

## Проектування програмних засобів доповненої реальності навчального призначення

Олександр Володимирович Сироватський<sup>1</sup>,  
Сергій Олексійович Семеріков<sup>1</sup>[0000-0003-0789-0272],  
Євгеній Олександрович Модло<sup>2</sup>[0000-0003-2037-1557],  
Юлія Володимирівна Єчкало<sup>3</sup>[0000-0002-0164-8365],  
Сніжана Олександрівна Зелінська<sup>1</sup>[0000-0002-3071-5192]

<sup>1</sup> Криворізький державний педагогічний університет,  
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, 50086, Україна

<sup>2</sup> Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України,  
вул. Степана Тільги, 5, м. Кривий Ріг, 50006, Україна

<sup>3</sup> Криворізький національний університет,  
вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна  
{sovhero, semerikov, eugenemodlo, uliaechk}@gmail.com,  
zvit-zss@ukr.net

**Анотація.** У процесі дослідження проблеми професійної підготовки майбутніх учителів інформатики до використання технологій доповненої реальності в освіті розв'язані завдання: 1) виконано історико-технологічний аналіз досвіду застосування засобів доповненої реальності для розробки інтерактивних навчальних матеріалів; 2) схарактеризовано програмне забезпечення для проектування засобів доповненої реальності навчального призначення та визначено технологічні вимоги для факультативу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності»; 3) розроблено окремі складові навчально-методичного комплексу із проектування систем віртуальної та доповненої реальності для майбутніх учителів інформатики.

**Ключові слова:** доповнена реальність, віртуальна реальність, ІКТ, інтерактивні навчальні матеріали.

## Augmented reality software design for educational purposes

Oleksandr V. Syrovatskyi<sup>1</sup>, Serhiy O. Semerikov<sup>2</sup>[0000-0003-0789-0272],  
Yevhenii O. Modlo<sup>2</sup>[0000-0003-2037-1557], Yuliia V. Yechkalo<sup>3</sup>[0000-0002-0164-8365]  
and Snizhana O. Zelinska<sup>1</sup>[0000-0002-3071-5192]

<sup>1</sup> Kryvyi Rih State Pedagogical University, 54, Gagarin Ave., Kryvyi Rih, 50086, Ukraine

<sup>2</sup> Kryvyi Rih Metallurgical Institute of the National Metallurgical Academy of Ukraine,  
5, Stephana Tilhy St., Kryvyi Rih, 50006, Ukraine

<sup>3</sup> Kryvyi Rih National University, 11, Vitalii Matushevych St., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine  
{sovhero, semerikov, eugenemodlo, uliaechk}@gmail.com,  
zvit-zss@ukr.net

**Abstract.** In the process of researching the problem of training future informatics teachers to use augmented reality technologies in education, the tasks were solved: 1) a historical and technological analysis of the experience of using augmented reality tools for developing interactive teaching materials was performed; 2) the software for the design of augmented reality tools for educational purposes is characterized and the technological requirements for the optional course “Development of virtual and augmented reality software” are defined; 3) separate components of an educational and methodical complex for designing virtual and augmented reality systems for future informatics teachers have been developed.

**Keywords:** augmented reality, virtual reality, ICT, interactive learning materials.

### 1 Вступ

Доповнена реальність (augmented reality, також відома як mixed reality) – сьогодні досить популярна технологія, що має широкі бізнесові, розважальні та освітні застосування. І. С. Мінтій та В. М. Соловійов у [30] наголошують, що в Україні технологія доповненої реальності практично відсутня в освітньому просторі підготовки майбутніх учителів, незважаючи на виявлений її значний потенціал:

- у професійній підготовці майбутніх інженерів (Н. В. Рашевська, В. М. Соловійов [36]), зокрема – інженерів гірничого профілю (С. О. Зелінська та ін. [53]);
- у позашкільній навчально-дослідницькій діяльності учнів (В. Б. Шаповалов, С. Б. Шаповалов, А. І. Атамась, Ж. І. Білик та ін. [42; 43]);

- у спільному розвитку компетентностей з фізики та іноземної мови на бінарних уроках у ЗЗСО (В. Л. Бузько, А. В. Бонк, О. В. Мерзликін, І. Ю. Тополова та ін. [6; 28]);
- для підготовки до лабораторних занять з природничо-математичних дисциплін у середній та вищій школі (Т. В. Грунтова, Ю. В. Єчкало, А. М. Стрюк, П. П. Нечипуренко, Т. В. Старова, Т. В. Селіванова, А. О. Томіліна та ін. [23; 34]);
- для адаптації студентів-іноземців до навчання на підготовчих відділеннях вітчизняних ЗВО (Н. О. Зінонос, О. В. Віхрова та ін. [54]);
- для навчання глобального читання дошкільників з розладами спектру аутизму (Т. Г. Коломоєць та ін. [24]) тощо.

Технологія доповненої реальності стає важливим компонентом мобільно орієнтованого середовища навчання ЗВО через доступність та повсюдність мобільних Інтернет-пристроїв, використовуваних учасниками навчального процесу [31; 32]. Один з основоположників доповненої реальності А. Е. Сазерленд розглядав її як комбінування модельного та реального світу на певному ідеальному (остаточному) дисплеї (ultimate display), з'єданого із комп'ютером для полегшення знайомства із поняттями, які неможливо реалізувати у фізичному світі [47, с. 507-508]. Тому розробнику засобів доповненої реальності необхідно бути компетентним у комп'ютерній графіці, комп'ютерному моделюванні та застосовувати відповідні поставленим задачам засоби розробки.

## 2 Апарат дослідження

*Проблема дослідження* породжена відсутністю у вітчизняному освітньому просторі адаптованих навчальних матеріалів із навчання майбутніх учителів застосування систем доповненої реальності для розробки інтерактивних навчальних матеріалів, що викликало необхідність звернення до зарубіжного досвіду – масових відкритих онлайн-курсів з розробки засобів віртуальної та доповненої реальності.

*Мета дослідження* – розробити адаптований навчально-методичний комплекс із проектування систем віртуальної та доповненої реальності для майбутніх учителів інформатики.

Для досягнення мети дослідження були поставлені такі *завдання*:

1. Виконати історико-технологічний аналіз досвіду застосування засобів доповненої реальності для розробки інтерактивних навчальних матеріалів.
2. Схарактеризувати програмне забезпечення для проектування засобів доповненої реальності навчального призначення та визначити технологічні вимоги для факультативу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності».

3. Розробити окремі складові навчально-методичного комплексу із проектування систем віртуальної та доповненої реальності для майбутніх учителів інформатики.

*Об'єкт дослідження* – професійна підготовка майбутніх учителів інформатики до використання інноваційних технологій в освіті.

*Предмет дослідження* – адаптований навчально-методичний комплекс із проектування систем віртуальної та доповненої реальності для майбутніх учителів інформатики.

*Методи дослідження:*

- *аналіз* джерел та програмного забезпечення з метою визначення стану розв'язання проблеми дослідження та добору засобів розробки систем віртуальної та доповненої реальності;
- *синтез* технологічних вимог до факультативу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності»;
- *методи програмної інженерії* (проектування, розробка, тестування);
- *методи педагогічного проектування* для досягнення загальної мети дослідження.

*Наукова новизна результатів дослідження* полягає в тому, що розроблено окремі компоненти методики навчання майбутніх учителів інформатики застосування систем доповненої реальності для розробки інтерактивних навчальних матеріалів.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає в тому, що:

1. Розроблено складові факультативного курсу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності» для майбутніх учителів інформатики.
2. Результати дослідження можуть бути використані на лабораторних заняттях із дисциплін циклу професійної підготовки вчителя інформатики, що передбачають опанування комп'ютерної графіки.

### **3 Доповнена реальність: історія та напрями застосування**

Як зазначають автори [31], використання мобільних Інтернет-пристроїв розширює межі традиційного інформаційно-освітнього середовища університету до мобільно орієнтованого – відкритої багатовимірної педагогічної системи, що включає психолого-педагогічні умови, мобільні інформаційно-комунікаційні технології і засоби навчання, наукових досліджень та управління освітою, і забезпечує взаємодію, співпрацю, розвиток особистості викладачів і студентів у процесі вирішення освітніх та наукових завдань у будь-який час та у будь-якому місці. Одним із шляхів підвищення ефективності мобільно орієнтованого навчального середовища є застосування технології доповненої реальності, що надає можливість об'єднання реальних та віртуальних засобів навчання за допомогою мобільних Інтернет-пристроїв. Мобільні Інтернет-пристрої

реалізують концепцію мобільного навчання – навчання незалежно від часу та місця.

Концепція віртуальної та доповненої реальності розвивається з 1960-х рр. і вважається дуже перспективним, потужним і корисним інструментом, особливо в освіті. На відміну від віртуальної реальності, доповнена 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.

*Віртуальна реальність* – середовище, у якому за допомогою комп'ютера моделюється фізична присутність людини у певному місці реального або уявного світу.

*Доповнена реальність* – це:

- a. штучне середовище, створене шляхом об'єднання об'єктів реального світу та даних, згенерованих комп'ютером;
- b. синтетичне середовище – різновид віртуального середовища (віртуальної реальності), у якому об'єкти фізичного (реального) доповнюються (або підтримуються) комп'ютерно генерованими сенсорними даними (звук, відео, графіка, позиція);
- c. поєднання фізичних та цифрових просторів у семантично пов'язаних контекстах, для яких об'єкти асоціацій розташовані у реальному світі [8].

Піонером віртуальної реальності можна вважати Мортон Леонард Хейліга (Morton Leonard Heilig), який у 1957 році [19] сконструював Сенсораму (Sensorama Simulator [41], рис. 1) – перший багатосенсорний (мультиmodalний) пристрій з ефектом присутності (запах, вібрація, звуки, відео), а у 1960 році запатентував Телесферу (Telesphere Mask, рис. 2) – наголовний дисплей (стереоскопічне відео, стереозвук, широкий кут огляду).



Рис. 1. Сенсорам М. Л. Хейліга



Рис. 2. Телесфера М. Л. Хейліга

У статті [19] 1955 р. «Кіно майбутнього» М. Л. Хейліг наводить основні модальності, за яких відбувається сприйняття людиною об'єкту як «джерела багатьох форм енергії», провідними з яких є промені світла, молекули запаху, смакові рецептори звукові хвилі, тепло та тиск (рис. 3).

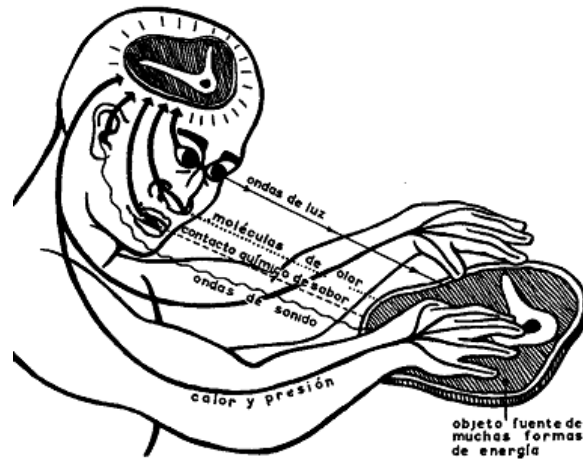


Рис. 3. Модальності сприйняття об'єкту (за [19, с. 280])

На рис. 4 подано «кінематографічне занурення майбутнього», за якого технології стають посередником у сприйнятті людиною об'єкту.

