

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2021.2.5>

Микола РУДНІЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська Політехніка», просп. Шевченка 1, Одеса, Україна, індекс 65001 (nickolay.rud@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7343-8076>

Сергій ГРИШИН

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська Політехніка», просп. Шевченка 1, Одеса, Україна, індекс 65001 (grishin_si@ukr.net)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1933-9552>

Наталя ШИБАЄВА

кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська Політехніка», просп. Шевченка 1, Одеса, Україна, індекс 65001 (nati.shibaeva@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7869-9953>

Володимир ВИЧУЖАНІН

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська Політехніка», просп. Шевченка 1, Одеса, Україна, індекс 65001 (vint532@yandex.ua)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5244-5808>

В'ячеслав РИЧКО

студент, ПрАТ «ВНЗ «Міжрегіональна Академія управління персоналом», вул. Фрометівська 2, Київ, Україна, індекс 03039 (ruchkoliveviacheslav@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-1167-1312-9081>

Mykola RUDNICHENKO

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Information Technology, Odessa Polytechnic State University, 1 ave. Shevchenko, 1, Odessa, Ukraine, postal code 65001 (nickolay.rud@gmail.com)

Sergey GRISHIN

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Information Technology, Odessa Polytechnic State University, 1 Shevchenko Avenue, Odessa, Ukraine, postal code 65001 (grishin_si@ukr.net)

Natalia SHIBAYEVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Information Technology, Odessa Polytechnic State University, 1 Shevchenko Avenue, Odessa, Ukraine, postal code 65001 (nati.shibaeva@gmail.com)

Vladimir VYCHUZHANIN

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Technologies, Odessa Polytechnic State University, 1 Shevchenko Avenue, Odessa, Ukraine, postal code 65001 (vint532@yandex.ua)

Vyacheslav RYCHKO

Student, Interregional Academy of Personnel Management, 2 Frometivska Street, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (ruchkoliveviacheslav@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Рудніченко М., Гришин С., Шibaєва Н., Вичужанін В., Ричко В. Аналіз особливостей та засобів розробки інтерактивних систем з підтримкою технологій доповненої реальності для сфери освіти. *Інформаційні технології та суспільство*. 2021. Вип. 2. С. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2021.2.5>

Bibliographic description of the article: Rudnichenko, M., Hryshyn, S., Shybaieva, N., Vychuzhanin, V., Rychko, V. (2021). Analiz osoblyvostei ta zasobiv rozrobky interaktyvnykh system z pidtrymkoiu tekhnolohii dopovnoeni realnosti dlia sfery osvity [Analysis of features and development potential of interactive systems supported by auxiliary reality technologies for education field]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2, 42–49. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2021.2.5>

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ ІНТЕРАКТИВНИХ СИСТЕМ З ПІДТРИМКОЮ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ СФЕРИ ОСВІТИ

Анотація. В даний час на ринку сучасних програмних систем та інформаційних технологій особливим чином розвивається напрям віртуальної реальності як одного з зручних підходів до поліпшення процесу інтерактивного навчання та візуалізації складних систем, пристроїв та окремих елементів, важливою галуззю якого є технології доповненої реальності. **Метою** статті є проведення аналізу особливостей та засобів розробки інтерактивних систем з підтримкою технологій доповненої реальності для сфери освіти для формування концепції подальшої розробки повнофункціональної інформаційної системи підтримки вивчення студентами навчальних дисциплін. Реалізація поставленої мети передбачає вирішення низки **завдань**: 1) аналіз особливостей застосування мультимедійних технологій у сфері науки та освіти; 2) аналіз технологій та засобів розробки систем з елементами віртуальної та доповненої реальності; 3) розробка концепції проекту системи підтримки процесів освіти. **Наукова новизна.** У статті наведено підхід з використання технологій доповненої реальності на мобільних пристроях, задіяючи можливості модуля камери під час її активізації, для набуття процесу вивчення теоретичних положень з учбових дисциплін більшого рівня інтерактивності засобами середовища Unity. Як **висновок**, у статті наголошується, що технології віртуальної та додаткової реальності дозволяють значним чином спростити вирішення складних завдань з наочної та динамічної візуалізації окремих досліджуваних об'єктів чи систем. Гнучкість та універсальність системи Unity дозволяє реалізувати повноцінних клієнт-серверних програмних застосувань, що мають тонкий клієнт у вигляді кросплатформеного мобільного застосування та серверної частини, що несе відповідальність по процесах обробки даних для забезпечення працездатності усієї системи.

