

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних наук, фізики та математики
Кафедра інформатики, програмної інженерії та економічної кібернетики

**МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ
ОБ'ЄКТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ З ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ
ЗАКОНІВ**

Кваліфікаційна робота (проект)
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Виконав: студент 4 курсу 431 групи

Спеціальності: 122 Комп'ютерні науки

Освітньо-професійної програми:

Комп'ютерні науки

Тарасюк Артур Олександрович

Керівники: кандидат фізико-математичних
наук, доцент Кравцов Геннадій
Михайлович

доктор педагогічних наук, професор
Співаковський Олександр Володимирович

Рецензент: Кузьменков С.Г., доктор
педагогічних наук, професор

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. Unity 3D-об'єкти навчального призначення для мобільних пристроїв з використанням технологій доповненої реальності	7
1.1. Використання AR технологій у програмних модулях навчального призначення	7
1.2. Технологія Unity 3D.....	11
1.3. Моделювання 3D об'єктів навчального призначення з використанням технологій доповненої реальності.....	13
РОЗДІЛ 2. Моделювання та розробка програмних модулів об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів.....	14
2.1. Моделювання 3D об'єктів віртуальної та доповненої реальності навчального призначення.....	14
2.2. Проектування 3D об'єктів доповненої реальності навчального призначення	19
2.3. Створення програмного забезпечення візуалізації дії фізичних законів	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТОК.....	35

ВСТУП

Актуальність теми. Доступність комп'ютерних технологій призвела до поширення їх в різних сферах суспільного життя і однією з них став освітній процес. Можна спостерігати високий рівень зацікавленості здобувачів освіти саме до імерсійних технологій — повного або часткового занурення до віртуального світу, який є схожим на справжній, навколишній світ.

До таких технологій входять:

- *RR (real reality) — це об'єктивна реальність, яка не потребує жодних технологій, ми в ній знаходимося, ми її сприймаємо органами почуттів, вона не потребує жодного технічного спорядження чи додаткових пристроїв, чи програмного забезпечення.*
- *AR (augmented reality) — це доповнена реальність. Ми можемо додавати в нашу реальну дійсність так звані елементи віртуальної, змодельованої реальності.*
- *VR (virtual reality) — віртуальна реальність, вона є повністю змодельована по шаблону дійсності з використанням сучасних, останнього покоління, технологій. Це може бути 3D або 360 сцени (прокрутка зображень на 360 градусів), звук, тактильні відчуття окрім цього можуть бути навіть запахи.*
- *XR (extended reality) — це розширена реальність, так загально називають AR- і VR-технологій.*
- *MR (mixed reality) — переводиться, як змішана реальність. По великому факту - це VR з деякими елементами RR. Або AR із можливим застосуванням Hololens.*

- *360-фото, відео — це контент, що складається з однієї 360 градусів — або декількох зшитих фото та відеозаписів. Поширені також 360 градусів -трансляції.*

Технології такого роду згодом можуть частково чи повністю замінити або значно вплинути на звичні нам методи навчання, адже вони надають змогу глибше зрозуміти предмет, розглянути об'єкт дослідження з середини, детально розглядаючи кожну дрібну деталь.

Поширеним представником таких технологій є доповнена реальність. Доповнена реальність AR (augmented reality, також відома як mixed reality) – це технологія, яка доповнює реальний світ, накладаючи інформацію у вигляді віртуальних об'єктів в режимі реального часу, з метою поліпшення сприйняття інформації і отримання додаткових відомостей.

«Додатки з доповненою реальністю створюються за допомогою платформ, які дозволяють розробляти власні AR додатки з нуля або інтегрувати AR-технології в уже готові програми [1]».

«До технічного забезпечення для роботи з доповненою реальністю відносяться смартфони, планшети, персональні комп'ютери (ПК) і розумні окуляри (Head mounted displays - HMD). Вони оснащені цифровими камерами, GPS, акселерометром, магнітометрами, гіроскопами, які і є пристроями відстеження [2]». Від даних, одержуваних з цих пристроїв, залежить результат роботи програми за технологією AR.

«Сьогодні AR – це доволі популярна технологія, що має широкі бізнесові, розважальні та освітні застосування [3, 6]». Українські дослідники М.П. Шишкіна, С.О. Семериков, В.В. Осадчий, К.П. Осадча, О.Ю. Буров, С.Х. Литвинова, А.М. Стрюк та інші розглядають можливість впровадження AR в освіту, а саме до природничих наук і застосування AR в професійній підготовці та перепідготовці [24, 25]

При цьому, українські вчені І.С. Мінтій та В.М. Соловійов наголошують, що « ... в Україні технологія доповненої реальності ще не набула широкого застосування в освітньому просторі підготовки майбутніх учителів, незважаючи на виявлений її значний потенціал, наприклад для проведення лабораторних занять з природничо-математичних дисциплін у середній та вищій школі [22]». Така необхідність зумовлена тим що освітні заклади не завжди мають можливість наочно продемонструвати всі досліди описані в підручнику (через відсутність потрібного обладнання, брак часу відведеного на практичні заняття, тощо).

На відміну від реальних, досліди проведені в додатку не потребують жодного обладнання крім підручника і смартфона (або планшета), також варто зазначити, що такий вид практичних занять не наражає учнів зайвий раз на небезпеку пов'язану з використання відкритого полум'я, електричного струму, тощо, а ще учні можуть проводити такі досліди навіть вдома, тим самим поглиблюючи своє розуміння матеріалу викладеного в підручнику.

Мета роботи: створити модель і розробити програмне забезпечення додатків за технологією доповненої реальності для застосування в освітньому процесі, а саме «оживлення» 2D графічних об'єктів з підручника фізики в керованих 3D-модельних програмних додатках.

Об'єкт дослідження: програмне забезпечення навчального призначення в закладах освіти.

Предмет дослідження: технології та методи доповненої реальності в програмному забезпеченні навчального призначення для вивчення фізичних законів.

Завдання дослідження:

- Дослідити літературні джерела на предмет створення та використання існуючих програмних засобів навчального призначення в освітньому процесі.
- Розглянути програмні реалізації доповненої реальності.
- Дослідити можливості використання AR технологій у навчально-виховному процесі.
- Набути умінь програмування в середовищі Unity 3D.
- Спроекувати програмні модулі з використанням доповненої реальності.
- Спроекувати 3D об'єкти доповненої реальності навчального призначення.
- Створити програмне забезпечення візуалізації навчальних процесів в підручнику з фізики за восьмий клас.

Апробація. Результати дослідження апробовано на Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт у галузі «Інженерія програмного забезпечення»

РОЗДІЛ 1. Unity 3D-об'єкти навчального призначення для мобільних пристроїв з використанням технологій доповненої реальності

1.1. Використання AR технологій у програмних модулях навчального призначення

Концепція доповненої та віртуальної реальності розвивається з 1960-х років, і AR вважається корисним, потужним і дуже перспективним інструментом для створення програмного забезпечення з метою використання у навчальному процесі.

«Віртуальна реальність – середовище, у якому за допомогою комп'ютера моделюється фізична присутність людини у певному місці реального або уявного світу [5, 10]».

Доповнена реальність – це середовище, створене шляхом об'єднання об'єктів реального світу та даних, згенерованих комп'ютером.

На відміну від віртуальної, доповнена реальність не замінює реальне середовище штучним. Застосування AR технології надає можливість об'єднання реальних та віртуальних засобів навчання за допомогою мобільних пристроїв, що в свою чергу реалізує концепцію мобільного навчання: незалежно від часу та місця.

Першу «лабораторію штучної реальності» Videoplace [7, с. 125] створив М. Крюгер (Myron W. Krueger) ще у 1975 році. Головна ідея проекту, розробка якого почалася у 1969 році – створення віртуальної реальності, яка взаємодіяла з користувачами і реагувала на їхні рухи та дії, не обтяжуючи їх використанням окулярів або рукавичок. Провідними засобами в такій лабораторії слугували: проектори, відеокамери, апаратні засоби спеціального призначення та екранні силуети користувачів для їх подання у створеному середовищі. Учасники експерименту які перебували в окремих кімнатах лабораторії могли взаємодіяти між собою в режимі реального часу за допомогою цієї технології. Переміщення 15 записаних на відео користувачів, представлялись силуетами у середовищі віртуальної реальності .

Щодо використання середовищ такого роду у навчанні М. Крюгер зазначив наступне: «Адаптивна 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. ... 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 вона отримає пізніше. Метою було б набуття дитиною досвіду, а не годування її фактами» [8, с. 432].

Проте обмежена мобільність технології доповненої реальності, пов'язана з тогочасним рівнем розвитку апаратної складової, стала основною перепоною на шляху до її поширення – більше ніж 30 років дослідження у цій галузі залишались справою спеціалізованих лабораторій.