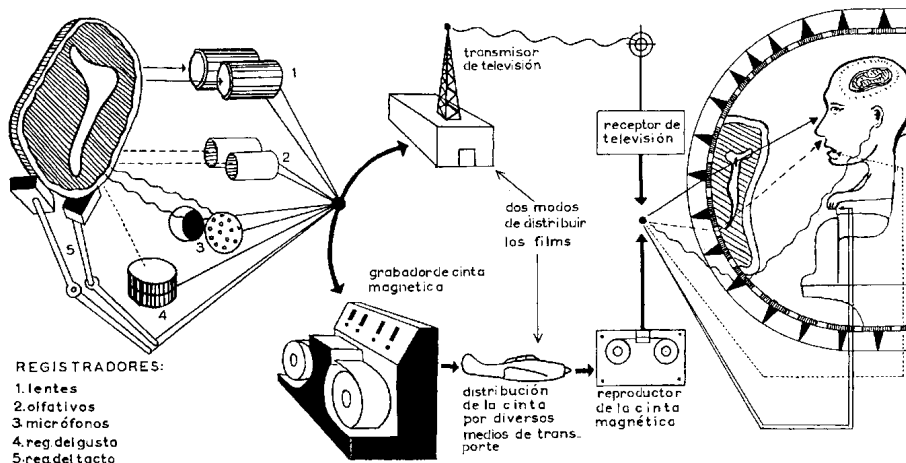
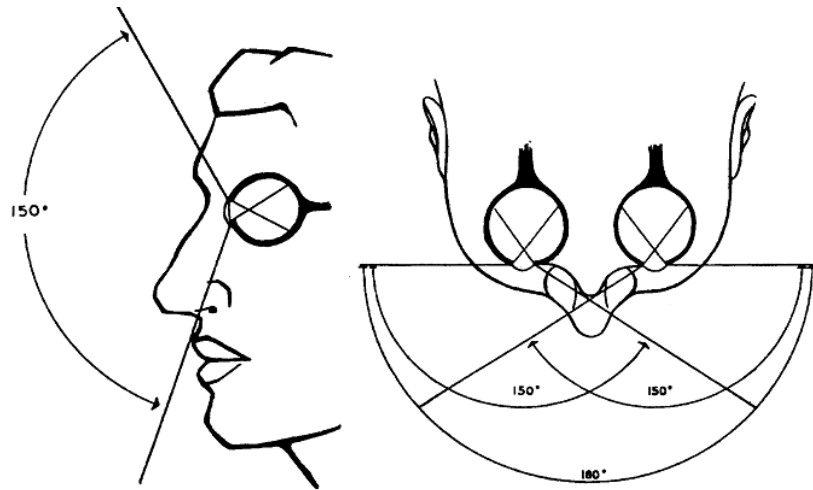


Рис. 4. Кінематографічне занурення (за [19, с. 281])

М. Л. Хейлігом було встановлено технологічні вимоги не лише для поля зору (рис. 5), а й порядок, за якого доцільно подавати різні модальності об'єкту («піраміда сприйняття», рис. 6).



ANGULO DE LA VISION VERTICAL FILMANDO EN 3-D CINEMASFERA

Рис. 5. Вертикальні (ліворуч) та горизонтальні (праворуч) кути огляду у кінематографічному зануренні М. Л. Хейліга (за [19, с. 284])

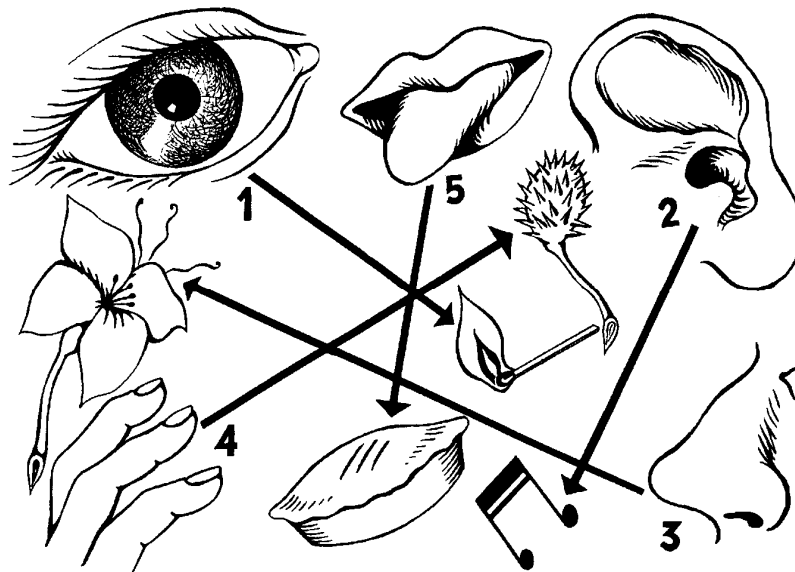
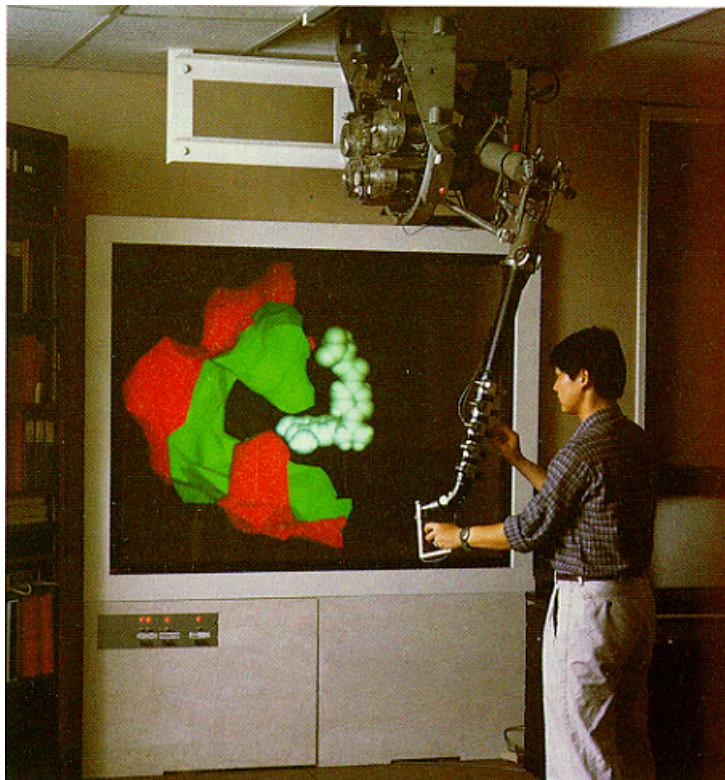


Рис. 6. «Піраміда сприйняття» – впорядкування модальностей за їх внеском у загальну перцепцію (за [19, с. 285])

Крім порядку сприйняття, М. Л. Хейлін встановив співвідношення різних каналів сприйняття: зір – 70 %, слух – 20 %, запах – 5 %, дотик – 4 %, смак – 1 %.

«Батько» сучасних інтерфейсів користувача А. Е. Сазерленд (Ivan Edward Sutherland) у піонерській роботі 1968 року вказує, що це вимагає створення

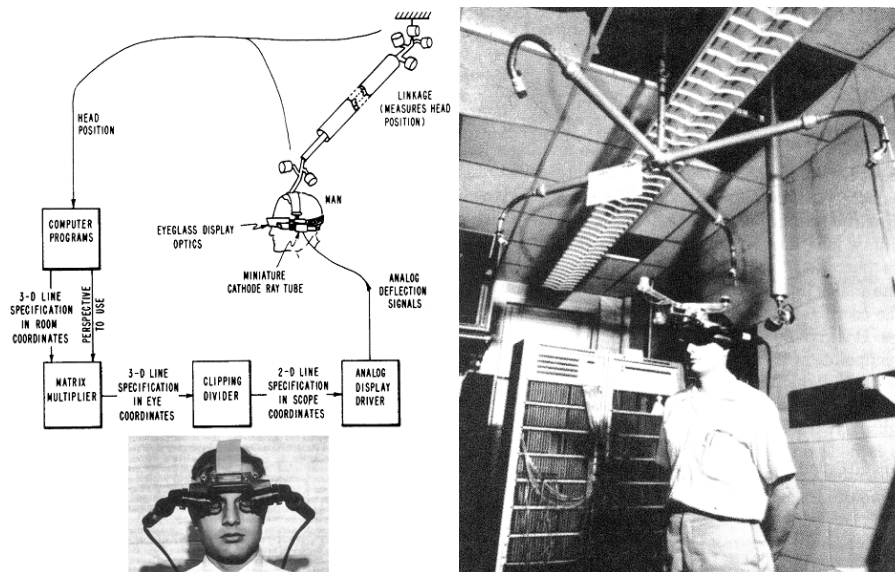
віртуальних інструментів або компонентів, керованих користувачем, для виконання певних дослідів, проведення експерименту тощо [46]. Так, у 1965 році А. Е. Сазерленд увів концепцію ідеального (остаточного) дисплею (ultimate display), з'єднаного із комп'ютером для полегшення знайомства із поняттями, які неможливо реалізувати у фізичному світі: «Ідеальним дисплеєм буде, звичайно, кімната всередині якої комп'ютер може контролювати існування матерії. Крісло, зображене в такій кімнаті буде достатньо зручними, щоб на ньому сидіти. Наручники, зображені в такій кімнаті, будуть стримувати, а куля, зображена в такій кімнаті, буде фатальною. За відповідного програмування такий дисплей міг буквально стати Країною Чудес, до якої подорожувала Аліса» [47, с. 507-508]. Опис дисплею, наведений А. Е. Сазерлендом, включає як візуальні, так й кінестетичні стимули. Останнє стимулювало Ф. П. Брукса (Frederick Phillips "Fred" Brooks Jr.) розпочати у 1967 році в Університеті Північної Кароліни проект GROPE для дослідження використання кінестетичної взаємодії як засобу, що допомагає біохімікам «відчувати» взаємодію між протеїновими молекулами (рис. 7). Свій варіант дисплею Ф. П. Брукс назвав гаптичним – таким, що надає такі, відчуття як дотик, температура, тиск тощо, опосередковані шкірою, м'язами, сухожиллями або суглобами [5, с. 177-178].



**Рис. 7.** Гаптичний дисплей GROPE-III



З 1965 року по 1968 рік А. Е. Сазерленд працював у Гарвардському університеті на посаді асоційованого професора електричної інженерії, де за допомогою свого студента Р. Ф. Спрула (Robert Fletcher "Bob" Sproull) у 1968 році створив перший варіант ідеального дисплею – шолом доповненої реальності (head-mounted display) – поєднання фізичних та цифрових просторів у семантично пов'язаних контекстах, для яких об'єкти асоціації розташовані у реальному світі. На відміну від віртуальної реальності, доповнена 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. А. Е. Сазерленд у роботі [46] вказує, що це вимагає створення віртуальних інструментів або компонентів, керованих користувачем, для виконання певних дослідів, проведення експерименту тощо. Розроблений ним шолом віртуальної та доповненої реальності має влучну назву «Дамоклів меч» (The Sword of Damocles) – через велику вагу та розміри механізм був стаціонарно змонтований над користувачем (рис. 8). Середовище доповненої реальності створювалось шляхом накладання простих комп'ютерних моделей на зображення реального світу (рис. 9).