Ключові слова: інтерактивні системи, доповнена реальність, освітні процеси.

ANALYSIS OF FEATURES AND DEVELOPMENT POTENTIAL OF INTERACTIVE SYSTEMS SUPPORTED BY AUXILIARY REALITY TECHNOLOGIES FOR EDUCATION FIELD

Abstract. Currently, the market of modern software systems and information technology is developing a special direction of virtual reality as one of the convenient approaches to improve the process of interactive learning and visualization of complex systems, devices and individual elements, an important area of which is augmented reality technology. **The aim** of the article is to analyze the features and means of developing interactive systems with the support of augmented reality technologies for education to form the concept of further development of a full-featured information system to support the study of academic disciplines. Realization of the set purpose provides the decision of a number of **tasks**: 1) the analysis of features of application of multimedia technologies in the field of science and education; 2) analysis of technologies and tools for developing systems with elements of virtual and augmented reality; 3) development of the concept of the project of system of support of processes of education. **Scientific novelty.** The article considers an approach to the use of augmented reality technologies on mobile devices, using the capabilities of the camera module during its activation, to acquire the process of studying theoretical positions in academic disciplines of a higher level of interactivity by means of Unity. In **conclusion**, the article emphasizes that virtual and augmented reality technologies can greatly simplify the solution of complex problems of visual and dynamic visualization of individual objects or systems. The flexibility and versatility of the Unity system allows you to implement full-fledged client-server software applications that have a thin client in the form of a cross-platform mobile application and a server part that is responsible for data processing to ensure the efficiency of the entire system.

Key words: interactive systems, augmented reality, educational processes.

Актуальність проблеми. Інформаційна революція і формування інформаційного суспільства висунули інформацію і знання на передній план соціального та економічного розвитку. В даний час в сучасному світі повсюдно спостерігається активна інформатизація як виробничих, так і навчальних процесів [1]. Це обумовлено необхідністю забезпечення віддаленого режиму роботи фахівців і учнів, а також постійним розвитком і вдосконаленням ринку інформаційних технологій (ІТ) і систем, чільне місце в якому займають мобільні застосування [2].

З метою забезпечення максимального ступеня гнучкості у виборі необхідного користувачам функціоналу з'явилася і отримала активний розвиток модель освітніх послуг і технологій, яка використовується низкою великих компаній у сфері ІТ. Тенденції розвитку сучасної системи освіти нерозривно пов'язані з широким впровадженням в навчальний процес різних форм, методів і засобів активного навчання [3].

Однією з провідних тенденцій інформатизації суспільства є розвиток мультимедійних технологій, їх проникнення в різні сфери соціального життя: виробництво, бізнес, науку, освіту, масову споживачку

культуру [4]. Забезпечуючи багатство змісту і форми, поєднання різних видів текстової, графічної, мовної, музичної, відео-, фото- інформації і різноманітність способів їх вилучення, ці технології формують мультимедійне сприйняття світу [5].

Актуальність досліджуваної тематики обумовлена активним і масовим використанням технологій доповненої реальності (AR) в практиці освіти, як нового витка в розвитку мультимедійних технологій, що відкриває нові можливості в організації навчального процесу, а також розвитку творчих здібностей учнів. Використання технологій доповненої реальності відкриває нові можливості в організації навчального процесу, а також у розвитку творчих здібностей учнів. Такий вид навчання сприяє підвищенню залученості, комунікацій між тими, хто навчається і інтересу до предмета [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуюча система отримання професійної освіти в її класичному вигляді, сформована раніше сьогодні не є ефективною для повноцінного вирішення проблеми підготовки майбутніх кадрів і їх виховання. У процесі переходу багатьох початкових спеціальних освітніх установ в режим організаційно-правової автономної форми одним з ключових факторів є активний розвиток цільової спрямованості впроваджуваних освітніх програм. За допомогою даного аспекту проводиться підвищення обсягу вибору учнів різних рівнів і типів освіти, що сприяє формуванню вироблення акцентів на вимоги сучасного ринку праці. Ключовим при цьому є розробка і впровадження підходів до складання змісту і засобів навчання учнів з урахуванням використання сучасної науки [3].