Етапним у розвитку віртуальної та доповненої реальності став ARQuake Б. Томаса (Bruce H. Thomas) (2000 рік) – перший проект, що «вийшов на вулицю» [9]: з появою по-справжньому компактних пристроїв у 1990-х роках з'явилися апаратні передумови для застосування технології AR поза межами наукових лабораторій – у новітньому просторі Інтернет-користувача.

З використанням технології доповненої реальності було створено програмне забезпечення, призначене для вивчення різних дисциплін (фундаментальних, гуманітарних та фахових). За допомогою програмних засобів такого роду надавались розширені відомості про досліджувані об'єкти та їхні характеристики, зазвичай недоступні до вивчення у звичних експериментах. У ряді проектів, які були реалізовані в Європі та США, мобільні пристрої було використано з метою візуального представлення

віртуальних об'єктів за допомогою AR технології. Так, за допомогою мобільних програм майбутні інженери могли побачити, яким чином розташовано опори мостів під час їх візуального огляду під різними кутами.

М. Т. Рестів та іншими авторами [11, 12] було розглянуто можливості застосування технології доповненої реальності у навчанні, а саме в розділі «Електрика» курсу фізики. Науковці наголошують, на тому, що, незважаючи на докладання значних зусиль у навчанні, студенти рідше ніж необхідно мають змогу виконати експеримент в аудиторії через брак матеріалів або відведеного для таких занять часу. Крім того було вказано на те, що виконання експериментальних робіт у позаурочний час несе високі додаткові ризики, особливо під час роботи з небезпечними матеріалами. В свою чергу сучасні технології виступають в ролі безпечного способу виконання експериментів, як самостійно, так і під керівництвом учителя.

Онлайн-експерименти з використанням засобів доповненої реальності та пристроїв з сенсорним керуванням надають користувачам можливість проводити реальні дослідження та спостерігати й описувати роботу різного роду систем і зміни їхніх параметрів в режимі реального часу. При цьому надаючи можливість повної або часткової заміни матеріальних ресурсів та експериментальних установок об'єктами доповненої реальності.

Вище зазначеними фахівцями помічено, що використання технології доповненої реальності як на лекційних, так і на практичних та лабораторних заняттях полегшує розуміння учнями теоретичних правил, схем, інструкцій з експлуатації та іншої документації. Викладачі, які використовують технологію доповненої реальності для проведення лабораторних робіт з фізики, можуть краще пояснити здобувачам освіти внутрішню будову елементів приладів та установок, що забезпечує високу ефективність навчання майбутніх фахівців. Таким чином, такі складові навчального процесу як методичні рекомендації (рис. 1.1) та лабораторні установки (рис. 1.2) можуть відігравати роль середовища роботи з доповненою реальністю.

Лабораторні стенди або вимірювальні прилади можуть бути використані у якості маркерів, зокрема для доповнення їх інструкціями з експлуатації. Доповнена реальність виступає сучасним вирішенням проблеми зростання зацікавленості студентів до науково-дослідницької діяльності та мотивує їх до проведення експериментів.

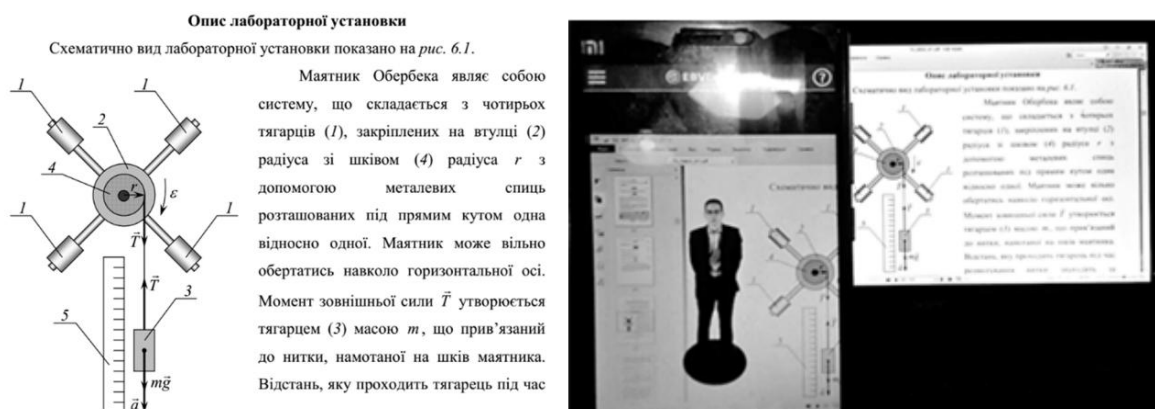


Рис. 1.1. Використання доповненої реальності у методичних рекомендаціях до лабораторних робіт з фізики (за Ю. В. Єчкало та ін.) [13]

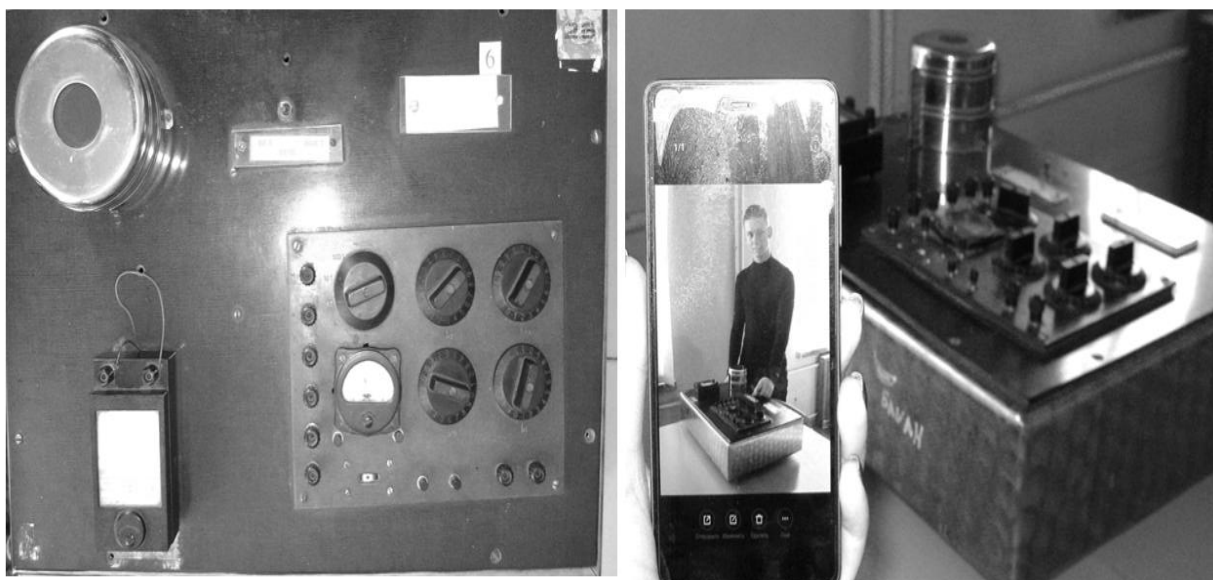


Рис. 1.2. Використання доповненої реальності на лабораторних роботах з фізики (за Ю. В. Єчкало та ін. [13])

Таким чином, бачимо, що інтерес щодо залучення AR технологій до освітніх процесів існує ще з 70-х років минулого століття, але через невідповідність розвитку обчислювальної техніки вимогам користувачів довго не був задоволений.

Тепер розглянемо засоби для створення додатків з використанням доповненої реальності доступні безпосередньо для розробки програмного проекту навчального призначення.

1.2. Технологія Unity 3D

Для розробки програмних модулів навчального призначення за технологією AR було обрано технологію Unity [14, 15], тому що дана технологія має наступні переваги:

- Дозволяє створювати тривимірні додатки;
- Забезпечує надійний захист від зовнішнього втручання;
- Використовує досить поширену мову програмування C#;
- Має зрозумілу документацію та підтримку від товариства розробників;
- Є сучасною технологією для створення VR та AR додатків.

Для відображення фізичних моделей, процесів і явищ використовується візуальне представлення у вигляді 3D графіки (рис. 1.3).