**Рис. 8.** Загальна схема роботи та зовнішній вигляд «Дамоклового мечу» А. Е. Сазерленда та Р. Ф. Спрула [46, с. 296-298]

Інший із студентів А. Е. Сазерленда, Д. Коен (Danny Cohen), був першим, хто розробив візуальні симулятори польоту (рис. 10) та радара. Робота над авіасимулятором привела до розробки алгоритму Коена-Сазерленда для тривимірної відсікання ліній [9; 44].



**Рис. 9.** Комп'ютерна модель кубу, що доповнює оточуюче середовище (кадр, знятий через камеру «Дамоклового меча»)

У 1968 році А. Е. Сазерленд став співзасновником та віце-президентом Evans and Sutherland Computer Corporation, об'єднавшись із Д. Евансом (David Evans) для створення центру досліджень комп'ютерної графіки при Університеті Юти, де з 1968 по 1974 рік А. Е. Сазерленд працював професором комп'ютерних наук. Компанія проводила піонерську роботу в галузі апаратного забезпечення для прискорення тривимірної графіки реального часу та створення принтерних мов. Серед колишніх працівників Evans and Sutherland Computer Corporation – майбутні засновники Adobe Дж. Е. Варнок (John Edward Warnock) та Silicon Graphics Дж. Г. Кларк (James Henry Clark).

«Дослідження – це весело! Як і в командному спорті, полювання на нові знання дає мету, товариство, розмову, змагання та визнання. Пошук нових знань приносить радість новизни, краси, простоти, розуміння, а іноді – й користі. ... Ми всі повинні пам'ятати, що дослідження – це людські зусилля, яким загрожують технічні та емоційні ризики і розчарування. Скоротіть важку роботу, викориніть розчарування, надихніть, надайте підтримку та визнайте досягнення, щоб досягти лояльності та результатів» [48]. Серед його студентів того часу були: винахідник першої об'єктно-орієнтованої мови програмування Smalltalk А. К. Кей (Alan Curtis Kay), автор методу тонування поверхонь А. Гуро (Henri Gouraud), розробник перших практичних методів екранного згладжування Ф. Кроу (Franklin C. Crow), відкривач текстур та В-сплайнів Е. Е. Кетмелл (Edwin Earl Catmull), розробник першої реалістичної 3D-анімації людського обличчя Ф. А. Парк (Frederic Ira Parke).

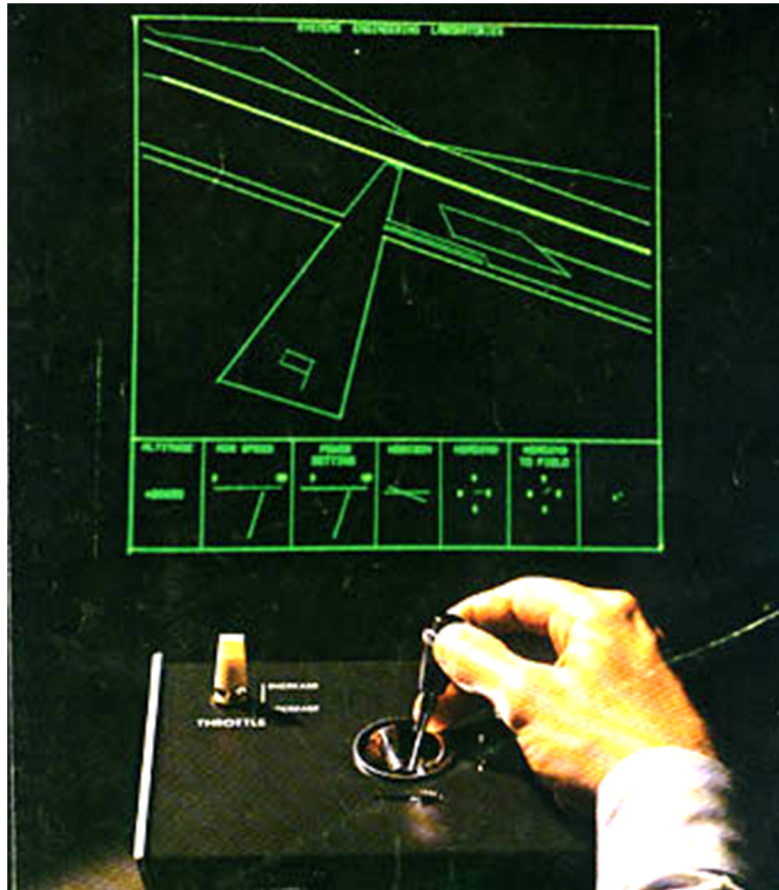
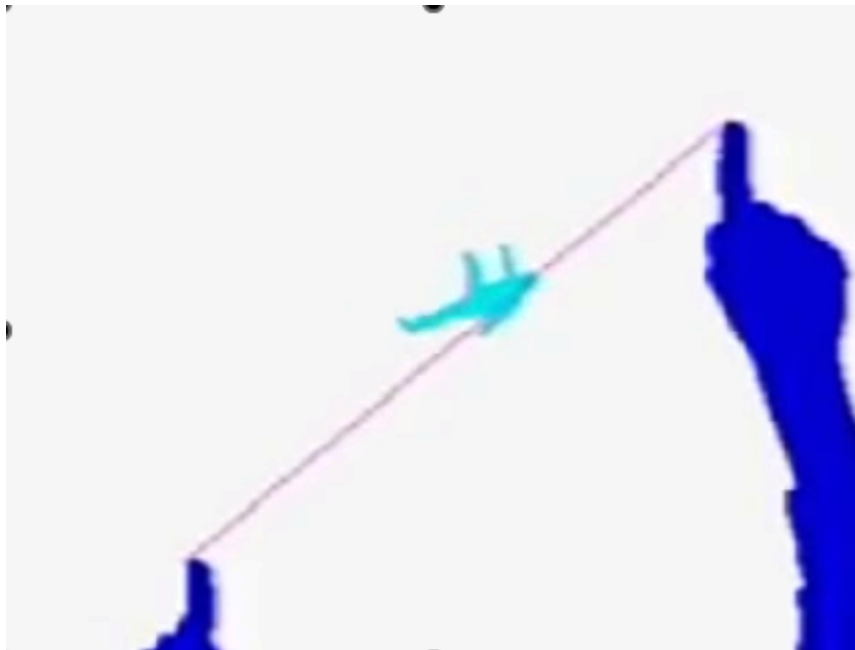


Рис. 10. Приземлення у симуляторі польоту Д. Коена (за [17])

У 1975 році М. Крюгер (Myron W. Krueger) створив «лабораторію штучної реальності» Videoplacе [25, с. 125]. Головна ідея проекту, що розроблявся з 1969 року – створення штучної реальності, яка оточувала користувачів і відповідала на їхні рухи та дії, не обтяжуючись використанням окулярів або рукавичок. Засоби: проектори, відеокамери, апаратні засоби спеціального призначення та екранні силуети користувачів для їх подання в інтерактивному середовищі. Користувачі в окремих кімнатах лабораторії могли взаємодіяти між собою за допомогою цієї технології. Переміщення користувачів, записаних на відео, представлялись силуетами у середовищі штучної реальності (рис. 11).

Стосовно використання адаптивних середовищ у навчанні М. Крюгер зазначав наступне: «Адаптивне середовище має величезний потенціал для освіти. Вся наша система освіти будується на припущенні, що тридцять дітей будуть сидіти в одній кімнаті по шість годин на день і вчитися. Це явище ніколи не спостерігалось в природі, і це є виключенням у класі, де вчителі стикаються з природним бажанням дітей бути активними. Адаптивне середовища пропонує

навчальну ситуацію, в якій заохочується фізична активність. ... Хоча приклади того, як можна використовувати середовище для викладання традиційних предметів, легко отримати, їх значення полягає не тільки в їх здатності автоматизувати традиційне навчання. Більш того, вони можуть революціонізувати те, чого ми навчаємо, а також те, як ми вчимо. Оскільки середовище може визначати цікаві відносини і змінювати їх складними способами, повинна бути можливість створювати взаємодії, які збагачують концептуальний досвід дитини. Це дало б дитині більш потужні інтелектуальні структури для організації конкретної інформації, яку він отримає пізніше. Метою було б набуття дитиною досвіду, а не годування її фактами» [26, с. 432].



**Рис. 11.** «Людина на нитці» (з проекту Videoplace)

У 1985 році С. С. Фішером (Scott S. Fisher) було реалізовано ефект телеприсутності у проекті VIEW – Virtual Environment Workstation (проект NASA із повним сенсорним зануренням). Засоби: наголовний дисплей із стереоскопічним зображеннями, 3D аудіо, система розпізнавання мовлення, dataglove – провідна рукавичка, яку користувач застосовує для захоплення віртуальних об'єктів у кіберпросторі (рис. 12). Ця багатосенсорна взаємодія з кібернетичними пристроями створила потужну ілюзію входження в оцифрований ландшафт. Використовуючи концепцію М. Л. Хейліга, С. С. Фішер зробив значний прогрес у тому, що він назвав «телеприсутністю» – проєкцією себе у віртуальний світ (рис. 13).



Рис. 12. Ранній прототип VIEW

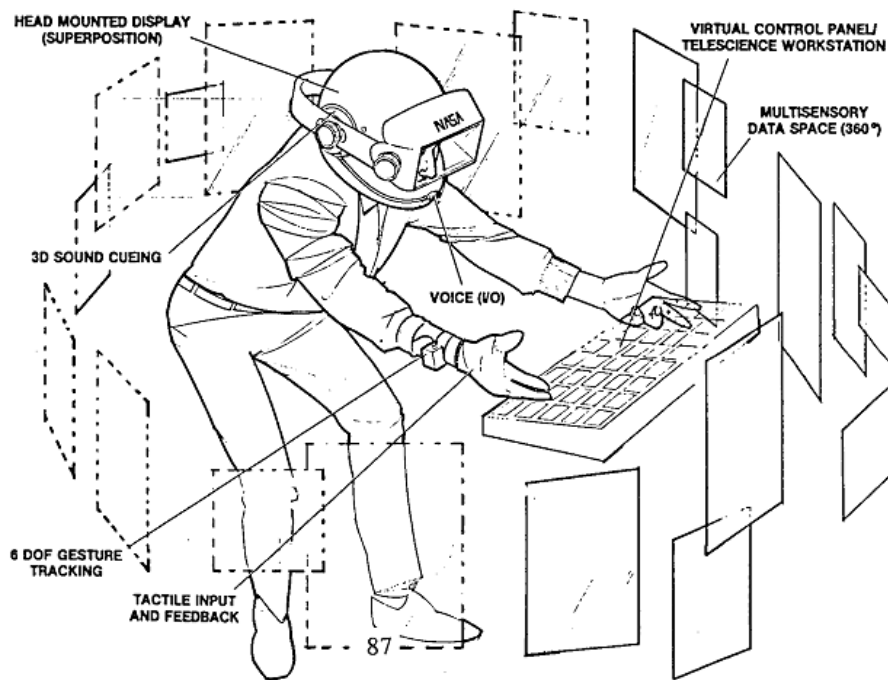


Рис. 13. Схема реалізації телеприсутності (за [15, с. 87])

Недостатня мобільність технології доповненої реальності стала основною перешкодою її широкого поширення – більше 30 років дослідження у цій галузі не виходили за межі окремих лабораторій. Теоретичним підсумком цього етапу стала робота П. Мілгрема та Ф. Кішіно: автори описують простір між реальним

та віртуальним світом (називаючи його комбінованою реальністю), у якому доповнена реальність є більш близькою до реального (немодельованого) світу, а доповнена віртуальність – до віртуального (повністю модельованого) світу [29]. Дана класифікація отримала назву таксономії Мілгрема-Кішіно (рис. 14).