Слід зазначити, що одним з найбільш ефективних напрямків підвищення якості проведення освітнього процесу є інтеграція мультимедійних засобів і технологій. Поряд з цим, невід'ємною частиною процесу навчання стають комп'ютерні інформаційні технології [5]. Сучасні мультимедійні технології (МТ) підтримки процесів утворення активно використовуються в якості основи для формування нового напрямку навчання, тому що МТ засновані на використанні інтерактивних і обчислювальних можливостей комп'ютерів, із задіянням мов і технологій програмування. МТ навчання концептуально можуть бути виражені у вигляді набору технологій підтримки процесів утворення, що сприяють ефективно виконувати проектування і розробки змісту, форм і методів навчання для підвищення якості забезпечення навчального процесу, які передбачають використання програмних технологій інформаційних засобів [2]. Мультимедіа як явище та інструмент освіти являє собою комплекс пов'язаних і взаємодіючих апаратних і програмних засобів і технологій, який здійснює підтримку користувачів в їх роботі з різнорідними даними великих обсягів, які організовані у вигляді цілісної інформаційного середовища. Також, мультимедіа як явище, означає якийсь спектр інформаційних технологій для найбільш ефективного впливу на кінцевого користувача [4; 5].

Метою статті є проведення аналізу особливостей та засобів розробки інтерактивних систем з підтримкою технологій доповненої реальності для сфери освіти для формування концепції подальшої розробки повнофункціональної інформаційної системи підтримки вивчення студентами навчальних дисциплін.

Виклад основного матеріалу. У зв'язку з тим, що стрімкий розвиток ІТ знаходить своє відображення в освітньому процесі, все більшої актуальності в даній сфері набувають МТ у вигляді віртуальної реальності (VR), хоча вони стали застосовуватися відносно недавно.

В даний час VR технології застосовні в різних освітніх процесах, в тому числі [6]:

1. У класичному середню або вищу освіту за рахунок можливостей доповнення навчальних занять VR-симуляцією на кілька хвилин, що вносить більше розуміння процесів, що розглядаються.
2. При дистанційному навчанні VR дозволяє об'єднати учнів і викладачів в єдиному віртуальному просторі, віртуальної класній кімнаті, в режимі реального часу забезпечуючи інтерактивний освітній процес.
3. Для самостійного освіти VR може використовуватися для освоєння мов, проходження екскурсій або відвідування віртуальних музеїв, використовуючи спеціальні окуляри і встановивши мобільні додатки на смартфони.

Популярним напрямом VR є технології розширеної реальності (AR), що відрізняються від них тим, що додають реальному світу деякі інтерактивні шари або елементи тривимірного простору. Таким чином, користувачі систем з підтримкою AR можуть як і раніше взаємодіяти з фізичним середовищем, отримуючи при це додаткову інформацію від своїх пристроїв або додатків. Використання AR технологій в навчанні, зокрема, дозволяє: підвищити інтерактивність навчальних матеріалів для учнів, що робить їх більш зрозумілими і цікавими; забезпечити більш глибоке занурення учнів в освітній процес за допомогою використання 3D-візуалізації і елементів гейміфікації [7].

Застосування технологій AR сприяє більш якісному наданню учням практичного досвіду, знижує вплив різних відволікаючих чинників, які ускладнюють процес сприйняття інформації і спрощує складні явища і процеси для їх усвідомлення [8].

В даний час на ринку рішень в області AR існує кілька платформ і програмних рішень, що підтримують технології та засоби розробки додатків, розглянемо далі найбільш актуальні з них.

1. Unity 3D – являє собою комплексну середу для створення різних комп’ютерних ігор та інтерактивних програм для різних цільових платформ і операційних систем, імплементує набір різних програмних засобів і технологій, що використовуються при розробці програм, в тому числі текстовий редактор коду, компілятор, модуль налагодження з підтримкою засобів AR / VR.

