR полягає в тому, що учні насправді бачать тривимірні об'єкти, які їм до цього часу доводилося обчислювати та будувати традиційними – переважно олівцем та папером – методами. Також система дозволяє традиційне педагогічне спілкування.

«Construct3D» заснований на системі «Studierstube», описаний Schmalstieg et al. [16]. Це дає змогу поєднувати та узгоджувати різноманітні пристрої виведення, зокрема персональний HMD,



віртуальний стіл, звичайні монітори, та введення даних через пристрої відстеження. Усі ці пристрої виконують функції інтерфейсів до єдиної розподіленої системи [17]. Програма ініціалізує тривимірне вікно, яке має максимальний розмір для покриття «цілого» віртуального простору. Користувацький інтерфейс складається з простору навкруги та системи меню, яке відбито на панелі в руці та називається «персональна панель взаємодії» («PIP»). «PIP» дозволяє легко інтегрувати звичайні елементи 2D-інтерфейсу, зокрема кнопки, повзунки, циферблати тощо, а також нові віджети 3D-взаємодії. Гаптичний зворотній зв'язок від фізичного предмету направляє користувача під час взаємодії з «PIP», водночас накладена графіка дозволяє використовувати панель як багатофункціональний інструмент [11]. Усі етапи побудови виконуються за допомогою прямого маніпулювання в просторі, використовуючи спеціальний стилус. Операції відбуваються послідовно, підтримують динамічні модифікації вхідних елементів та відповідно їх оновлюють.

Поточна версія Construct3D пропонує базовий набір функцій для побудови примітивів, площин, кубів, сфер, циліндрів і конусів. Будівельні функції охоплюють перехрестя, нормалі та площини, операції симетрії та проведення вимірювань, булеві операції на основі інструмента OpenCascade, які (наприклад) дозволяють дізнатися про криві перетину поверхонь другого порядку. Тривають роботи з впровадження загальних кривих і поверхонь [17].



Рис. 5. Тестування додатку [12]

З особливостей програми – підтримка динамічної геометрії, тобто всі геометричні сутності можуть постійно змінюватися користувачем, а залежні сутності зберігають свої геометричні зв'язки. Наприклад, переміщення точки, що лежить на кулі, приводить до зміни радіусу сфери [17]. Необхідні системні операції, зокрема вибір примітивного типу, завантаження, видалення, скасування тощо, відбито на «PIP». Інтерфейс програми дозволяє працювати з віртуальними об'єктами наче з реальними, переміщуватися у просторі та оперувати фізичними об'єктами для редагування (Рис. 6).

Такий тип занурення найкраще підходить для систем, що потребують виконання складних операцій.

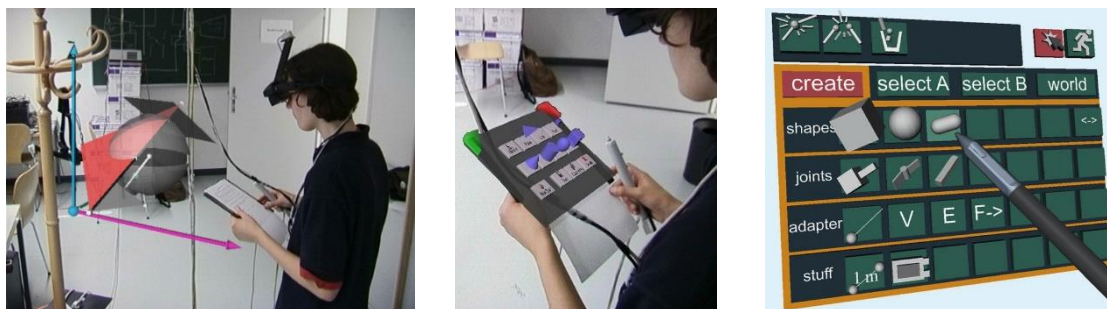


Рис. 6. Ліворуч – використання «PIP», вигляд зі сторони. У центрі – як «PIP» виглядає для користувача, праворуч – оновлена версія «PIP» [9,17]

Чим більша кількість елементів, тим більшу увагу необхідно приділити їх дизайну та зручності використання. Спостерігається значна еволюція в дизайні Construct3D між початковою та поточними версіями. Авторам довелося приділити увагу розмірам елементів, дизайну меню та елементів. Опрацьований дизайн відповідає потребам під час роботи у програмі та враховує особливості застосування прозорості, кольору, масштабу та можливого стану об'єктів [15].