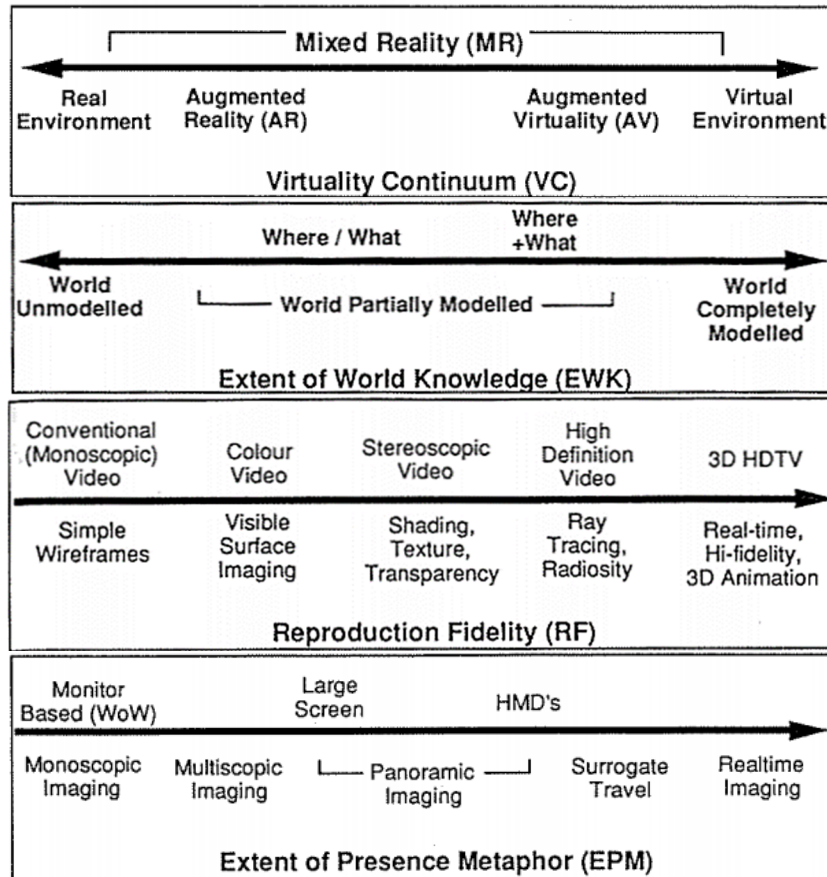


Рис. 14. Класифікація видів синтетичної реальності (за [29])

#### 4 Стратегії використання засобів доповненої реальності у професійній підготовці майбутніх фахівців

Етапним у розвитку віртуальної та доповненої реальності став ARQuake Б. Томаса (Bruce H. Thomas) [49] (2000 рік) – перший проект, що «вийшов на вулицю» [35]: з появою мобільних пристроїв у 1990-х рр. виникли технологічні передумови для використання технології доповненої реальності поза межами спеціалізованих лабораторій – у мобільному просторі Інтернет-користувача. На основі технології доповненої реальності були створені мобільні програмні

засоби, призначені для вивчення різних дисциплін (соціально-гуманітарних, фундаментальних та фахових). За допомогою таких засобів надаються відомості про навчальні об'єкти та їхні характеристики. У ряді проектів, реалізованих у Північній Америці та Європі, мобільні пристрої використовувалися для візуалізації віртуальних об'єктів доповненої реальності. Так, за допомогою програмного забезпечення для мобільних пристроїв майбутні інженери могли бачити, де розташовуються опори мостів при їх візуальному огляді під різними кутами [8; 27; 37].

Мобільні пристрої надають можливість розширити межі традиційного (аудиторного) навчання шляхом перенесення його в мобільне навчальне середовище. Відштовхнувшись від ідеї аудіогіда в музеях, що розповідає відвідувачам про найцікавіші експонати або картини, розробники створили мобільні програмні засоби, призначені для вивчення різних дисциплін, як соціально-гуманітарних (зокрема, історії), так і фундаментальних (зокрема, хімії) та фахових. Такі засоби перетворюються на своєрідного екскурсовода, надаючи відомості про найважливіші об'єкти, їх композиції, конструкції і значення. Інші засоби використовуються при вивченні ботаніки, надаючи відомості про рослини у міру знайомства з ними у середовищі природного проживання. Мобільні Інтернет-пристрої, по суті, надають буквальне значення вислову про те, що світ – це навчальний клас. У декількох проектах, реалізованих в Північній Америці і Європі, мобільні пристрої використовувалися для занурення у доповнену реальність. Спираючись на дані геолокації, програми виявляли процеси і структури, що мають місце у фізичному світі, але невидимі неозброєним оком. Наприклад, за допомогою програмного забезпечення для планшетних комп'ютерів майбутні інженери могли «бачити», де розташовуються опори мостів при їх візуальному огляді під різними кутами.

М. Т. Рестіво та іншими авторами [38] було розглянуто можливості застосування технології доповненої реальності у навчанні розділу «Електрика» курсу фізики. Дослідники вказують, що, незважаючи на широке поширення дослідницького підходу у навчанні, студенти не завжди у змозі виконати експеримент аудиторно через брак часу або матеріалів. Виконання експериментальної роботи у позанавчальний час несе додаткові ризики, особливо при роботі з небезпечними матеріалами. Використання сучасних технологій надає безпечний спосіб виконання експериментів як під керівництвом викладача, так і самостійно. Онлайн-експерименти засобами доповненої реальності (рис. 15) та сенсорних пристроїв візуалізують для користувачів реальні дослідження і спрямовані на надання студентам можливості спостерігати й описувати роботу реальних систем при зміні їхніх параметрів та часткову заміну матеріальних ресурсів та експериментальних установок об'єктами доповненої реальності.

За посиланням [https://remotelab.fe.up.pt/#ar\\_exp](https://remotelab.fe.up.pt/#ar_exp) можна знайти приклади використання доповненої реальності на лабораторних роботах із фізики. В якості маркерів пропонується використання картонних аркушів із роздрукованими на них створеними у 2D-середовищі або згенерованими простими зображенням (зокрема, вони можуть бути подібні до QR-кодів).

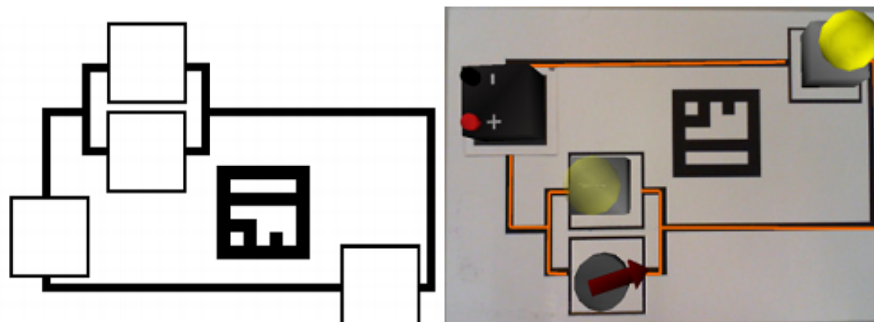


Рис. 15. Електрична схема у доповненій реальності на <http://onlinelab.fe.up.pt/>

Робота з об'єктами доповненої реальності полягає, наприклад, у тому, щоб, використовуючи маркери як компоненти конструктора, зрозуміти принципи складання схеми електричного кола, змодельовати різні ситуації, після чого зібрати коло з реальних компонентів. У системі доповненої реальності користувач може керувати лабораторною установкою шляхом зміни положення перемикача, комбінування різних елементів, зміни положення джерела струму, його полярності тощо простим розкладанням, перекладанням та обертанням маркерів. Простота складання електричних кіл та швидка зміна конфігурації схеми дозволяє відразу ж проаналізувати результати роботи у кожній конкретній конфігурації. Такі поняття, як напрям струму, напрям обертання ротора двигуна, відкритий/закритий контур, паралельне/послідовне з'єднання легко спостерігаються і перевіряються.

Будь-який засіб доповненої реальності може бути навчальним об'єктом, якщо він є керованим та сприяє взаємодії користувача з реальними об'єктами з метою вивчення їх властивостей у процесі експериментального дослідження. Якщо ці вимоги виконуються, когнітивні й емоційні переживання можуть забезпечити нове розуміння того, що студенти вивчають. Застосування засобів доповненої реальності:

- надає можливість підвищити реалістичність дослідження;
- забезпечує емоційний та пізнавальний досвід, що сприяє залученню студентів до систематичного навчання;
- надає коректні відомості про систему у процесі експериментування з нею;
- створює нові способи подання реальних об'єктів у процесі навчання [38, с. 69-70].

Т. Різов та Є. Різова [39], розглядаючи використання доповненої реальності у навчанні інженерної графіки, вводять поняття «підготовленої» та «непідготовленої» сцени (віртуального простору моделювання). Якщо програмний засіб доповненої реальності планується використовувати у «непідготовленій» сцені (як правило, поза межами аудиторії), то для визначення та відстеження її стану необхідні додаткові апаратні засоби – гіроскопи, GPS-навігатори, компаси тощо. Для аудиторного застосування доцільно



«підготувати» сцену – у цьому випадку визначення положення й відстеження здійснюється за допомогою відповідних надійних чорно-білих маркерів характерної форми (квадрат або коло), що конкретизується архітектурою програмного забезпечення для їх виявлення та відстеження.

Т. П. Коделл та Д. В. Майзел [7], характеризуючи технологію доповненої реальності, вказують на простоту відображення в ній віртуальних об'єктів у порівнянні із віртуальною реальністю. Розробка об'єкту для системи доповненої реальності виконується у такий спосіб:

- (1) у 3D-середовищі створюється візуальна модель компоненту доповненої реальності;
- (2) у 2D-середовищі створюється простий маркер, що може бути швидко розпізнаний системою доповненої реальності;
- (3) у програмному засобі для підтримки доповненої реальності маркер пов'язується із 3D-моделлю.

При розпізнаванні маркера системою доповненої реальності на екрані пристрою із програмним засобом для підтримки доповненої реальності на зображення розпізнаного маркера накладається відповідна йому 3D-модель. Цей процес реалізується за схемою, поданою на рис. 16.