Завдяки модульності і гнучкості використання, Unity спрощує виконання рутинних операцій при розробці додатків, в тому числі завдяки багатому числу платформ, що підтримує движок системи.

Середа Unity мінімізує процес написання коду, роблячи акцент на налаштування інтерфейсу і об’єктів додатки в інтерактивному вигляді, шляхом редагування сцени і її параметризації [9]. Компонентний склад системи на базі Unity наведено на рис. 1.

В системі використовується компонентно-орієнтований підхід, коли розробник починає процес створення програми з окремих об’єктів, виставляючи потрібні параметри відображення і описуючи порядок взаємодії між ними, в міру необхідності доповнюючи сцену різними компонентами (відображення або управління об’єктами).

Завдяки підтримці функцій Drag & Drop в інтерфейсі графічного редактора середовища ставати можливою зображення карти координат і расставкі об’єктів на сцені з подальшим тестуванням роботи програми [10].

Суттєва перевага Unity 3D полягає в підтримці і постійному оновленні бібліотеки Ассет і плагінів, що розширюють і прискорюють процес розробки програми.

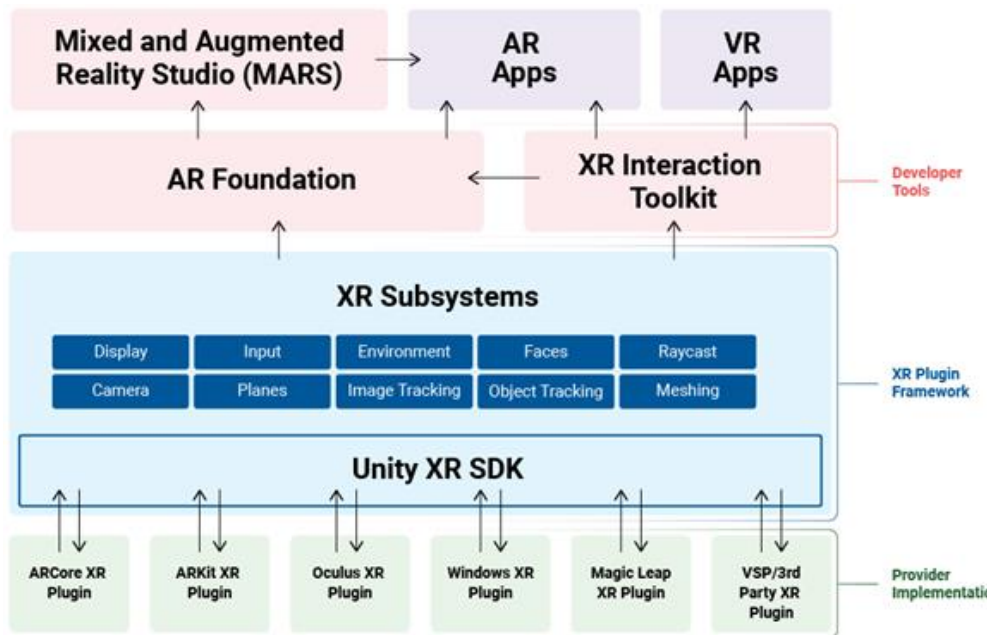


Рис. 1. Компонентний склад системи на базі Unity

Складністю Unity є високе навантаження на обчислювальні можливості комп’ютера, через що на не надто сучасному апаратному забезпеченні робота по рендерингу і розробці додатків сповільнюється. Розробка масштабних, насичених і складних сцен може негативно позначитися на загальній продуктивності додатка, в зв’язку з чим необхідно проведення процедури оптимізації його роботи, що не завжди ефективно і рентабельно.

Ще одним недоліком є досить високий обсяг займаного простору додатків на базі Unity.

2. Vuforia. Однією з найбільш популярних технологій підтримки AR для Unity є Vuforia, що представляє собою платформу для підтримки процесів створення AR додатків для портативних пристроїв (смартфонів і планшетів на різних операційних системах).