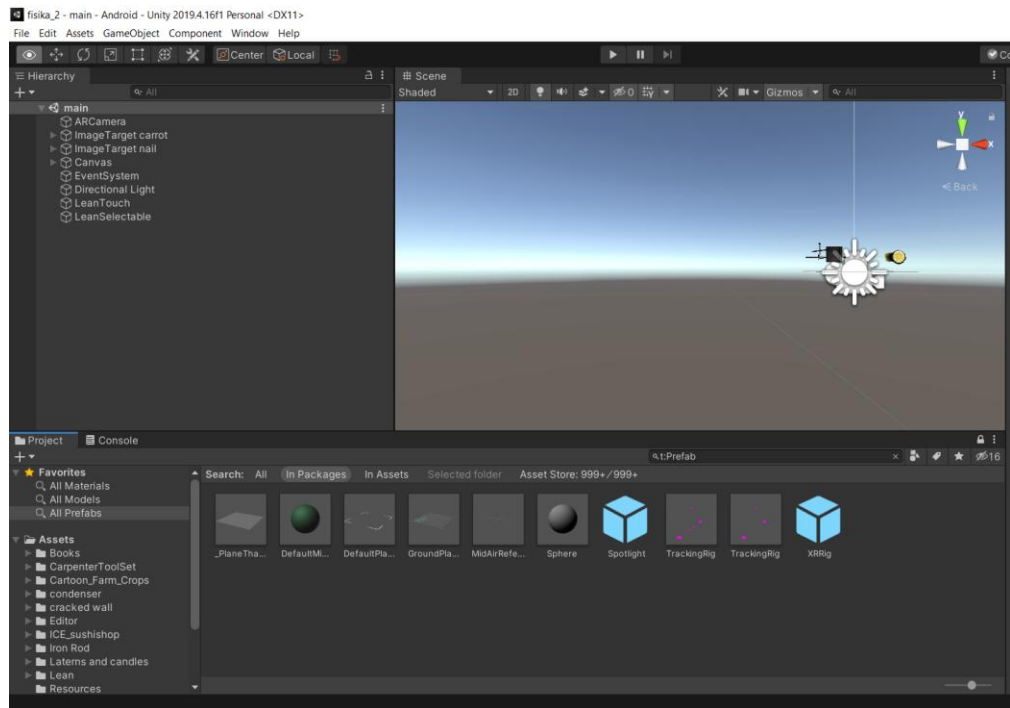


Рис. 1.3 Головне меню середовища Unity3D

Технологічною основою уявлення є графічний інструмент для розробки тривимірних додатків Unity3D. Unity3D - це багатоплатформовий засіб для розробки інтерактивних додатків з графікою, що відтворюється в реальному часі. Цей графічний рушій найбільш поширений серед розробників тривимірних великомасштабних ігор.

Він має власний редактор, розробка продуктів ведеться за допомогою мови C#, що дозволяє створювати додатки, які описують складні фізичні процеси. Також цьому сприяє високий рівень абстракції програмного інтерфейсу. Процес розробки 3-мірних середовищ об'єктно-орієнтований, тобто побудова середовища поділяється на об'єкти з поведінкою.

Об'єкти з якими працює розробник розміщуються на сцені проекту таким чином, що програміст може з легкістю працювати з ними, а також системами об'єктів, які мають встановлювану ієрархію і поведінку та властивості яких повністю контролює розробник.

Unity3D підтримує велику кількість апаратних платформ [4]. Створений на основі мови C++, що робить рушій швидким і продуктивним. Завдяки чому він задовольняє ряду поставлених до нього вимог, а саме:

- кінцевий продукт є мультимедійним 3D об'єктом, вбудованим в HTML-сторінку;
- кінцевий продукт є об'єктом високого рівня абстракції прототипів об'єктів;
- забезпечення високої якості графічного представлення інформації;
- бібліотека 3D об'єктів має можливість працювати з сучасними форматами тривимірної графіки: *.3ds, *.dae, *.fbx, *.flt;
- підтримка мов високого рівня (C++, C#, Java) для забезпечення ефективного процесу розробки;
- наявність ліцензії для вільного використання в некомерційних цілях;
- наявність редактора програмної і графічної розробки об'єктів;
- можливість підключення сторонніх бібліотек об'єктів (бібліотеки для обробки даних, веб-сервіси, драйвери баз даних і т.п.).

Програмна бібліотека мультимедійних 3D об'єктів уніфікує процес розробки створення програмних модулів, зокрема віртуальних лабораторних робіт. Програмний засіб Unity3D надає можливість створення плагіна, призначеного для конструювання інтерактивних програмних 3-D об'єктів для використання у Веб-додатках [17, 19, 20].

1.3. Моделювання 3D об'єктів навчального призначення з використанням технологій доповненої реальності

РОЗДІЛ 2. Моделювання та розробка програмних модулів об'єктів доповненої реальності з вивчення фізичних законів

2.1. Моделювання 3D об'єктів віртуальної та доповненої реальності навчального призначення

2.1.1. Постановка задачі

Метою наукової роботи було залучення додатків з доповненою реальністю до *освітнього процесу*, а саме перетворення 2D-об'єктів з підручника фізики в керовані 3D-моделі.

Практичні досліді — це дуже важлива частина будь якої дисципліни, особливо це стосується таких непростих для розуміння наук як фізика. Саме лабораторні роботи дають учням змогу краще засвоїти лекційний матеріал, зрозуміти тонкощі роботи фізичних законів та заохотити дітей поглиблювати свої знання з кожної пройденної теми.

Саме тому було прийняте рішення розпочати роботу над створенням мобільного додатку який міг би «оживити» досліді, які зображені на сторінках шкільного підручника.

Необхідність створення такого продукту зумовлена тим, що освітні заклади не завжди мають можливість наочно продемонструвати всі досліді системи або фізичного процесу, які описані в підручнику (через відсутність потрібного обладнання, брак часу відведеного на практичні заняття, тощо).

На відміну від реальних, досліді проведені в додатку не потребують жодного обладнання крім підручника і смартфона (або планшета), крім того такий вид практичних занять не наражає учнів зайвий раз на небезпеку пов'язану з використання відкритого полум'я, електричного струму, тощо, а ще учні можуть проводити такі досліді навіть вдома, тим самим поглиблюючи своє розуміння матеріалу викладеного в підручнику.

З огляду на те, що вивчення фундаментальних законів фізики починається з 8-го класу, було вирішено для проведення дослідження з обраної теми використати підручник з фізики для 8-го класу редакції В.Г. Бар'яхтара.

Першою в даному випадку була викладена тема: «Теплові явища». Обравши розділ «Теплопровідність» було виконано моделювання майбутнього AR додатку.

2.1.2. Моделювання AR додатку для вивчення фізичних законів теплопровідності металів

При розробці моделі програмного модулю було визначено необхідний набір засобів для проведення досліду за допомогою доповненої реальності (рис. 2.1).

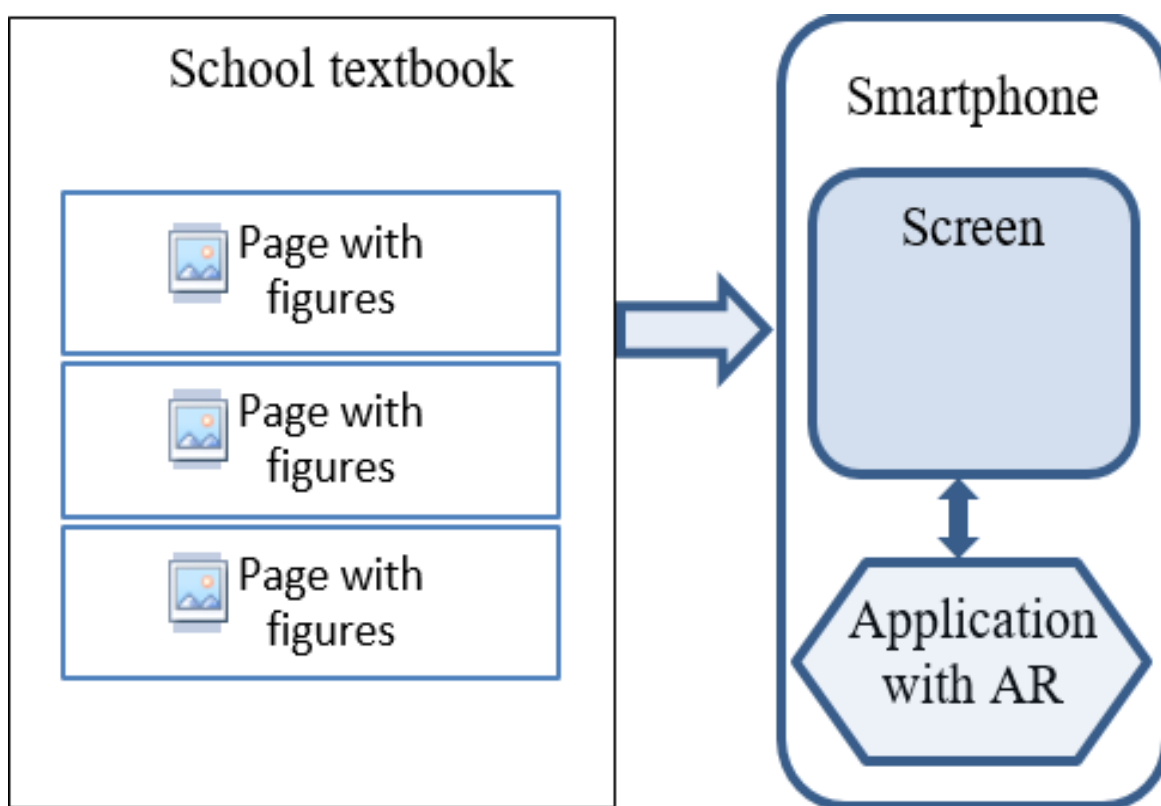


Рис. 2.1 Модель навчальної системи з використанням AR

На основі першої, узагальненої моделі системи (рис 2.1), розроблено проект програмного модуля (рис. 2.2), в якому зображені елементи, які необхідні безпосередньо для розробки програми, такі як: Vuforia [18, 23], Lean, Scene та інші.