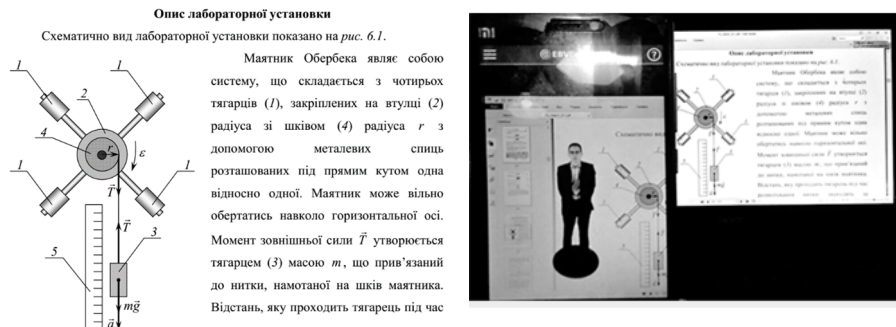


**Рис. 16.** Схема реалізації доповненої реальності (за [23])

Використання доповненої реальності на лекційних, практичних та лабораторних заняттях полегшує розуміння студентами креслень, технічної документації та інструкцій з експлуатації. Викладачі, які використовують технологію доповненої реальності на лабораторних роботах із фізики, можуть краще пояснити студентам будову внутрішніх елементів приладів та установок, що забезпечує ефективність навчання майбутніх фахівців. Наприклад, методичні рекомендації (рис. 17) та лабораторні установки (рис. 18) можуть бути середовищем для роботи з доповненою реальністю. Лабораторні стенди або вимірювальні прилади використовують у якості маркерів, зокрема для доповнення їх інструкціями з використання. Доповнена реальність дає сучасне вирішення завдання заохочення студентів до дослідницької діяльності та мотивує студентів до експериментування.

Х. Мартін-Гутьєррес, Е. Гуінтерс та Д. Перес-Лопес [27] зазначають, що доповнена реальність може бути використана для спільної роботи студентів. Особливої актуальності це набуває у процесі виконання лабораторних робіт із потенційно небезпечним обладнанням, що вимагає постійного контролю

діяльності студентів. Реальним лабораторним роботам передують роботи у доповненій реальності шляхом розміщення маркерів на лабораторних установках. Використовуючи маркери, студенти зможуть за допомогою мобільного пристрою візуалізувати інструкції або навчальні матеріали, необхідні для правильного використання та налаштування обладнання.



**Рис. 17.** Використання доповненої реальності у методичних рекомендаціях до лабораторних робіт з фізики (за [23])



**Рис. 18.** Використання доповненої реальності на лабораторних роботах з фізики (за [23])

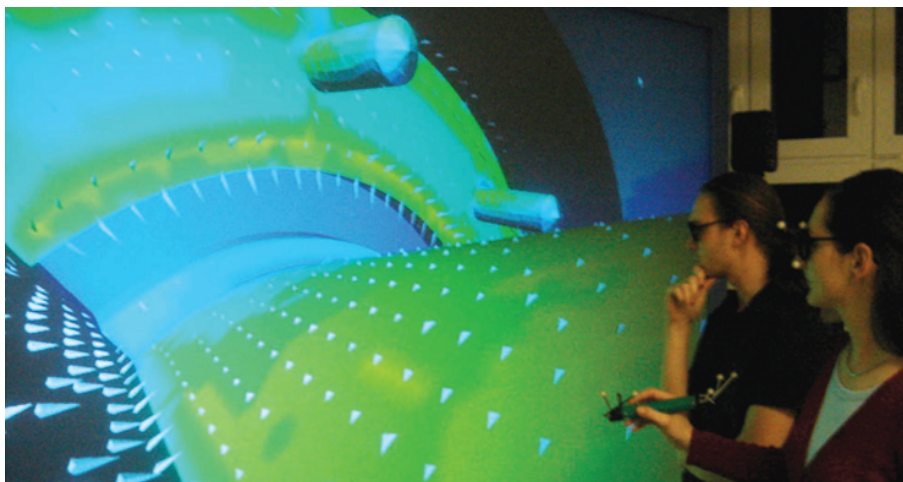
Ж.-М. Сьотат, О. Хьюг, Н. Гуаєль [8, с. 32], розглядаючи застосування доповненої реальності для активізації навчання, виділяють основні напрями її використання:

- середовища моделювання, у яких поєднуються можливості викладання, навчання, комунікації з ігровими елементами;
- підтримка наукових досліджень та експериментального підходу;
- перевірка моделі на адекватність;
- набуття технічних навичок.

Д. Вейдліх (Dieter Weidlich), С. Шерер (Sandra Scherer) та М. Вабнер (Markus Wabner) у [51] описують досвід покращення процесу розробки деталей машин з

використанням систем віртуальної та доповненої реальності Хемницького технічного університету, в якому розроблено нові методи візуалізації для вивчення результату моделювання методом скінченних елементів шляхом занурення у середовище через мобільні пристрої доповненої реальності. Основною метою розробки програмного забезпечення була візуалізація напрямку та градієнту напружень 3D-гліфами. Метод скінченних елементів є чисельним методом інженерного аналізу, що використовується для багатьох типів задач, таких як визначення навантажень та зрушень у механічних об'єктах, або теплопередачу та потокової динаміки.

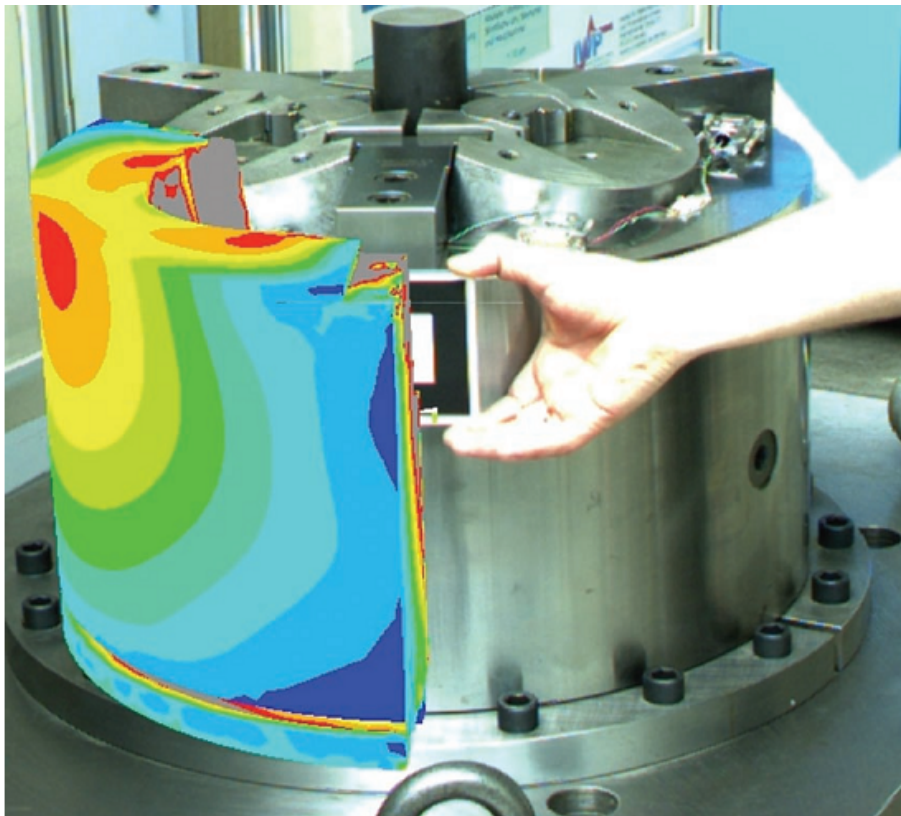
Визначення механічних навантажень є основою для аналізу поведінки сил у галузі механічної інженерії. Гліф є способом графічного кодування числової інформації. Гліф є графічним елементом, що в змозі передавати велику кількість атрибутів даних шляхом їх відображення (форму, колір, орієнтацію, позицію тощо). Використання гліфів надає можливість відображення багатовимірних тензорів, що відображають власні вектори та значення тензорів, використовуючи форму, розмір, орієнтацію та характеристику поверхні геометричних примітивів, таких як куби та еліпси (рис. 19).



**Рис. 19.** Візуалізація результатів скінченно-елементного аналізу: вершини гліфів, спрямовані назовні, відображають навантаження розтягування, а гліфи, спрямовані усередину – навантаження стиску

Для представлення багатовимірних даних можуть бути використані різні геометричні примітиви, такі як кубоїди, тетраедри, сфери та лінії. Це потребує попереднього вивчення відповідності обраного гліфу до даних, що відображаються. Перевірка показала, що тетраедр добре підходить для візуалізації напрямку та градієнту навантажень, тому що вершина тетраедру вказує точний напрям. Окрім напрямку навантаження, 3D-гліфи можуть виявляти характер навантаження (стиск або розтягування).

Розроблене авторами [51] програмне забезпечення надає можливість переключатися між результатами структурного та термічного аналізу та порівнювати їх з реальним фізичним об'єктом. На рис. 20 показано накладання скінченно-елементної моделі на реальну систему: чим більш «гарячим» є колір, тим більші навантаження. Чорно-білий маркер в руці користувача необхідний для позиціонування результатів аналізу.



**Рис. 20.** Відображення результатів моделювання на реальний об'єкт

М. Фіорентіно (Michele Fiorentino), Дж. Монно (Giuseppe Monno) та А. Е. Ува (Antonio E. Uva) у статті [14] виділяють 6 основних способів використання доповненої реальності в інженерній діяльності, для кожного з яких окреслюються такі аспекти, як апаратна конфігурація, спосіб доповнення, рівень інтерактивності TUI/GUI (TUI – Tangible User Interface, матеріальний інтерфейс користувача; GUI – Graphical User Interface, графічний інтерфейс користувача), область застосування, підтримка фізичної співпраці та віддалене співробітництво.

### *1. Доповнений користувач*

Користувач носить окуляри доповненої реальності, підключені до носимого комп'ютеру. Проглядні дисплеї дозволяють користувачеві бути в курсі справжнього промислового середовища. Ця конфігурація забезпечує максимальну мобільність користувача, дозволяючи йому працювати у великій робочій області з вільними руками. База інженерних даних доступна через бездротову мережу. Взаємодія досягається переважно через TUI без графічного інтерфейсу або з обмеженим GUI. Передбачувані застосування для цієї конфігурації: перевірка, навчання та ін. Недоліки можуть включати роздільну здатність дисплея, обмежену область перегляду та надійність оптичного відстежування у агресивному виробничому середовищі (наприклад, пил, електричні шуми, погане освітлення тощо).

У іншій конфігурації користувач тримає кишенькову (подібну до ліхтаря) камеру та носимий комп'ютер, підключений до мережі. Користувач може вільно переміщатися в промисловому середовищі та проводити телеконференції з іншими (віддаленими) користувачами. Різниця в порівнянні з попередньою конфігурацією – це мобільність точки зору. Користувач може перемістити камеру в промислове середовище, досягаючи потенційно будь-якого місця у межах бездротового покриття. Локальне відстеження забезпечується маркерами (в майбутньому можуть бути активні маркери RFID) і транслюється у системи. Цей спосіб використання особливо важливий для технічного обслуговування, де віддалені спеціалісти можуть керувати та допомагати користувачеві. Користувач завантажує свою індивідуальну візуалізацію моделі та передає її дистанційно. Головною перевагою цієї конфігурації є максимальна мобільність точки зору. Це також може призвести до нестабільної точки зору через той факт, що користувач повинен тримати камеру. Взаємодія TUI та графічного інтерфейсу також досить обмежена.