Дана платформа дозволяє застосовувати технічно ефективні і швидкодіючі технології розпізнавання графічних зображень на основі імплементатії алгоритмів і методів комп’ютерного зору в фізичних пристроях для з’єднання реального світу з цифровою віртуальним середовищем. Фактично, весь цей функціонал знаходиться в наборі для (SDK), який надає розробникам інструменти для створення

AR додатків. Зокрема, Vuforia SDK надає наступні можливості: зворотні виклики для подій; високо-рівневий доступ до апаратних блокам; кілька об'єктів відстеження: зображення, множинні мішені, циліндричні мішені, маркери кадру і об'єктна мішень; взаємодії з реальним світом за допомогою, наприклад, віртуальних кнопок [11].

Ключові компоненти AR в Vuforia це: дані камери пристрою; дані про місцезнаходження (GPS); сенсорні дані, отримані через датчики пристрої; засоби накладення тривимірної комп'ютерної графіки на активну сцену [8].

Компонентний склад Vuforia SDK наведено на рис. 2.

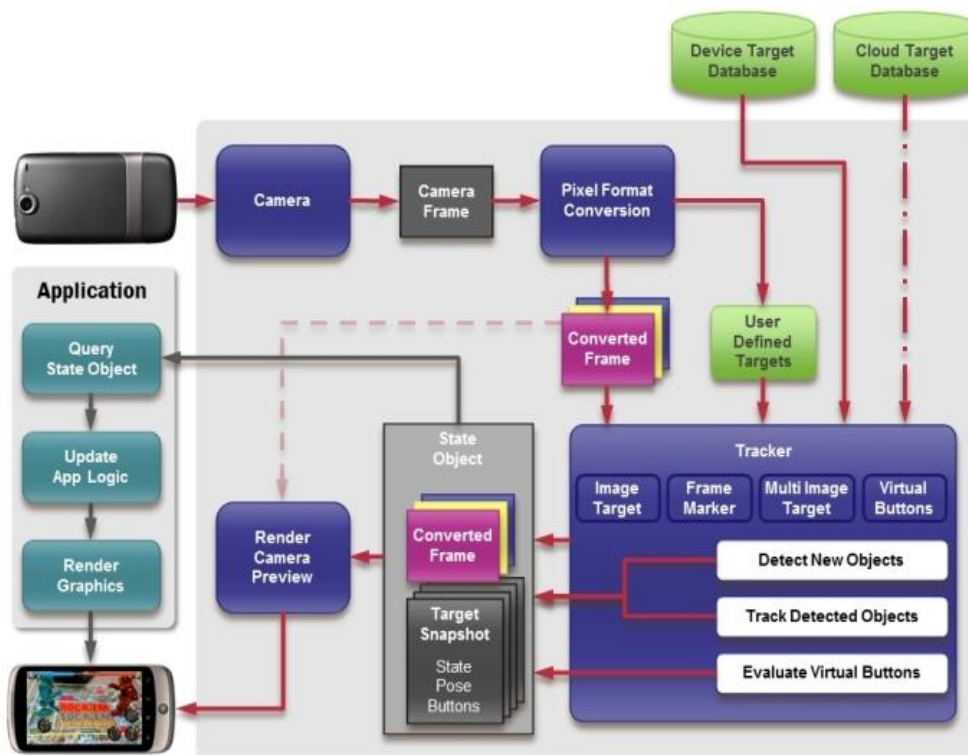


Рис. 2. Компонентний склад Vuforia SDK

3. Unreal Engine, система є затребуваною для створення контенту в VR і AR, працює на базі використання мови C++, а так само середовища розробки Blueprint.

Підтримувані Unreal Engine платформи AR (Android, iOS), VR (Google VR, Oculus, Gear VR, SteamVR, Windows MR) [9].