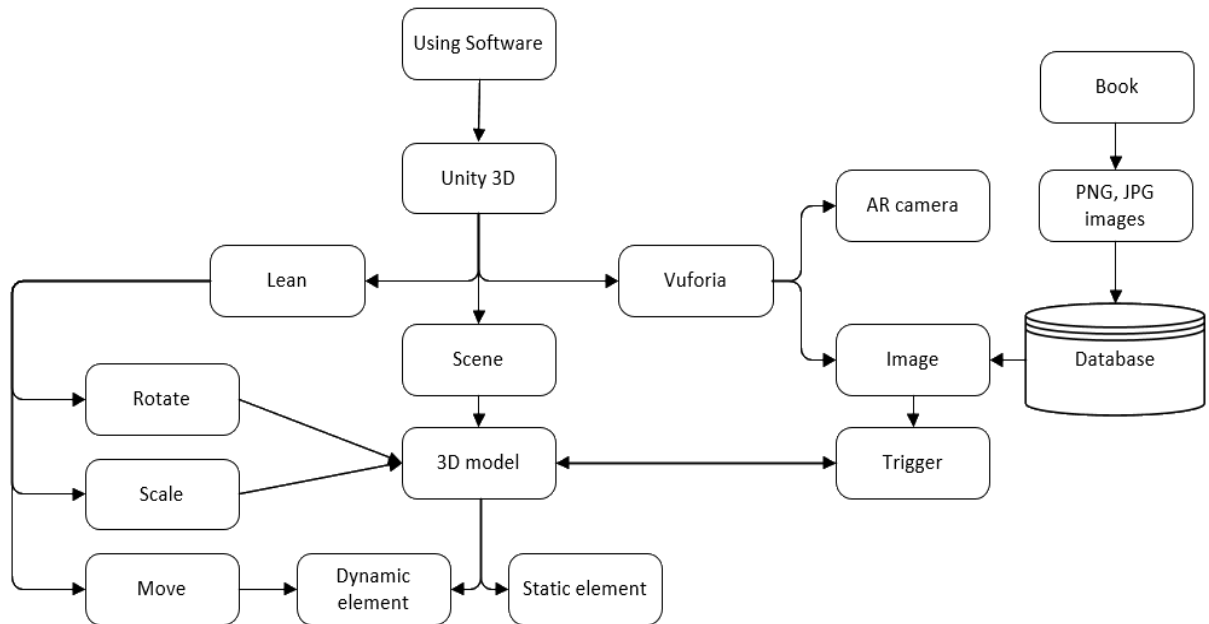


Рис. 2.2 Модель програмного модуля навчальної системи з використанням AR

Для розробки засобів доповненої реальності до багатоплатформеного рушія Unity необхідно підключити SDK [16, 21] (від англ. Software development kit – набір засобів розробки), провідними з яких є Vuforia, Wikitude, ARKit, ARCore та ін., безкоштовні для некомерційного використання. Через свою зручність у завантаженні та встановленні у вигляді модулю був обраний SDK Vuforia.

А такий набір засобів як Lean, робить можливою взаємодію користувача і розроблених у Unity 3D об'єктів за допомогою сенсорного дисплею смартфона або планшета.

Наступним кроком було створення Class діаграми майбутнього додатку (рис. 2.3), яка чітко показує взаємодію котрих об'єктів необхідно описати в середовищі Unity за допомогою коду мови програмування C#.

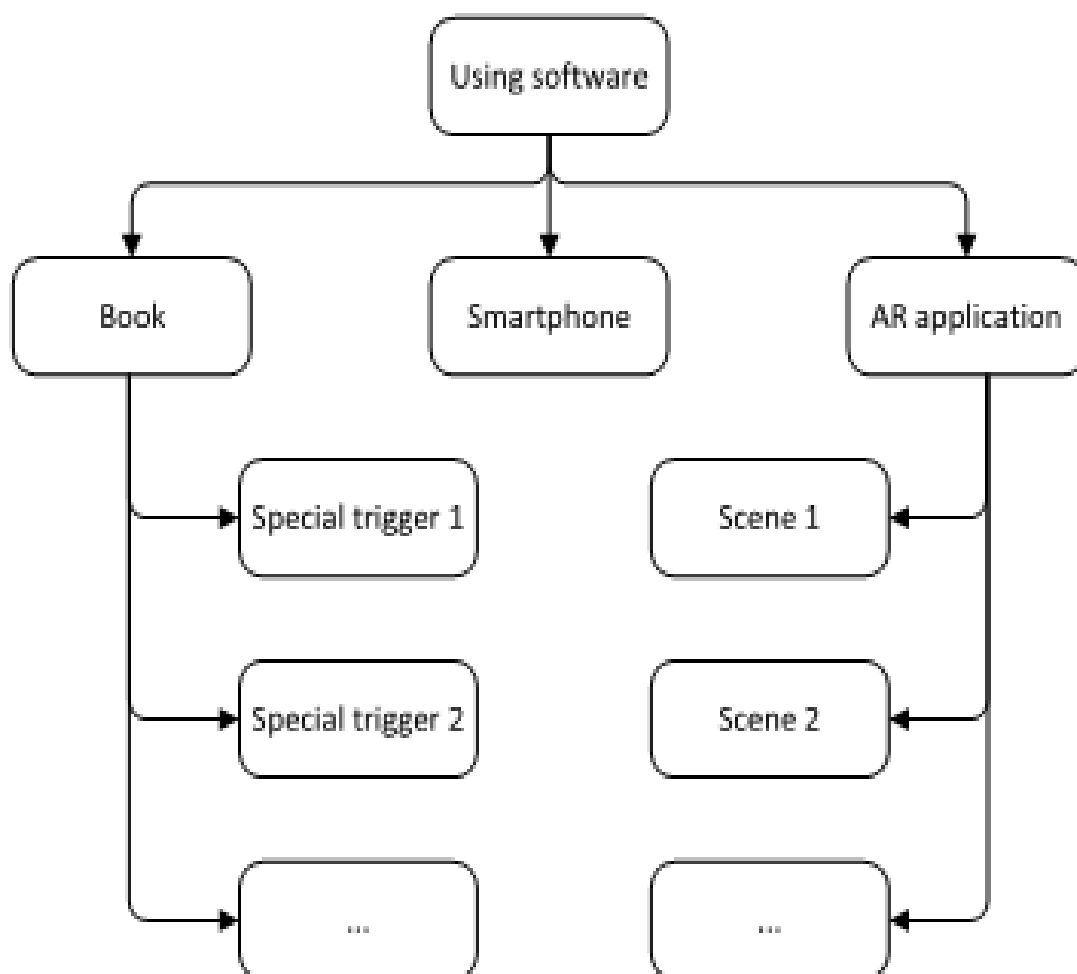


Рис. 2.3 Class діаграма для додатку AR

Далі потрібно визначити мінімальний необхідний функціонал додатку, який був би зрозумілим і зручним для учня середньої школи. Крім того важливо буде розробити програмний інтерфейс, який був би інтуїтивно зрозумілим для кожного учня обраного віку. Набір таких функцій наочно зображено за допомогою блок-схеми (рис. 2.4)