Нижче представлена порівняльна таблиця (табл. 1) проаналізованих додатків з доповненою реальністю (якщо не використалося точне ім'я, для розрізнення між собою, назви додатків були визначені умовно, як назва міста походження):

Таблиця 1

#### Порівняльний аналіз додатків з AR

	«Calculus»	«Construct 3D»	Tangerang	Semarang	«Diedric AR»	Beijing
<b>Роки розробки</b>	2013	2013 - ...	2014	2017	2017	2019
<b>Країна</b>	Мексика	Австрія	Індонезія	Індонезія	Іспанія	Китай
<b>Техніка</b>	Планшет, телефон	HMD, монітори, стилуси	Планшет, телефон	Планшет, телефон	Планшет, телефон	Планшет, телефон
<b>Система</b>	Android/iOS	Windows Server	Android/iOS	Android/iOS	Android/iOS	Android/iOS
<b>Мета програми</b>	Візуалізація математичних абстракцій. Темі: 2D у 3D, тіла обертання, поверхні у просторі.	Навчальна побудова та редагування геометричних об'єктів та зв'язків між ними.	Створення, вимірювання та перевірка кута.	Візуалізація тривимірної моделі за темою.	Покрокова візуалізація геометричних вправ.	Вивчення поняття проєкції. Візуалізація правильної пари.
<b>Можливі дії та функціоналу</b>	Зміна параметрів, поєднання 2х формул у	Операції створення, редагування	Перерахунок кута під час пересування	Огляд у просторі	Вибір кроку розв'язання, огляд у просторі	Поєднання карток у пари, огляд у просторі,



	«Calculus»	«Construct 3D»	Tangerang	Semarang	«Diedric AR»	Beijing
Застереження	-	Рекомендовано обмежити час заняття до 20-30 хвилин. [11].	-	-	-	-

**Висновки.** У процесі аналізу було виявлено, що через простоту та доступність більшою популярністю користуються програми з AR на базі телефонів та планшетів, ніж багатокомпонентні та технічно навантажені рішення. Утім, залучення коштовного технічного оснащення надає можливість створювати більш складні функціонально, та більш занурювальні системи, як «Construct 3D».

Крім того, можна досить недорогими засобами створити наочний і цікавий продукт, що зможе залучити студентів до навчання та допоможе з опануванням навчального матеріалу. Програми із застосуванням AR можуть стати гарним доповненням до традиційних дидактичних матеріалів під час вивчення геометрії.

Також було визначено, що дизайн та інтерфейс програми має бути простим і зрозумілим для пересічного користувача для інтуїтивного розуміння без підготовки. Серед критеріїв, за якими студенти позитивно оцінювали програми, були простота використання та приємний дизайн. Управління програмою може відбуватися як за допомогою жестів/дотиків, стилуса, так і за допомогою маркерів. Маркери можуть застосовуватися як чорно-білі, так і кольорові. Загалом, чим складніша система, тим більшу увагу слід приділити її дизайну.

Виявлені можливості вдосконалення додатків з AR для вивчення геометрії: залучення окрім візуальних, аудіокомпонентів (звуків, музики); надання можливості взаємодіяти з предметом через інтерфейс (збільшувати, зменшувати, обертати, переміщувати).

З погляду взаємодії між студентами, можлива як аудиторна, так і самостійна робота. До того ж AR надає можливості для комфортної взаємодії в парі або у групі, що сприяє покращенню соціальних відносин.

Завдяки взаємодії з фізичними предметами (маркерами, планшетами тощо) робота з інтерфейсом системи надає більше відчуття ручної роботи, ніж звичайної роботи за комп'ютером, що робить процес захопливим.

Незважаючи на експериментальний характер багатьох досліджень та молодий вік технології – на думку автора – технологія доповненої реальності має перспективи та продовжить поширюватися,

залучатися в навчальний процес та посяде місце в арсеналі різноманітних способів подання матеріалу.