Серед безлічі поліпшень, передбачених системою, доданий фреймворком доповненої реальності (Augmented Reality Framework), реалізує підтримку додатків для iOS і Android, використовуючи єдиний код, з підтримкою функції Light Estimation, Pinning, Alignment, Trace Results, Session State і Tracking. Функція візуалізації контролерів руху компонентів дозволяє команді оперативно додавати модель візуалізації Static Mesh. За замовчуванням модель буде відповідати Oculus Touch, з підтримкою завантаження призначених для користувача 3D-проектів. Для спрощення процесу розгортання Unreal Engine використовує систему залежних компонентів, підтримує системи рендеринга (Direct3D, OpenGL, Pixomatic), відтворення звуку, засоби відтворення голосового тексту, модулі для роботи з комп'ютерною мережею. Додатково, користувачі Unreal Engine можуть з'єднувати Maya і переглядати зроблені зміни в редакторі UE4 в режимі реального часу.

4. ARCore є комплексний набір засобів (SDK) для розробки прикладних програм для сімейства ОС Android під смартфони і планшети. Розробники використовують функціонал ARCore при розробці модулів і додатків, що володіють інтерактивністю, з використанням можливостей AR.

Приклад архітектури системи на базі ARCore наведено на рис. 3.

ARCore ідентифікує горизонтальні поверхні на зображенні і стежить за рухом камери пристрою. Система базується на таких технологіях: розпізнавання елементів навколишнього світу (пошук горизонтальних поверхонь і розрахунок їх фізичних розмірів); детекція руху об'єктів (фіксація віртуальних

об'єктів в рамках захопленої поверхні при русі смартфона); оцінка ступеня освітленості сцени (забезпечення реакції віртуальних об'єктів на інтенсивність освітлення шляхом внесення будь-яких шумів або змін його візуального стану) [8].

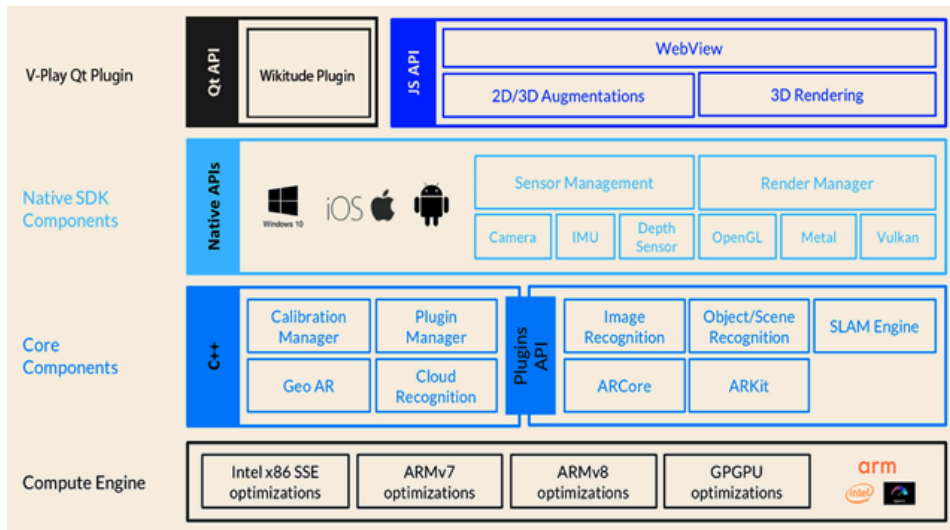


Рис. 3. Типова архітектура системи на базі ARCore

ARCore виконує пошук кластерів характерних точок на зображенні, які розташовані на горизонтальних поверхнях, на базі чого вони можуть використовуватися додатком при розмітці площин.

В основі всієї логіки ARCore розташована технологія SLAM (локалізація і розмітка), імплементація якої призводить до формування карти у вигляді графіка 3D точок. Вони являють собою певним чином розріджений хмара, в якому кожна окрема відмітка відповідає конкретним координатам віртуального оптичного об'єкта [9].

Розглянувши наведені засоби доцільним є обрання системи Unity, як найбільш технічно розвинутої та універсальної для завдань розробки інтерактивних систем з підтримкою розширеної реальності.

Типовою пропонованою концепцією проекту системи для підтримки процесів освіти може бути мобільне застосування (засноване на системі Unity), мета якого полягає у забезпечення можливостей інтерактивного вивчення ряду положень навчальних дисциплін для підвищення ефективності засвоєння матеріалів здобувачами вищої чи середньої освіти.