### *2. Мобільне вікно*

Користувач тримає планшетний ПК із камерою на задній стороні. Планшетні дисплеї дозволяють користувачеві повністю усвідомлювати справжнє виробниче середовище. Ця конфігурація дозволяє користувачеві забезпечити хорошу мобільність, дозволяючи йому працювати у великій робочій області, але вимагає, щоб принаймні одна рука тримала планшет. База інженерних даних доступна через бездротову мережу. Взаємодія досягається головним чином за допомогою графічного інтерфейсу з планшетом. Передбачувані програми для цього способу: перегляд проекту, перевірка тощо. Недоліки можуть включати вагу планшетного пристрою та обмеження, пов'язані з використанням однієї руки.

### *3. Доповнений настільний комп'ютер*

Користувач працює на настільній робочій станції з камерою, що вказує на вільну ділянку на столі, яка буде доповненою робочою поверхнею, яка обмежена робочим столом користувача, а взаємодія моделі досягається шляхом переміщення TUI (довповнені креслення) та традиційного графічного інтерфейсу

настільного комп'ютера за допомогою миші та клавіатури. За традиційного використання ТUI – це лише підтримка звичайного графічного інтерфейсу користувача, тому даний спосіб пропонується для всіх задач опрацювання інженерних даних, які передбачають активне використання клавіатури для введення числових чи текстових даних: наприклад, проектування деталей, інжиніринг, чисельний аналіз тощо. Головною перевагою цього способу є схожість з традиційним робочим середовищем, що надає легкий доступ навіть для пересічного користувача, для якого матеріальний інтерфейс до 3D-моделей є простішим та інтуїтивнішим. Обмежувальним фактором є те, що даний спосіб повинен бути реалізований у офісному середовищі.

#### *4. Доповнена майстерня*

Цей спосіб подібний до попереднього щодо налаштування апаратного забезпечення, але призначений для виробничого середовища, а не офісного приміщення. Користувач знаходиться на робочому місці на виробничій лінії, де немає клавіатури чи миші. Користувач може послуговуватися сенсорним екраном на промисловому моніторі та матеріальними доповненими кресленням. Також можуть бути використані промислові пульти. Основними перевагами є: обидва руки користувача є вільними, є можливість відображення високоякісного рендерінгу 3D-моделі та інженерних даних, зручне робоче середовище, подібне до традиційного. Ідеальним застосуванням може бути перевірка якості чи керування збірка.

#### *5. Доповнений стіл для спільної роботи*

Цей спосіб найкращим чином підтримує спільну робочу область. Він складається зі столу, що виконує функцію спільної розширеної зони та великого екрана. Екран може бути вертикальним або горизонтальним, і в остаточному підсумку мати стереографічне або голографічне відображення. Всі користувачі можуть отримувати доступ до доповненої спільної області зі своїми маркерами, і вони можуть анотувати модель, використовуючи власний комп'ютер для точного графічного введення. Віддалені користувачі можуть приєднатися до групи та працювати із засобами для віртуальних семінарів. Система забезпечить синхронізацію основних цифрових даних, включаючи анотації, чат та історію. Цей спосіб застосовується на етапі маркетинг та перегляду дизайну: спільне робоче середовище може містити віртуальні моделі САПР, реальні попередні виробничі макети, онлайніві інженерні дані та результати моделювання для спільного обговорення. Головними перевагами цього способу є висока підтримка співпраці, співіснування реальних та віртуальних продуктів та соціальний зв'язок реальних зустрічей.

#### *6. Доповнена презентація*

Цей спосіб використовує доповідач, який має намір представити певне рішення великій аудиторії. Основним пристроєм візуалізації є великий екран. Управління даними здійснюється, головним чином, за допомогою ТUI у вигляді цифрового

креслення або макета, розміщеного перед доповідачем. Присутні можуть отримати доступ до тих самих цифрових даних з персональних пристроїв візуалізації та можуть додавати анотації, які оновлюються в режимі реального часу для всіх учасників дискусії.

Характеристики кожного способу, запропоновані авторами [14], узагальнені в таблиці 1.

**Таблиця 1.** Основні способи використання доповненої реальності в інженерній діяльності

Спосіб	Точка зору	Рівень TUI	Рівень GUI	Рівень співпраці	Підтримка віддаленої спільної роботи
Доповнений користувач	мобільна	високий	низький	низький	середній
Мобільне вікно	мобільна	низький	високий	середній	середній
Доповнений настільний комп'ютер	фіксована	середній	високий	низький	високий
Доповнена майстерня	фіксована	середній	низький	низький	низький
Доповнений стіл для спільної роботи	фіксована	високий	середній	високий	середній
Доповнена презентація	фіксована	високий	низький	середній	середній

У процесі набуття теоретичних знань з конструкції електричних машин доцільним є використання мобільних засобів доповненої реальності, які пропонує SIKE Software. Зокрема, їх навчальна система-тренажер з технологією доповненої реальності надає можливість сформувати комплекс знань про будову електродвигунів різних типів та набути навички ідентифікації складових деталей електродвигунів та безпечного, правильного і швидкого порядку збирання і розбирання електродвигунів (рис. 21).



**Рис. 21.** Навчальна система-тренажер SIKE Software

У підготовці бакалаврів електромеханіки система може бути застосована при проведенні практичних занять, виконанні лабораторних та самостійних робіт, проведенні іспитів з дисципліни тощо, а у процесі виробничого навчання – для теоретичної інтерактивної підготовки працівників, що беруть участь в процесах ремонту, монтажу, демонтажу промислового електрообладнання. Програма надає доступ до 3D-моделей з високим ступенем точності, що повторюють будову реального обладнання. Кожна деталь конструкції має назву та опис, а порядок технологічних операцій відповідає реальному процесу і розроблений спільно з діючими експертами провідних промислових підприємств.

Дана система у якості маркера використовує QR-код, розміщений на спеціальній картці. Інший підхід – використання маркеру сцени, що містить реальний об'єкт, або універсального маркеру.

## 5 Програмне забезпечення для проектування засобів доповненої реальності навчального призначення

Для розробки засобів доповненої реальності існує багато засобів, найбільш популярними з яких станом на 2018 рік згідно [40] є наступні.

**Wikitude SDK** [52] є основним продуктом однойменної компанії з 2008 року. SDK включає розпізнавання та відстеження зображень, рендеринг 3D-моделей, відео-накладання, геоінформаційні послуги [33]. У 2017 році Wikitude запустив технологію SLAM (Simultaneous Localization And Mapping – одночасна локалізація та картографування), яка дозволяє розпізнавати і відстежувати об'єкти, у тому числі без маркеру. Для доповненої реальності на основі місцезнаходження, положення об'єктів на екрані мобільного пристрою розраховується за допомогою геопозиції користувача (за допомогою GPS або Wi-Fi), напрямку, у якому користувач рухається (за допомогою компаса) та швидкості (за допомогою акселерометра).

Крос-платформенна SDK доступна для операційних систем Android, iOS та Windows, оптимізована також для кількох окулярів доповненої реальності (Epson Moverio, Vuzix M100, ODG R-7).

Підтримувані засоби розробки: Native API, JavaScript API, Unity3D, Xamarin, Titanium, Cordova.

Версія SDK для використання у некомерційних цілях накладає на зображення водяний знак – в усьому іншому вона еквівалентна комерційній версії вартістю 1990 євро.

**ARKit** [3] – відносно новий (з 2017 року) засіб від Apple. SDK Apple використовує апаратну програму iPhone / iPad, датчики руху, камеру для активації засобів доповненої реальності.

Підтримувані платформи: iOS 11/12.

ARKit підтримує розпізнавання двовимірних зображень (тригери доповненої реальності з плакатами, знаками, зображеннями) та двовимірне відстеження зображень, тобто можливість убудовувати об'єкти доповненої реальності. SDK також дозволяє розробляти програми, які розпізнають просторові та 3D-об'єкти,



а також розмішувати віртуальні об'єкти у реальному просторі. Поточна версія ARKit 2 надає можливість розробляти багатокористувацькі ігри з доповненою реальністю.

ARKit вільно поширюється для некомерційного використання.

**ARCore** [2] – новий (березень 2018 року) засіб від Google, своєрідна відповідь на ARKit.

Підтримувані платформи: Android 7.0 та вище, iOS 11 та вище.

ARCore поставляється з трьома основними можливості об'єднання віртуальних і реальних світів:

- відстеження руху – для відстеження положення телефону щодо оточення;
- «розуміння навколишнього середовища» надає можливість телефону визначати розмір та розташування горизонтальних поверхонь;
- оцінка освітленості надає можливість телефону оцінити реальні умови освітлення.

ARCore вільно поширюється.

**Vuforia** [50] – одна з найпопулярніших платформ для розробки доповненої реальності. SDK реалізує наступні функціональні можливості: розпізнавання різних типів візуальних об'єктів (коробка, циліндр, площина), розпізнавання тексту і оточення, VuMark (комбінація зображення і QR-коду).

За допомогою Vuforia Object Scanner можна сканувати і створювати об'єкти-маркери. Процес розпізнавання може бути реалізований з використанням бази даних (локальне або хмарне сховище).

Можливість реєстрації зображень дозволяє розробникам розташовувати і орієнтувати віртуальні об'єкти, такі, як 3D-моделі і медіаконтент, у зв'язці з реальними образами при перегляді через камери мобільних пристроїв. Віртуальний об'єкт орієнтується на реальному образі так, щоб точка зору спостерігача співвідносилась до них однаковою чиною для досягнення головного ефекту – відчуття, що віртуальний об'єкт є частиною реального світу.

Vuforia підтримує різні 2D- і 3D-типи маркерів, включаючи безмаркерні Image Target, тривимірні мішені Multi-Target, а також реперні маркери, які виділяють в сцені об'єкти для їх розпізнавання. Додаткові функції включають виявлення перешкод з використанням так званих «Віртуальних кнопок» («Virtual Buttons»), детектування цілей і можливість програмно створювати і реконфігурувати цілі в рамках самоодифікованого коду.

Підтримувані платформи: Android, iOS, UWP і Unity Editor.

Vuforia надає інтерфейси програмування мовами C++, Java, Objective-C і .NET через інтеграцію з ігровим рушієм Unity. Програми, створені на платформі Vuforia, сумісні з широким спектром пристроїв, включаючи iPhone, iPad, смартфони та планшети на Android з версії 2.2 і процесором, починаючи з архітектур ARM v6.

Всі плагіни і функціональні можливості платформи безкоштовні, але включають водяні знаки Vuforia. Обмеження стосуються тільки кількості об'єктів VuMark і хмарного розпізнавання. Платні версії без водяних знаків коштують від 99 доларів на місяць.

**Maxst** [22] пропонує два різних інструменти для розпізнавання зображень та середовищ. Створення бази даних здійснюється онлайн через диспетчер відстеження (Tracking Manager). Для сканування 3D-об'єктів використовуються програми для Android і iOS. У редакторі Unity Maxst працює лише з 32-розрядною версією.

Maxst вільно поширюється для некомерційного використання. Вільна версія відрізняється від платної тільки водяним знаком.

Підтримувані платформи: Android, iOS, Windows, Mac OS.