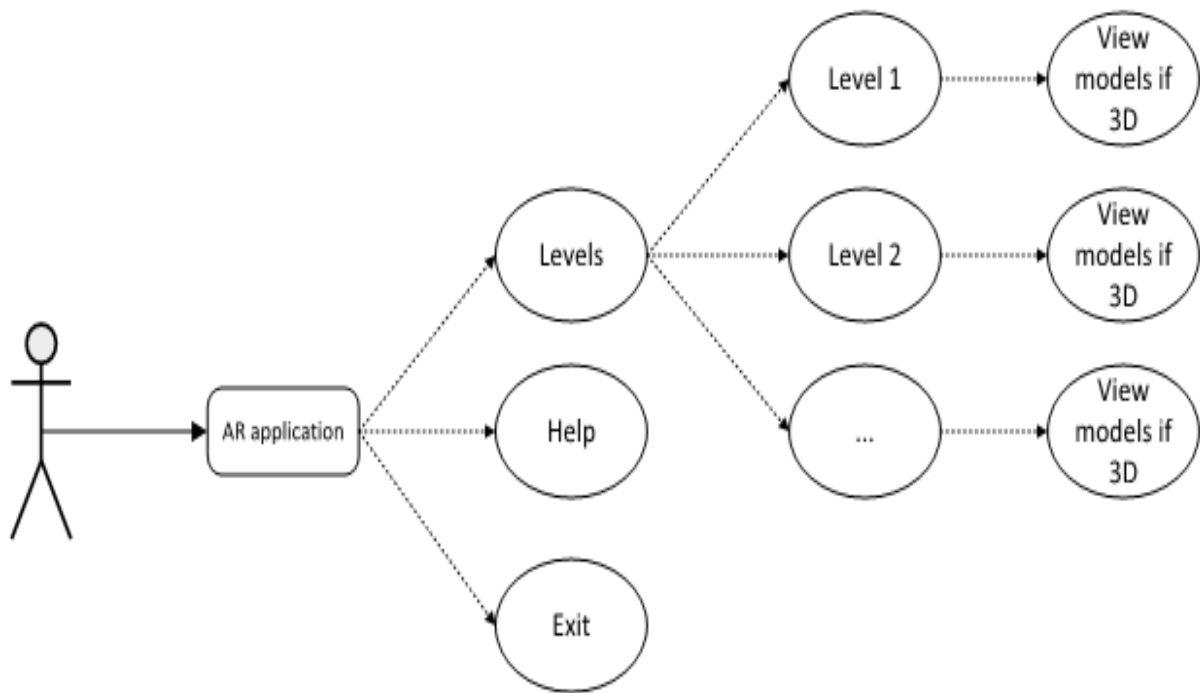


Рис. 2.4 Use case діаграма для додатку AR

Завершальним етапом проектування стало створення ACTIVITY діаграми для додатку яка ілюструє ймовірні сценарії розвитку подій (рис. 2.5). На даному етапі таких варіантів 3:

- перехід до виконання завдань;
- виклик меню допомоги;
- вихід з додатку.

В свою чергу вибір вікна виконання завдань повинен направляти користувача до вікна вибору необхідного завдання. Необхідним є можливість повторення кожного досліду стільки разів скільки учню потрібно для повного розуміння теми, а саме, функціонування обраного фізичного закону на практиці.

В майбутньому планується кнопка виклику підказки для кожної роботи, а також виведення на екран невеликого блоку теоретичного матеріалу, який включатиме формулювання основного правила чи закону, а також формул обчислення, для кращого їх запам'ятовування.

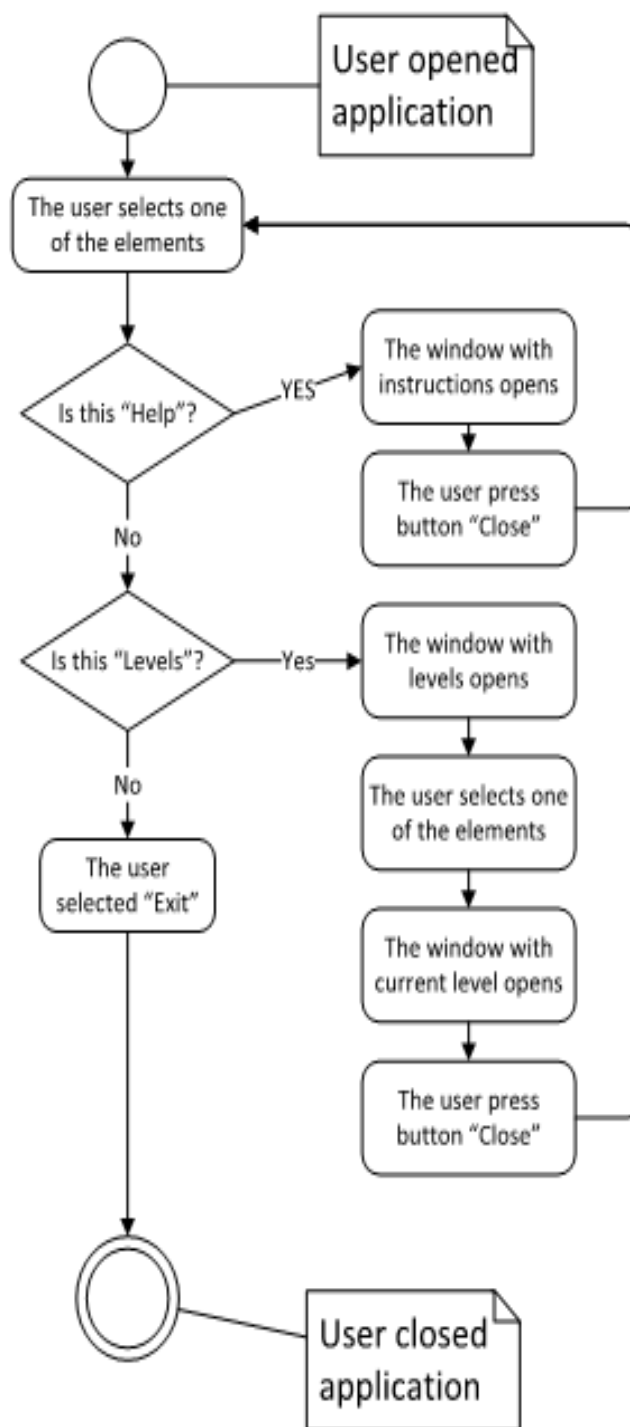


Рис. 2.5 ACTIVITY діаграма для додатку AR

2.2. Проектування 3D об'єктів доповненої реальності навчального призначення

Розробка 3D об'єктів повністю залежить від обраних тригерних зображень. За основу було взято підручник 8 класу з фізики В. Г. Бар'яхтар,

Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, О. О. Кірюхіна. Нами було обрано наступні теми:

- Теплопровідність (Рисунок 2.6)
- Залежність розмірів фізичних тіл від температури (Рисунок 2.12)
- Кипіння. Питома теплота пароутворення (Рисунок 2.3)

Для розробки першим був обраний експеримент з дослідження теплопровідності металів, завдання якого зводиться до закріплення на металевому стержні, який розташований на звичайному штативі, кількох цвяхів за допомогою воску. Далі свічкою починаємо гріти край стержня, і хоча цвяхи закріплені на певній відстані від нього, через хорошу теплопровідність металів, віск починає плавитись і цвяхи падають один за одним починаючи з найближчого до полум'я (рис. 2.6), демонструючи фізичний закон теплопровідності.



Рис. 2.6 Сторінка обраного підручника в електронному форматі

Отже, нам знадобляться такі 3D об'єкти доповненої реальності:

- штатив із закріпленням на ньому металевим стержнем;
- цвяхи;

- свічка;
- фон на якому було б добре видно інші об'єкти;
- зображення-тригер (те на появу якого в полі зору камері зреагує програма і відобразить на дисплеї вище перелічені об'єкти).

В якості зображення-тригера використовуємо «вирізану» з підручника ілюстрацію обраного досліду (рис. 2.7).

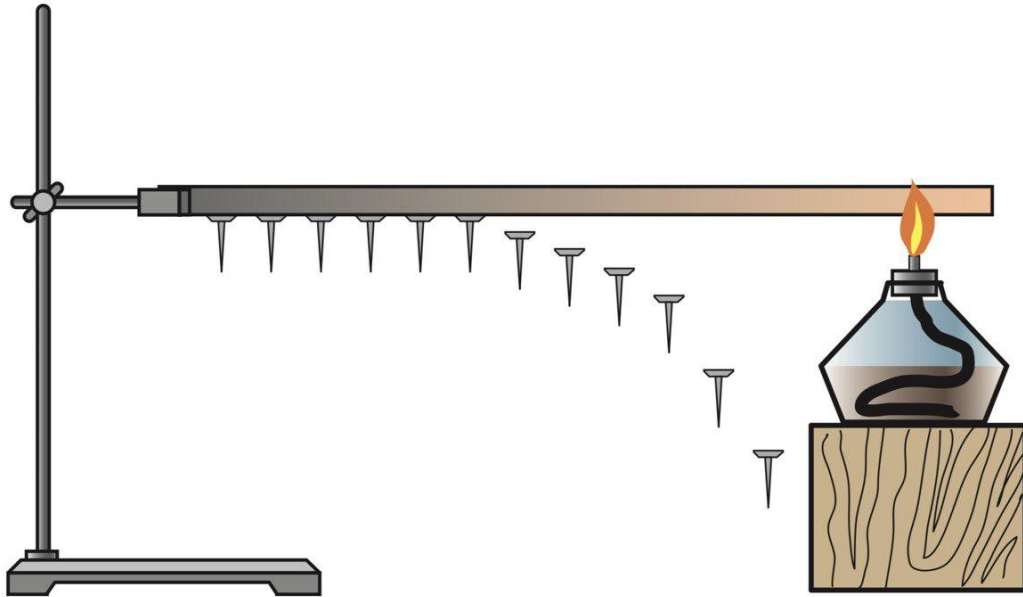


Рис. 2.7 Зображення-тригер для експерименту 1

Далі переходимо безпосередньо до створення 3D об'єктів.