Завдання мобільного застосування:

- організація персоналізованого доступу за логіном і паролем;
- реалізація підтримки процесу вивчення інформації в рамках класних занять з начальних дисциплін шляхом внесення в систему елементів розширеної реальності;
- забезпечення можливостей оцінки рівня теоретичної підготовки з навчальних дисциплін шляхом інтеграції тестів контролю знань.

Цільова аудиторія системи може складатися з учнів середніх і випускних класів шкіл і початкових курсів коледжів, а також для всіх бажаючих ознайомитися з теоретичними аспектами начальних дисциплін.

Ключові функціональні вимоги:

- реєстрація для доступу в систему;
- авторизація в системі за логіном і паролем (в захищеному режимі відображення);
- вибір режиму роботи з додатком (теорія або практика);
- вибір розділу теоретичних положень;
- вибір підрозділу активного розділу для вивчення конкретних навчальних матеріалів;
- проходження тестів з обраної тематики;
- оцінка результатів тестування;
- активація режиму AR через інтеграцію API камери мобільного пристрою;
- захоплення зображення з камери мобільного пристрою;
- розпізнавання маркера (зображення прив'язки об'єкта) на зображенні з потоку камери мобільного пристрою;

- завантаження і активація AR об'єкта в режимі активної камери мобільного пристрою;
 - динамічне відображення (анімація) AR об'єкта в режимі активної камери мобільного пристрою.
- Головні не функціональні вимоги:
- кросплатформеність (робота під різними операційними платформами, Android, iOS);
 - обсяг підсумкового файлу білда (на прикладі Android – apk пакета) проекту не більше 100 Мб;
 - обсяг займаної оперативної пам'яті не більше 400 Мб;
 - рендеринг моделей AR на екрані активної камери по всій області захоплення;
 - коректне відображення (масштабування) елементів інтерфейсу і робота програми на діагоналях екранів мобільних пристроїв від 5 дюймів і вище з дозволом від 800 на 600 пікселів і вище.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті проведених досліджень встановлено, що сучасні мобільні технології і системи розширеної реальності мають значний технічний потенціал, який може мати прикладне використання в рамках освітнього процесу в навчальних закладах, дозволяючи спростити процес імплементації як очного, так і дистанційного режиму навчання, що є вкрай актуальним завданням в умовах існуючої світової пандемії.

На базі виконаного аналізу існуючих технологій розробки додатків розширеної реальності для різних прикладних сфер можна зробити висновок про фактичне домінування на ринку системи Unity, яка імплементує велику кількість бібліотек, залежностей і артефактів, які розширюють можливості розробки зі створення систем з елементами доповненої реальності. Для подальшого створення концепції проекту інтерактивної системи можуть бути обрані наступні засоби розробки: для написання програмного коду – мова C #, для створення проектів класів і редагування коду – середовище Visual Studio, для створення структури і інтерфейсу додатку, а також підключення технологій доповненої реальності системи Unity.

Перспективним напрямком подальших досліджень є аналіз шляхом розробки корпоративних мобільних додатків і систем, що включають в свій склад найбільш цільові функції з підтримки навчального процесу для створення єдиного уніфікованого мобільного сервісу для інтеграції комплексу рішень в сфері освіти на державному рівні.

Список використаних джерел:

1. Гранин К. Образование в контексте глобализации. *Высшее образование*. 2014. № 12. С. 112–116.
2. Бондаренко О.В. Применение мультимедийных технологий в образовательном процессе высшего учебного заведения. *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 3. С. 55–71.
3. Князева Г.В. Применение мультимедийных технологий в образовательных учреждениях. *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*. 2018. № 16. С. 77–95.
4. Андресен Б.Б. Мультимедиа в образовании: специализированный. М. : Дрофа, 2017. 221 с.
5. Захарова И.Г. Информационные технологии в образовании. М. : Академия, 2013. 188 с.
6. Плотніков М.С., Голопотиліюк Є.А., Рудніченко М.Д. Специфіка розробки проекту навчального мобільного застосування з сучасними мультимедійними засобами розширеної реальності. *XXI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів* (м. Одеса, 22–23 квітня 2021 р.). Одеса, 2021. С. 85–86.
7. Плотніков М.С., Рудніченко М.Д., Граб К.В. Інтерактивна система вивчення астрономії з використанням технології доповненої реальності. *Інформатика, інформаційні системи та технології* : тези доповідей шістнадцятої всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців (м. Одеса, 23 квітня 2021 р.). Одеса, 2021. С. 115–116.
8. Уваров А. Ю. Технологии виртуальной реальности в образовании. *Наука и школа*. 2018. № 4. С. 108–117.
9. Аверкина А.В., Лазарева О.Ю. Системы дополненной реальности для мобильных платформ. *Вестник Московского государственного университета печати*. 2015. № 1. С. 8–12.
10. Хокинг Д. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. СПб. : Питер, 2019. 352 с.
11. Торн А. Основы анимации в Unity. М. : ДМК Пресс, 2016. 176 с.