**DeepAR** [11] складається з DeepAR SDK та DeepAR Studio для редагування контенту з 4 типами ефектів: жорсткі об'єкти, деформовані маски, маски морфинга і ефекти постобробки. Розробники можуть використовувати цей SDK для створення високоякісних лицьових лінз, аналогічних тим, які надають Snapchat та Facebook, а також для різних масок і ефектів для мобільних пристроїв. Цей SDK здатен швидко розпізнавати обличчя в режимі реального часу на основі моделей даних і методів машинного навчання (близько 70 лицьових точок на швидкості 60 кадрів в секунду).

Підтримувані платформи: ПК, Android, iOS, Windows, WebGL.

**EasyAR** [12], напевно, посідає друге місце після Vuforia SDK за функціональними можливостями. EasyAR підтримує розпізнавання зображень, розпізнавання 3D-об'єктів, сприйняття середовища, хмарне розпізнавання, «розумні окуляри», записи на екрані та ін. Оскільки бібліотека абсолютно вільна, для початку роботи з EasyAR, потрібно лише зареєструвати обліковий запис і створити ключ плагіна вашого пакету.

Підтримувані платформи: Android, iOS, UWP, Windows, Mac і Unity Editor.

Засоби розробки: C API, C++11 API, традиційний C++ API, Java API для Android, Swift API для iOS, Objective-C API для iOS.

**ARToolKit** [4] – найстаріший (з 1999 року) SDK для розробки засобів доповненої реальності, що реалізує відстеження позиції та орієнтації однієї або декількох камер, відстеження простих чорних квадратних маркерів, відстеження планарних зображень (маркерів у вигляді зображень), калібрування камери, оптичне стерео калібрування, генерацію маркерів, плагіни для Unity і OpenSceneGraph.

Підтримувані платформи: Android, iOS, Linux, Windows, Mac OS, «розумні окуляри».

ARtoolKit поширюється вільно.

**Xzing** [21] надає SDK, зокрема, для відстеження обличчя у реальному часі через плагін Unity. Xzing включає в себе три основних SDK:

- Augmented Vision – для комп'ютерного зору, розпізнавання і відстеження маркерів;
- Augmented Face – для розпізнавання людського обличчя у відео;
- Magic Face – для нежорсткого відстеження особи, рефакторінга від Augmented Face і поліпшення за допомогою інших функцій, таких як заміна особи, виявлення/відстеження особи та ін.

Підтримувані платформи: Android, iOS, Windows.

Усі SDK Xzing безкоштовні для некомерційного використання.

Серед інших вільно поширюваних засобів розробки доповненої реальності слід відзначити A-Frame, ApertusVR, ArUco, JavaCV, ATOMIC Authoring Tool, Goblin XNA, GRATF, mixare, PTAM, DroidAR, GeoAR, BeyondAR, Mangan, ARma, серед комерційних – 8th Wall, Layar SDK, Catchoom CraftAR AR SDK, Scangine [20].

Великий вибір засобів для проектування засобів доповненої реальності надає можливість вільно комбінувати їх, підключаючи у якості модулів до Unity – багатоплатформенного інструменту для розробки дво- та тривимірних програм, що працює на операційних системах Windows, macOS X та Linux. Створені за допомогою Unity програми працюють під управлінням Microsoft Windows, macOS, Linux, Xbox One, Wii, Wii U, PlayStation 3, PlayStation 4, PlayStation Vita, iOS, Android, WebGL, Tizen, Facebook, TvOS та Nintendo Switch.

Аналізуючи результати дослідно-експериментальної роботи з добору засобів навчання доповненої реальності студентів ЗВО, І. Сурал (Irfan Sural) доходить висновку про доцільність спільного використання Vuforia та Unity. На рис. 22 наведено запропоновану автором схему проектування систем із доповненою реальністю навчального призначення, ключовими компонентами якої є 3D-моделі або відео, посилання на які можуть бути асоційовані з маркерами, QR-коди, SDK Vuforia, інтегрована з Unity3D. Результуючі розробки пропонуються до використання на різних мобільних платформах, насамперед – під управлінням ОС Android [45, с. 569-570].

## **6 Зміст факультативного курсу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності» для майбутніх учителів інформатики**

Відповідно до обраних програмних засобів, мінімальні технологічні вимоги до апаратного забезпечення факультативу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності» наступні:

- процесор: Intel Core i7-3770 @ 3.4 GHz або AMD FX-8350 @ 4.0 GHz чи краще;
- оперативна пам'ять: 8 Гб;
- відеокарта: NVIDIA GeForce GTX 780 або AMD Radeon R9 290X (3 Гб відеопам'яті);
- підтримка графіки: DirectX 11 (під управлінням Windows 10);
- операційна система: Windows 7 x64 та вище або macOS 10.11 та вище;
- середовище розробки: Unity 2017.2 та вище.

Зміст факультативного курсу комбінуватимемо із двох основних складових: масового відкритого дистанційного курсу із розробки засобів віртуальної реальності (рис. 23) [10] та посібника із проектування засобів доповненої реальності в Unity 2018 [16]. Відповідно, до курсу будуть входити два змістових модулі:

*Змістовий модуль 1. Розробка засобів віртуальної реальності*

- Тема 1.1. Віртуальна реальність та ігрові рушії
- Тема 1.2. Фізичні взаємодії та камера
- Тема 1.3. 3D-інтерфейс користувача та позиціонування
- Тема 1.4. 3D-взаємодія з користувачем
- Тема 1.5. Навігація та введення у віртуальній реальності

- Змістовий модуль 2. Розробка засобів доповненої реальності*
- Тема 2.1. Налаштування засобів доповненої реальності в Unity 3D
  - Тема 2.2. Розробка проекту з геопозиціонуванням
  - Тема 2.3. Розробка навчальних матеріалів за допомогою Vuforia
  - Тема 2.4. Розробка для перспективних пристроїв

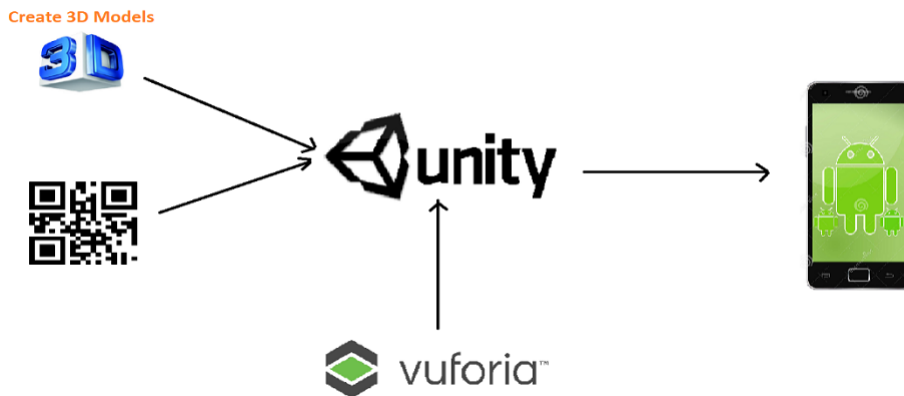


Рис. 22. Схема проектування систем із доповненою реальністю навчального призначення (за [45, с. 569])



### Creating Virtual Reality (VR) Apps

Learn the tools and techniques to develop your own professional VR app in Unity 3D.

[UCSanDiego](#)

View Course

This course is part of a  
**Professional Certificate Program**

#### About this course

Build professional VR apps using Unity 3D, a powerful cross-platform 3D engine that provides a user-friendly development environment. In this course, part of the Virtual Reality Professional Certificate program, you will learn how to build a VR engine from the ground up, so you fully understand the entire rendering pipeline from 3D model to pixels in the VR display. We will also cover motion prediction, 3D stereo, lens distortion, time warp and other optimizations for a fluid, realistic VR experience.

You will also learn how to implement the most important VR interaction concepts such as selection, manipulation, travel, wayfinding, menus, and text input in Unity.

🕒 Length: 6 weeks

👤 Effort: 5 to 7 hours per week

💰 Price: FREE  
Add a Verified Certificate for \$99 USD

🏛️ Institution: UCSanDiegoX

📖 Subject: Computer Science

Рис. 23. Головна сторінка курсу [10]

З метою адаптації змісту [10] для неангломовних студентів було виконано опрацювання та переклад запису відеоуроків з метою створення відповідних лабораторних робіт, розміщених у системі управління електронними навчальними курсами Криворізького державного педагогічного університету.

## 7 Висновки

У процесі дослідження проблеми професійної підготовки майбутніх учителів інформатики до використання технологій доповненої реальності в освіті розв'язані всі поставлені завдання та отримані результати, узагальнення яких надає можливість зробити наступні висновки:

1. Проведений історико-технологічний аналіз досвіду застосування засобів доповненої реальності для розробки інтерактивних навчальних матеріалів показав, що, саме концепція доповненої реальності спонукала до появи та розвитку нових інтерфейсів доступу людини до комп'ютерних систем. Водночас, незважаючи на значний (більше 60 років) період розвитку теорії та практики розробки таких систем, лише в останні 20 років з'явилися технологічні умови для їх широкого запровадження через масове поширення мобільних Інтернет-пристроїв. Виокремлені у 1970-1980-ті рр. методичні умови застосування систем віртуальної реальності в освіті, апробовані в лабораторних умовах, сьогодні також потребують корекції в умовах масового технологізованого педагогічного процесу.
2. Для розробки засобів доповненої реальності існує багато SDK, провідними з яких є Wikitude, ARKit, ARCore, Vuforia, Maxst, DeepAR, EasyAR, ARtoolKit, Xzing, безкоштовні для некомерційного використання. Великий вибір засобів для проектування засобів доповненої реальності надає можливість вільно комбінувати їх, підключаючи у якості модулів до Unity – багатоплатформенного інструменту для розробки дво- та тривимірних програм. Відповідно, технологічні вимоги для розробки програмних засобів віртуальної та доповненої реальності визначаються обраними SDK та IDE.
3. У процесі підготовки майбутніх учителів інформатики до застосування систем доповненої реальності для розробки інтерактивних навчальних матеріалів доцільно застосовувати інтегрований підхід, за якого проектування із застосуванням стандартних об'єктів виконується у середовищі візуального проектування, а надання стандартним об'єктам нових властивостей та створення нових виконується у пов'язаному із ним середовищем об'єктно-орієнтованого програмування. На сучасному етапі розвитку ІКТ доцільним є спільне використання середовища Unity для візуального проектування, Visual Studio чи подібного середовища програмування, а також платформ віртуальної (Google VR чи подібного) та доповненої (Vuforia чи подібного) реальності. Реалізацію інтегрованого підходу виконано у межах факультативного курсу «Розробка програмних засобів віртуальної та доповненої реальності» для майбутніх учителів інформатики, до складу якого входять два змістових

модулі: «Розробка засобів віртуальної реальності» та «Розробка засобів доповненої реальності».

Проведене дослідження може бути продовжене в напрямі розробки навчально-методичних комплексів із проектування предметно-орієнтованих систем віртуальної та доповненої реальності як складової професійної підготовки.