Першим кроком було виконано розробку 3D об'єкта – свічка (рис. 2.8).

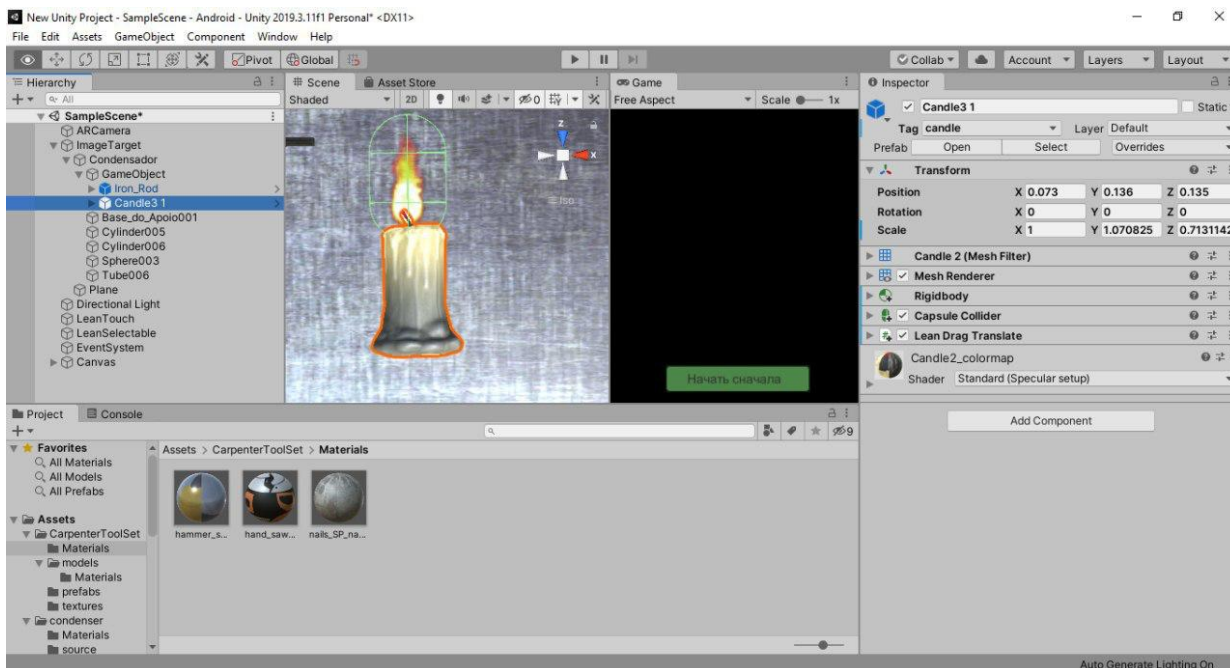


Рис. 2.8 Розробка 3D об'єкта «Свічка».

Її готове тривимірне зображення, як і інші 3D малюнки були завантажені з Asset Store. А полум'ю була додана властивість тригера, щоб система реагувала на його дотик до іншого об'єкта такого типу, а саме металевого стержня, закріпленого на штативі.

В свою чергу цвяхи (рис. 2.9) були закріплені до стержня, шляхом визначення їх об'єктами дочірніми від нього (рис 2.10).

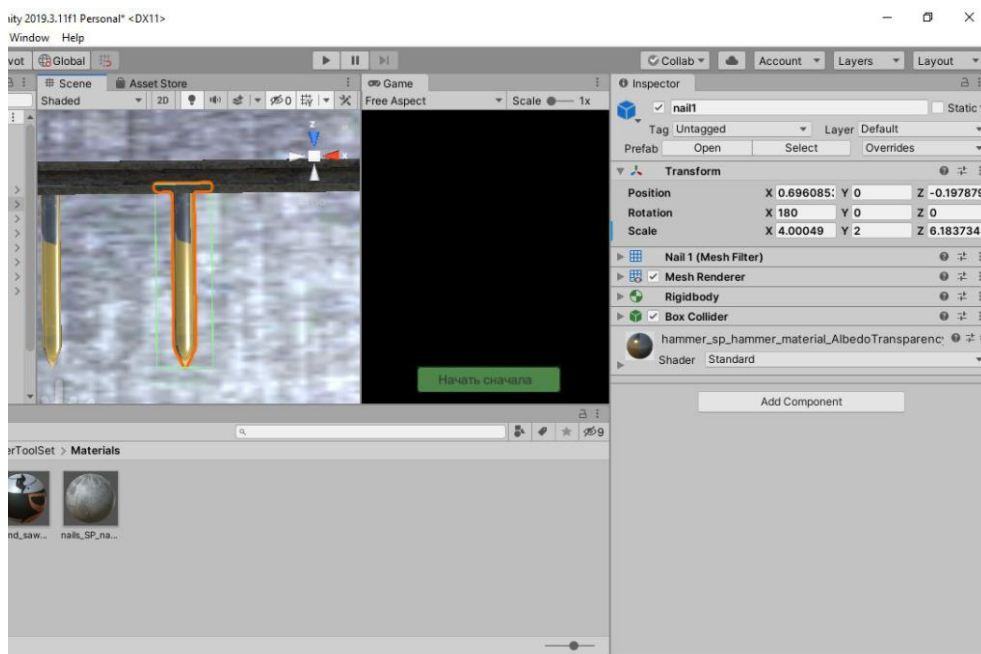


Рис. 2.9 Прикріплення об'єкта цвях до стержня

Взаємодія об'єктів на сцені проекту описується в окремому файлі — скрипті (рис. 2.11). Керуючий скрипт написано мовою програмування С#, в ньому за допомогою функцій описано падіння цвяхів після нагрівання металевого стержня. Початок виконання цього скрипту — це і є реакція системи на дотик двох тригерів.

```

IEnumerator Wait()
{
    int iter=0;
    foreach (GameObject i in listNail)
    {
        yield return new WaitForSeconds(1);
        i.GetComponent<Rigidbody>().isKinematic = true;
        i.transform.localPosition = new Vector3(pos_nail_x[iter], pos_nail_y[iter], pos_nail_z[iter]);
        iter += 1;
    }
}

public void Naildown()
{
    Debug.Log("here");
    StartCoroutine(Wait());
}

private void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.tag == "candle")
    {
        Debug.Log("Hello");
        StartCoroutine(Wait2());
    }
}
}

```

Рис. 2.10 Скрипт, який керує падінням цвяхів

Зважаючи на доцільність використання принципів ООП для роботи з об'єктами, об'єкти було виділено в класи. Як бачимо функція OnTriggerEnter як тільки значення її параметру, а саме поле tag об'єкту Collider (системна назва тригеру) стає "candle", запускає функцію яка керує «падінням» об'єктів класу Цвях.

Тепер залишилось поєднати всі створені й запрограмовані об'єкти на сцені проекту в Unity (рис. 2.11). А також додатково завантажити бібліотеку Lean Touch, і поєднати її з об'єктом «Свічка», щоб зробити можливим її переміщення по сцені проекту за допомогою дотиків до сенсорного дисплею.