Автор розглянув лише наукові дослідження у галузі додатків, присвячених геометрії та математиці. У майбутньому планується провести аналіз доступних програм для ПК, а також додатків, що наявні для смартфонів із Android/iOS та використанням AR.

Незважаючи на значний інтерес до технології AR в навчанні та позитивні результати щодо її впровадження у вивчення геометрії та математики, існує прогалина у знаннях та дослідженнях із цієї теми. Актуальною є потреба досліджень з формування методичних підходів до впровадження AR в освітній процес, прикладів застосування, методик викладання та досвіду проектування подібних систем, особливо на вітчизняному рівні.

### *Література*

1. Зильберман, Н. Н., Сербин, В. А. Возможности использования приложений дополненной реальности в образовании. Открытое и дистанционное образование. Томск, 2014. № 4(56). С. 28 – 33.
2. Irwansyah, F. S., Yusuf, Y. M., Farida, I., та ін. Augmented Reality (AR) Technology on the Android Operating System in Chemistry Learning: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 18. pp. 1-7.
3. Voronina, M. V., Tretyakova, Z. O., Krivonozhkina, E. G., та ін. Augmented reality in teaching descriptive geometry, engineering and computer graphics-systematic review and results of the russian teachers' experience. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2019. Vol. 15. No. 12. 17 p.
4. Salinas, P., González-Mendivil, E., Quintero, E., та ін. The development of a didactic prototype for the learning of mathematics through augmented reality: *Procedia Computer Science*, 2013. No. 25. pp. 62-70.
5. Fernandez, M. Augmented-Virtual Reality: How to improve education systems. *Higher Learning Research Communications*. 2017. Vol. 7. No.1 pp. 1-15.
6. İbili, E., Çat, M., Resnyansky, D., та ін. An assessment of geometry teaching supported with augmented reality teaching materials to enhance students' 3D geometry thinking skills. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2020. Vol. 51. No. 2. pp. 224-246.
7. Ferdianova, V., Zacek, M. Motivation of students for geometry: *2013 2nd International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education, ICEEE 2013*. pp. 70-73.
8. Purnama, J., Andrew, D., Galinium, M. Geometry learning tool for

- elementary school using augmented reality: *Proceedings - International Conference on Industrial Automation, Information and Communications Technology, IAICT 2014*, 14. pp. 145-148.
9. Cahyono, B., Firdaus, M. B., Budiman, E., та ін. Augmented Reality Applied to Geometry Education: *Proceedings - 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology: Internet of Things for Industry, EIconCIT 2018*, 18. pp. 299-303.
  10. Ravé, E. G. de, Jiménez-Hornero, F. J., Ariza-Villaverde, A. B., та ін. DiedricAR: a mobile augmented reality system designed for the ubiquitous descriptive geometry learning. *Multimedia Tools and Applications*. 2016. Vol.75. pp. 9641–9663.
  11. Kaufmann, H., Steinbugl, K., Dunser, A., та ін. General training of spatial abilities by geometry education in augmented reality. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*. 2005. Vol. 3. pp. 65–76.
  12. Lin, H. C. K., Chen, M. C., Chang, C. K. Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system. *Interactive Learning Environments*. 2015. Vol. 23. No. 6. pp. 799-810.
  13. Liu, E., Li, Y., Cai, S., та ін. The Effect of Augmented Reality in Solid Geometry Class on Students' Learning Performance and Attitudes: *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2019. pp. 549-558.
  14. Santos, M. E. C., Yamamoto, G., Taketomi, T., та ін. Authoring augmented reality learning experiences as learning objects: *Proceedings - 2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2013*. pp. 506-507.
  15. Kaufmann, H., Schmalstieg, D. Designing immersive virtual reality for geometry education: *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 2006. pp. 51-58.
  16. Dunleavy, M., Dede, C., Mitchell, R. Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*. 2009. No. 18. pp. 7-22.
  17. Schmalstieg, D., Systeme, I. Geometry Education with Augmented Reality. Technology. PhD dissertation. Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr. Dieter Schmalstieg. 2004. 179 p.
  18. Buchori, A., Setyosari, P., Wayan Dasna, I., та ін. Mobile augmented reality media design with waterfall model for learning geometry in college. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. No. 13. pp. 3773-3780.
  19. Schmalstieg, D., Fuhrmann, A., Hesina, G., та ін. The studierstube augmented reality project. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2002. Vol. 11. No. 1. pp. 33-54.



## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ИЗУЧЕНИИ ГЕОМЕТРИИ

Фомина К.О.

*Целью изучения геометрии является, в частности, развитие пространственных способностей. Однако, начинающим иногда сложно в процессе обучения воспринимать двумерные изображения, представляющие трехмерное пространство. Дополненная реальность – технология, которая продемонстрировала свою эффективность в обучении и может быть использована для создания дидактических материалов. Ее особенность заключается в размещении виртуального объекта в реальной среде, реальном времени и с учетом расположения в пространстве. Дополняя реальную среду виртуальной информацией, она помогает пользователю решать задачи реального мира. Несмотря на пользу, новизну и интерес к технологии, в частности, в сфере образования, существует очень мало исследований, демонстрирующих практическое внедрение и способы ее использования в изучении геометрии.*

*В статье рассмотрены и систематизированы зарубежные исследования, связанные с применением дополненной реальности в процессе обучения геометрии. Все они демонстрируют применение специально разработанных программ. Обзор состоит из их анализа, применяемой техники, цели, возможностей, видов деятельности, типов маркеров, особенностей дизайна и интерфейса, применяемого контента и степени восприятия студентами. Задачи и возможности программ варьируются по уровням сложности и демонстрируют пригодность технологии к использованию как в начальной, так и высшей школе. Приведенные программы отличаются оформлением и способами взаимодействия с интерфейсом. В частности, вынесение интерфейса в физический мир, как отметили авторы соответствующих исследований, создает благоприятное впечатление и придает процессу ощущение, отличное от обычной работы с компьютером.*

*В процессе анализа было определено, что все приложения положительно восприняты студентами, вызвали интерес и повышение желания учиться. Применение дополненной реальности возможно как для индивидуальной, так и групповой работы. Имеются успешные примеры использования технологии в аудиторном и дистанционном обучении. Программы с дополненной реальностью могут служить удачным дидактическим инструментом, сделав обучение разнообразным и интересным.*

*Ключевые слова: дополненная реальность, AR, образование,*

*обучение геометрии, дизайн приложений, мобильное приложение, дидактический материал.*

## **THE USE OF AUGMENTED REALITY IN THE STUDY OF GEOMETRY**

Fomina K.

*The purpose of studying geometry is the development of spatial abilities. However, sometimes it is difficult for beginners to perceive two-dimensional images representing three-dimensional space in the learning process. Augmented reality is a technology that has demonstrated its effectiveness in learning and can be used to create didactic materials. Its feature is the placement of a virtual object in a real environment, in real-time and considering the location in space. Complementing the real environment with virtual information, it helps the user solve real-world problems. Despite the benefits, novelty, and interest in technology in the field of education, there are very few studies that demonstrate practical implementation and how to use it in the study of geometry.*

*The main goal of the study is to review and systematize foreign studies related to the use of augmented reality in the process of learning geometry. All of them demonstrate the use of specially designed programs. The review consists of their analysis, the used equipment, purpose, capabilities, types of activities, types of markers, design and interface features, the content used and the degree of students' perception. The tasks and capabilities of the programs vary in difficulty levels and demonstrate the suitability of the technology for use in both primary and higher education. The above programs differ in design and ways of interacting with the interface. In particular, the introduction of the interface into the physical world, as noted by the authors of the relevant studies, creates a favorable impression, and gives the process a sensation that is different from ordinary work with a computer.*

*During the analysis, it was determined that all applications were positively received by students, aroused interest, and increased willingness to learn. The use of augmented reality is possible for both individual and group work. There are successful examples of the use of technology in classroom and distance learning. Programs with augmented reality can serve as a successful didactic tool, making the training varied and interesting.*

*Keywords: augmented reality, AR, education, geometry training, application design, mobile application, didactic material.*