## References

1. Akcayir, M., Akcayir, G.: Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*. 20, 1–11 (2017)
2. ARCore - Google Developer | ARCore | Google Developers. <https://developers.google.com/ar> (2018). Accessed 25 Oct 2018
3. ARKit - Apple Developer. <https://developer.apple.com/arkit> (2018). Accessed 25 Oct 2018
4. ARToolKit Home Page. <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit> (2007). Accessed 13 Sep 2018
5. Brooks, F.P.Jr., Ouh-Young, M., Battert, J.J., Kilpatrick, P.J.: Project GROPE – Haptic Displays for Scientific Visualization [Electronic resource]. *Computer Graphics*. **24**(4), 177–185 (1990)
6. Buzko, V.L., Bonk, A.V., Tron, V.V.: Implementation of Gamification and Elements of Augmented Reality During the Binary Lessons in a Secondary School. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018)*, Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2257, pp. 53–60. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper06.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
7. Caudell, T.P., Mizell, D.W.: Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: Nunamaker, J.F., Sprague, R.H. (eds.) *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. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos (1992)
8. Cieutat, J.-M., Hugues, O., Ghouaiel, N.: 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. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00739730/document> (2012). Accessed 25 Nov 2017
9. Cohen, D.: Incremental Methods for Computer Graphics. PhD Thesis, Harvard University. Harvard Report, ESD-TR-69-193. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/694550.pdf> (1969). Accessed 5 Apr 2017
10. Creating Virtual Reality (VR) Apps. <https://www.edx.org/course/creating-virtual-reality-vr-apps> (2018). Accessed 25 Oct 2018
11. DeepAR ~ Snapchat Face Filters and Lenses Augmented Reality SDK. <https://deepar.ai> (2018). Accessed 21 Mar 2018
12. EasyAR-Best engine for developing Augmented Reality. <https://www.easyar.com> (2018). Accessed 21 Nov 2018
13. Ewalt, D.M.: *Defying Reality: The Inside Story of the Virtual Reality Revolution*. Penguin Random House, New York (2018)
14. Fiorentino, M., Monno, G., Uva, A.E.: *Tangible Interfaces for Augmented Engineering Data*

- Management. In: Maad, S. (ed.) *Augmented Reality*, pp. 113–128. IntechOpen. <https://cdn.intechopen.com/pdfs/6762.pdf> (2010). Accessed 1 Oct 2018
15. Fisher, S.S.: *Virtual Interface Environment*. In: *Space Station Human Factors Research Review*, December 3 – December 6, 1985. NASA Ames Research Center, Moffett Field California, pp. 85-87. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19880014769.pdf> (1988). Accessed 6 May 2018
  16. Glover, J.: *Unity 2018 Augmented Reality Projects: Build four immersive and fun AR applications using ARKit, ARCore, and Vuforia*. Packt Publishing, Birmingham (2018)
  17. Greatorex, F.S., Cohen, D.: *Producing Dynamic Perspective Views for Vehicle Simulation*. *Data Processing Magazine*. April, 26–31 (1968)
  18. Haq, H.: In South Korea, all textbooks will be e-books by 2015. *The Christian Science Monitor*. <https://www.csmonitor.com/Books/chapter-and-verse/2011/0706/In-South-Korea-all-textbooks-will-be-e-books-by-2015> (2011). Accessed 17 Sep 2018
  19. Heilig, M.L.: *El Cine del Futuro: The Cinema of the Future*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. **1**(3), 279–294 (1992). doi:10.1162/pres.1992.1.3.279
  20. Herpich, F., Guarese, R.L.M., Tarouco, L.M.R.: *A Comparative Analysis of Augmented Reality Frameworks Aimed at the Development of Educational Applications*. *Creative Education*. **8**(9), 1433–1451 (2017). doi:10.4236/ce.2017.89101
  21. Home - XZIMG. <https://www.xzimg.com> (2017). Accessed 25 Aug 2018
  22. Home | MAXST Developer - The Right Choice for Your AR SDK. <https://developer.maxst.com> (2018). Accessed 25 Aug 2018
  23. Hrunтова, T.V., Yechkalo, Yu.V., Striuk, A.M., Pikilnyak, A.V.: *Augmented Reality Tools in Physics Training at Higher Technical Educational Institutions*. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018)*, Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 33–40. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper04.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  24. Kolomoiets, T.H., Kassim, D.A.: *Using the Augmented Reality to Teach of Global Reading of Preschoolers with Autism Spectrum Disorders*. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018)*, Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 237–246. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper24.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  25. Krueger, M.W.: *Artificial Reality*. Addison-Wesley, Reading (1983)
  26. Krueger, M.W.: *Responsive environments*. In: *AFIPS '77 Proceedings of the National computer conference*, June 13-16, 1977, pp. 423–433 (1977). – doi:10.1145/1499402.1499476
  27. Martin-Gutierrez, J., Guinters, E., Perez-Lopez D.: *Improving strategy of self-learning in engineering: laboratories with augmented reality*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. **51**, 832–839. doi:10.1016/j.sbspro.2012.08.249
  28. Merzlykin, O.V., Topolova, I.Yu., Tron, V.V.: *Developing of Key Competencies by Means of Augmented Reality at CLIL Lessons*. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) *Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018)*, Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 41–52. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper05.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  29. Milgram, P., Kishino, F.: *A taxonomy of mixed reality visual displays*. *IEICE Transactions on Information Systems*. **E77-D**(12), 1321–1329 (1994)
  30. Mintii, I.S., Soloviev, V.N.: *Augmented Reality: Ukrainian Present Business and Future Education*. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) *Proceedings of the 1st International*

- Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 227–231. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper22.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
31. Modlo, Ye.O., Semerikov, S.O., Shmeltzer, E.O.: Modernization of Professional Training of Electromechanics Bachelors: ICT-based Competence Approach. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 148–172. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper15.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  32. Modlo, Ye.O., Semerikov, S.O.: Xcos on Web as a promising learning tool for Bachelor's of Electromechanics modeling of technical objects. In: Semerikov, S.O., Shyshkina, M.P. (eds.) Proceedings of the 5th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE 2017), Kryvyi Rih, Ukraine, April 28, 2017. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2168, pp. 34–41. <http://ceur-ws.org/Vol-2168/paper6.pdf> (2018). Accessed 15 Sep 2018
  33. Morkun, V., Semerikov, S., Hryshchenko, S., Slovak, K.: Environmental Geo-information Technologies as a Tool of Pre-service Mining Engineer's Training for Sustainable Development of Mining Industry. In: Ermolayev, V., Bassiliades, N., Fill, H.-G., Yakovyna, V., Mayr, H.C., Kharchenko, V., Peschanenko, V., Shyshkina, M., Nikitchenko, M., Spivakovsky, A. (eds.) Proceedings of the 13th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI, 2017), Kyiv, Ukraine, May 15-18, 2017. CEUR Workshop Proceedings, vol. 1844, pp. 303–310. <http://ceur-ws.org/Vol-1844/10000303.pdf> (2017). Accessed 15 Sep 2018
  34. Nechypurenko, P.P., Starova, T.V., Selivanova, T.V., Tomilina, A.O., Uchitel, A.D.: Use of Augmented Reality in Chemistry Education. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 15–23. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper02.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  35. Piekarski, W.: Interactive 3D Modelling in Outdoor Augmented Reality Worlds. A Research Thesis for the Degree of the Doctor of Philosophy, University of South Australia (2004)
  36. Rashevskaya, N.V., Soloviev, V.N.: Augmented Reality and the Prospects for Applying Its in the Training of Future Engineers. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 192–197. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper18.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  37. Rassovytska, M., Striuk, A.: Mechanical Engineers' Training in Using Cloud and Mobile Services in Professional Activity. In: Ermolayev, V., Bassiliades, N., Fill, H.-G., Yakovyna, V., Mayr, H.C., Kharchenko, V., Peschanenko, V., Shyshkina, M., Nikitchenko, M., Spivakovsky, A. (eds.) Proceedings of the 13th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI, 2017), Kyiv, Ukraine, May 15-18, 2017. CEUR Workshop Proceedings, vol. 1844, pp. 348–359. <http://ceur-ws.org/Vol-1844/10000348.pdf> (2017). Accessed 15 Sep 2018
  38. Restivo, M.T., Chouzal, F., Rodrigues, J., Menezes, P., Patrão, B., Lopes, J.B.: Augmented Reality in Electrical Fundamentals. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*. **10**(6), 68–72 (2014)
  39. Rizov, T., Rizova, E.: Augmented reality as a teaching tool in higher education. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*. **3**(1), 7–16 (2015)
  40. Schmidt, J.: Best AR SDK for development for iOS and Android in 2018.



- <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review> (2018)
41. Heilig, M.L.: Sensorama Simulator. US Patent 3,050,870, 28 Aug 1962
  42. Shapovalov, V.B., Atamas, A.I., Bilyk, Zh.I., Shapovalov, Ye.B., Uchitel, A.D.: Structuring Augmented Reality Information on the stemua.science. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 75–86. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper09.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  43. Shapovalov, Ye.B., Bilyk, Zh.I., Atamas, A.I., Shapovalov, V.B., Uchitel, A.D.: The Potential of Using Google Expeditions and Google Lens Tools under STEM-education in Ukraine. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 66–74. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper08.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  44. Sproull, R.F., Sutherland, I.E.: A clipping divider. In: Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conferences, December 9-11, 1968, vol. I, pp. 765–775. Thompson Books, Washington (1968)
  45. Sural, I.: Augmented Reality Experience: Initial Perceptions of Higher Education Students. *International Journal of Instruction*. **11**(4), 565–576 (2018)
  46. Sutherland, I.E.: A head-mounted three dimensional display. In: Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conferences, December 9-11, 1968, vol. I, pp. 757–764. Thompson Books, Washington (1968)
  47. Sutherland, I.E.: The Ultimate Display. In: Proceedings of the IFIP Congress, vol. 2, pp. 506–508 (1965)
  48. The Computer History Museum Presents An Evening with Ivan Sutherland | Press Releases | Computer History Museum. <http://www.computerhistory.org/press/an-evening-with-ivan-sutherland.html> (2005). Accessed 1 Apr 2018
  49. Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M., Piekarski, W.: ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application. In: Fourth International Symposium on Wearable Computers, Atlanta, USA, Oct 2000, pp. 139–146. IEEE (2000). doi : 10.1109/ISWC.2000.888480
  50. Vuforia | Augmented Reality for the Industrial Enterprise. <https://www.vuforia.com> (2018). Accessed 17 Aug 2018
  51. Weidlich, D., Scherer, S., Wabner, M.: Analyses Using VR/AR Visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*. **28**(5), 84–86 (2008). doi : 10.1109/mcg.2008.89.
  52. Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR SDK. <https://www.wikitude.com> (2018). Accessed 17 Aug 2018
  53. Zelinska, S.O., Azaryan, A.A., Azaryan, V.A.: Investigation of Opportunities of the Practical Application of the Augmented Reality Technologies in the Information and Educative Environment for Mining Engineers Training in the Higher Education Establishment. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 204–214. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper20.pdf> (2018). Accessed 30 Nov 2018
  54. Zinonos, N.O., Vihrova, E.V., Pikilnyak, A.V.: Prospects of Using the Augmented Reality for Training Foreign Students at the Preparatory Departments of Universities in Ukraine. In: Kiv, A.E., Soloviev, V.N. (eds.) Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2018), Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2257, pp. 87–92. <http://ceur-ws.org/Vol-2257/paper10.pdf>. Accessed 30 Nov 2018