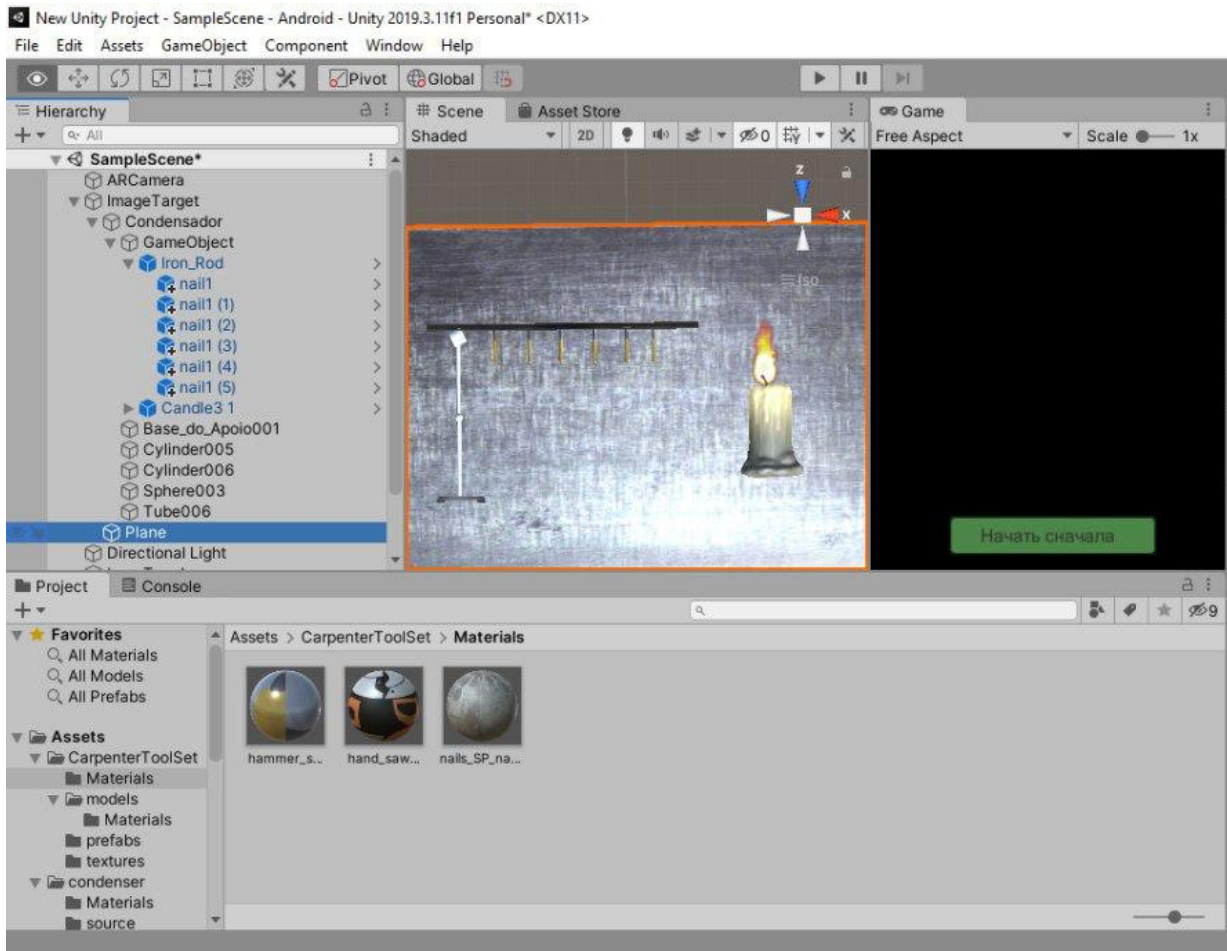


Рис 2.11 Всі об'єкти експерименту 1 поєднано на сцені проекту

Завданням наступного досліду є демонстрація зміни внутрішньої енергії тіла та її вплив на його фізичні властивості. Робота зводиться до виготовлення «терезів», для чого нам знадобляться:

- в'язальна спиця;
- булавки;
- дві морквини;
- свічка, за допомогою якої будемо нагрівати один з кінців наших терезів;
- книга;
- склянка;
- зображення тригера, на яке реагуватиме камера.

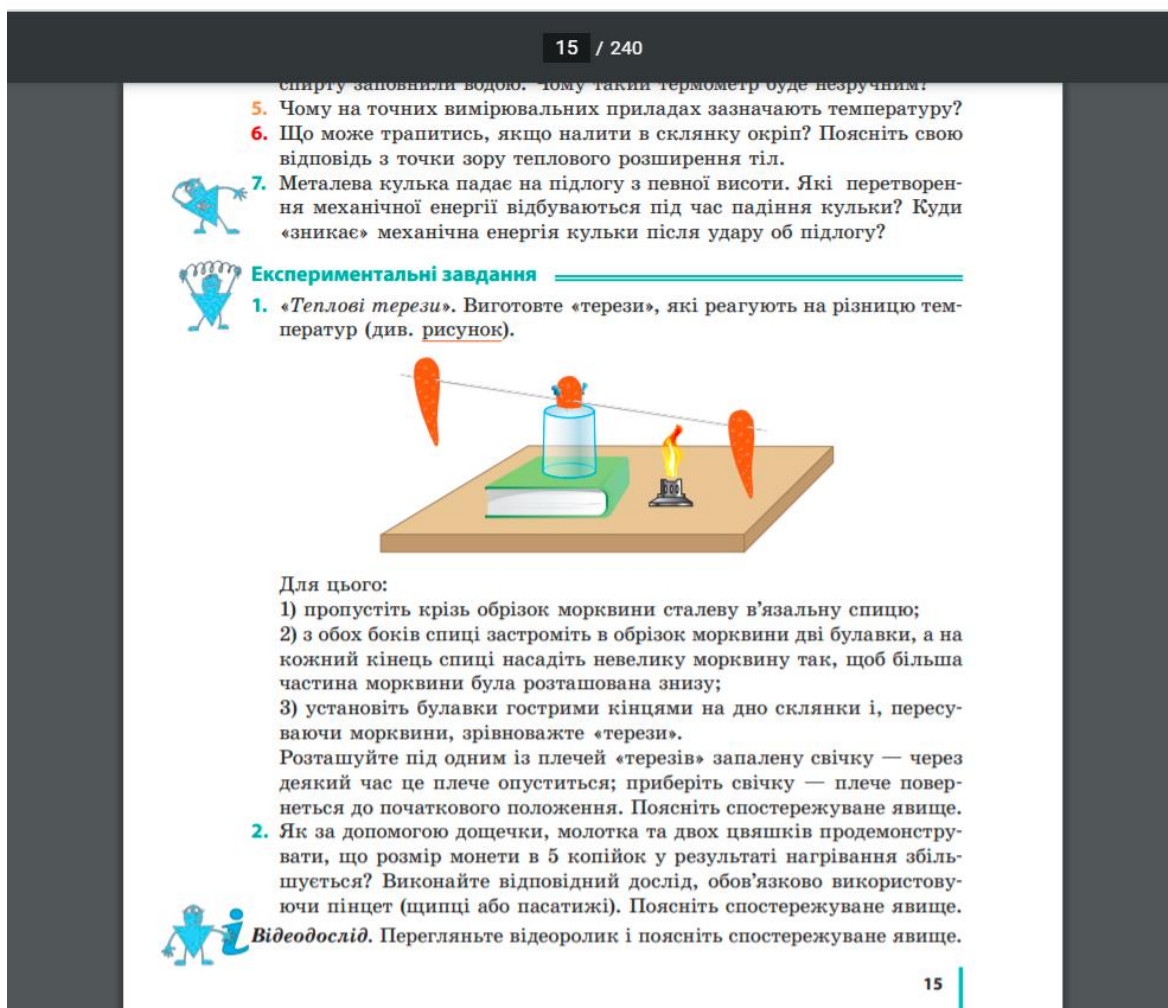


Рис. 2.12 Сторінка підручника з експериментом 2

З Asset Store завантажено відповідні тривимірні зображення книги, спиці, моркви та склянки. Об'єкт свічка разом з усіма його властивостями можна узяти з експерименту 1.

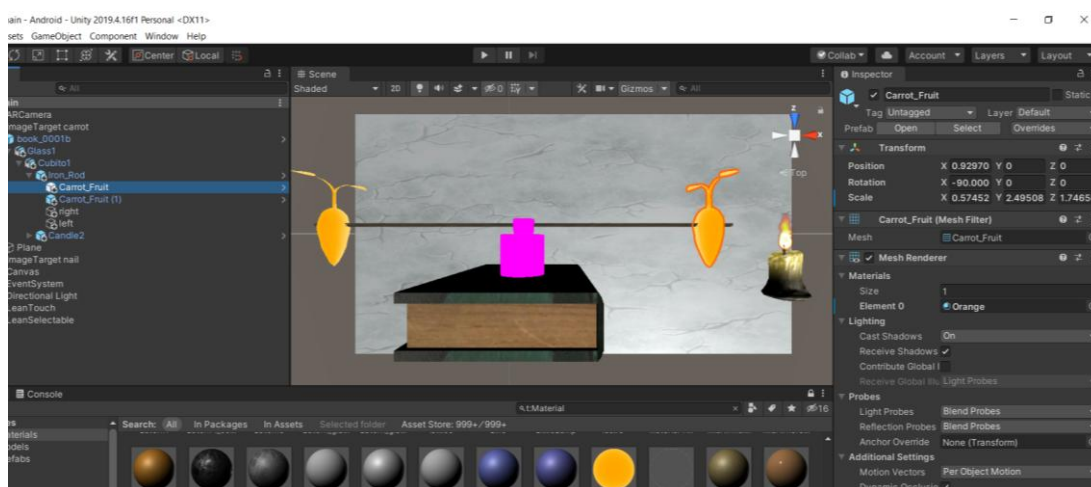


Рис. 2.13 Об'єкти експерименту 2 додано на сцену

В експерименті 2 тригерами встановили полум'я свічки та обрізки моркви. Таким чином під час перетину областей тригерів розпочнеться анімація.