References:

1. Granin, K. (2014). *Obrazovanie v kontekste globalizacii* [Education in the context of globalization]. *Vysshee obrazovanie – Higher education*, no. 12, pp. 112–116 [In Russian].
2. Bondarenko, O.V. (2017). *Primenenie mul'timedijnyh tehnologij v obrazovatel'nom processe vysshego uchebnogo zavedenija* [Application of multimedia technologies in the educational process of a higher educational institution]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija – Modern problems of science and education*, no. 3, pp. 55–71 [In Russian].
3. Knjazeva, G.V. (2018). *Primenenie mul'timedijnyh tehnologij v obrazovatel'nyh uchrezhdenijah* [Application of multimedia technologies in educational institutions]. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva – Bulletin of the Volga University named after V.N. Tatishchev*, no. 16, pp. 77–95 [In Russian].
4. Andresen, B.B. (2017). *Mul'timedia v obrazovanii: specializirovannyj* [Multimedia in education: specialized]. М.: Дрофа [In Russian].
5. Zaharova, I.G. (2013). *Informacionnye tehnologii v obrazovanii* [Information technologies in education]. М.: Akademiya [In Russian].

6. Plotnikov, M.S., Holopotylyuk, Ye.A., Rudnichenko, M.D. (2021). Specifika rozrobki proektu navchal'nogo mobil'nogo zastosovannja z suchasnimi mul'timedijnimi zasobami rozshirenoi real'nosti [The specifics of the project development of educational mobile application with modern multimedia means of augmented reality]. *XXI Vseukrains'ka naukovo-tehnicna konferencija molodih vchenih, aspirantiv ta studentiv (22–23 kvitnja 2021 hoda) – XXI All-Ukrainian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students.* (pp. 85–86). Odessa [In Ukrainian].
7. Plotnikov, M.S., Rudnichenko, M.D., Hrab, K.V. (2021). Interaktivna sistema vivchennja astronomii z vikoristannjam tehnologii dopovненої real'nosti [An interactive system for studying astronomy using augmented reality technology]. *Informatika, informacijni sistemi ta tehnologii: tezi dopovidej shistnadcjatoї vseukrains'koї konferencii studentiv i molodih naukovciv (23 kvitnja 2021 hoda) – Informatics, information systems and technologies: abstracts of the sixteenth All-Ukrainian Conference of Students and Young Scientists.* (pp. 115–116). Odessa [In Ukrainian].
8. Uvarov, A.Ju. (2018). Tehnologii virtual'noj real'nosti v obrazovanii [Technologies of virtual reality in education]. *Nauka i shkola – Science and school*, no. 4, pp. 108–117 [In Russian].
9. Averkina, A.V., Lazareva, O.Ju. (2015). Sistemy dopolnennoj real'nosti dlja mobil'nyh platform [Augmented reality systems for mobile platforms]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pečati – Bulletin of the Moscow State University of Printing Arts*, no. 1, pp. 8–12 [In Russian].
10. Hoking D. (2019). *Unity v dejstvii. Mul'tiplatformennaja razrabotka na C#* [Unity in action. Multi-platform development in C #]. SPb.: Piter [In Russian].
11. Torn A. (2016). *Osnovy animacii v Unity [Basics of animation in Unity]*. M.: DMK Press [In Russian].