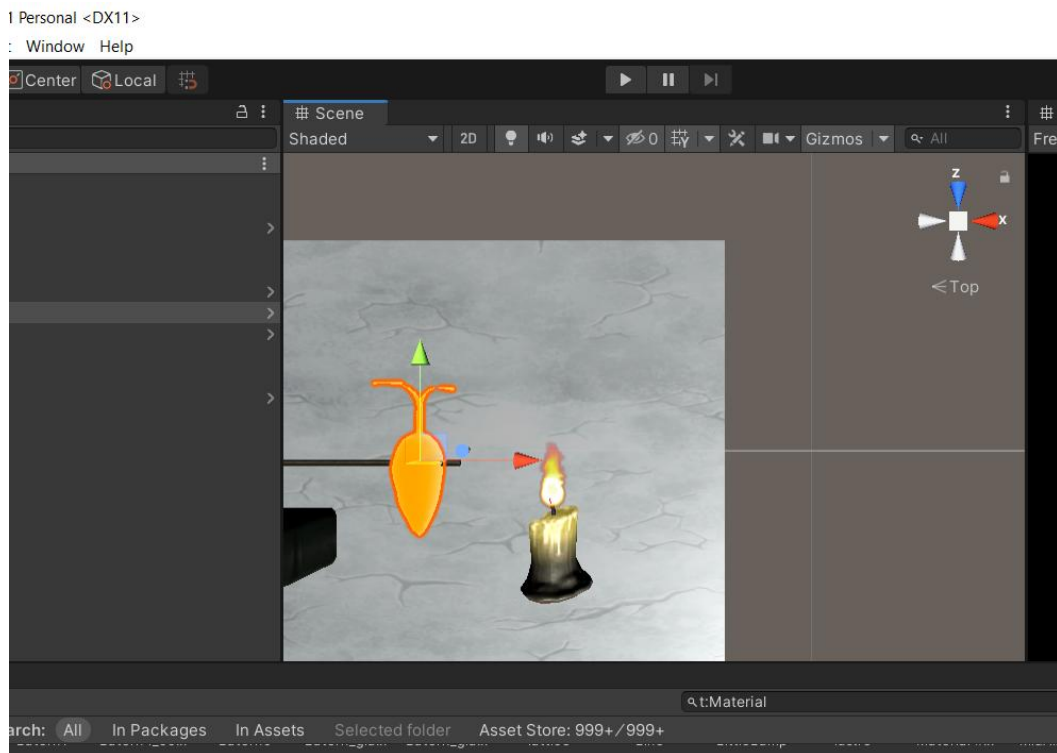


Рис. 2.14 Тригери експерименту 2

У другому експерименті виконання проекту запускає функція `OnTriggerEnter`. В момент коли значення тригеру на моркві стає "candle", запускається функція `Wait2` яка керує поведінкою спиці. Як що ж свічку забрати, то спряцює функція `OnTriggerExit`, яка також перевіряє значення тригеру моркви і запускає функцію `CandleOut`, яка поверне теплові терези в початковий стан.

```

IEnumerator Wait2()
{
    yield return new WaitForSeconds(1);

    foreach (float i in k)
    {
        yield return new WaitForSeconds(1);
        metal.transform.rotation *= Quaternion.Euler(0f, i, 0f);
    }

}

IEnumerator CandleOut()
{
    yield return new WaitForSeconds(1);
    foreach (float i in back)
    {
        yield return new WaitForSeconds(1);
        metal.transform.rotation *= Quaternion.Euler(0f, i, 0f);
    }
}

private void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if (other.tag == "candle_carrot")
    {
        StartCoroutine(Wait2());
    }
}

private void OnTriggerExit(Collider other)
{
    if (other.tag == "candle_carrot")
    {
        StartCoroutine(CandleOut());
    }
}

```

Рис. 2.15 Керуючий скрипт експерименту 2

Останній дослід демонструє кипіння та залежність цього процесу від впливу зовнішніх пристроїв. Якщо трубку для відведення пари затиснути – тиск всередині збільшується, і за рахунок цього температура кипіння збільшується, що можна побачити на електронному термометрі.

Для даного експерименту було створено такі об'єкти:

- Штатив
- Підставка
- Вертикальний стержень
- Горизонтальний стержень
- Щіпці для тримання колби
- Колба
- Електронний градусник
- Шнур для градусника
- Трубка для відведення пари

- Вода
- Кипіння в воді
- Плоскогубці

Температура кипіння води залежить від деяких зовнішніх факторів, а саме від пари. Якщо пара вільно виходить в необмежений простір – термометр показує одні цифри, якщо затиснути трубку для відведення пари – цифри на дисплеї почнуть автоматично змінюватися. Плоскогубці в даному випадку – інтерактивний елемент. Їх можна та необхідно рухати. На них накладений колайдер та на трубку теж, коли торкаються один до одного – спрацьовує код (Рис. 2.16).

```

using System.Collections.Generic;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class Termometer : MonoBehaviour
{
    public float beginValue = 100.0f;
    public float endValue = 110.2f;
    public float speed = 0.1f;
    public Text textObj;

    float rotateValue = 10.0f;
    float currentValue;
    bool isTemperatureRise = false;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        currentValue = beginValue;
        Debug.Log("Termometer inialized");
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other) {
        isTemperatureRise = true;
        Debug.Log("Collided");
        this.gameObject.transform.Rotate(rotateValue, 0, 0);
    }

    void OnTriggerExit(Collider other) {
        isTemperatureRise = false;
        Debug.Log("Enough...");
        this.gameObject.transform.Rotate(-rotateValue, 0, 0);
    }

    // Update is called once per frame
    void FixedUpdate()
    {
        if(isTemperatureRise) {
            currentValue = Mathf.Min(currentValue + speed, endValue);
        } else {
            currentValue = Mathf.Max(currentValue - speed, beginValue);
        }

        if (textObj != null) textObj.text = currentValue.ToString("0.0") + "°C";
    }
}

```

Рисунок 2.16 Приклад коду програми для рисунка

Температура змінюється з початкового значення 100°C до кінцевого 110°C відповідно. На старті змінній `current_value` ставиться значення початкової температури кипіння води. Якщо плоскогубці піднести до трубки для відведення пару – трубка почне згибатися, ніби це роблять плоскогубці. Плоскогубці працюють за схемою стискання двох елементів, які поєднуються пружиною. Трубка легко гнеться та швидко може відновити своє положення.

ВИСНОВКИ

У процесі дослідження проблеми залучення технологій доповненої реальності до навчального процесу, а саме вивчення фізичних законів, розв'язані всі поставлені задачі та отримані результати, узагальнення яких дає можливість зробити наступні висновки.

По-перше, проведений теоретико-технологічний аналіз досвіду застосування засобів доповненої реальності в освіті показав, що попит на програмні модулі навчального призначення використання з використанням AR технологій достатньо високий. Водночас, не дивлячись на значний (більше ніж 60 років) період розвитку технологій розробки таких систем, лише в останні 20 років відкрились технологічні умови для їх широкого упровадження через масове поширення мобільних пристроїв.

По-друге, було встановлено що для розробки засобів доповненої реальності існують зручні, безкоштовні для некомерційного використання SDK, такі як Vuforia, що спрощують процес розробки програмного забезпечення. Великий вибір засобів для проектування і створення додатків з використанням доповненої реальності надає можливість комбінувати їхній функціонал, підключаючи їх у якості модулів до платформи розробки Unity. Відповідно, технологічні вимоги для розробки і створення програмного забезпечення з використанням віртуальної та доповненої реальності визначаються обраними SDK та IDE.

По-третє, аргументована доцільність використання AR додатків для проведення дослідів з вивчення фізичних законів. Завдяки відсутності потреби використання небезпечного й дорогого обладнання такі досліді можуть зайняти своє місце в навчальному плані освітніх закладів.

Створено модель та розроблено AR додаток для проведення двох експериментів: роботи з дослідження теплопровідності металів, а також

досліді зміни внутрішньої енергії тіла та її впливу на фізичні властивості об'єкту.

Проведене дослідження може бути продовжене в напрямі вдосконалення додатку: розширення його функціоналу, збільшення кількості можливих дослідів, розробки більш зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Witmer B., Singer M. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire // *Presence*. 1998. Vol. 7. P. 225—240
2. Piekarski W. Interactive 3D Modelling in Outdoor Augmented Reality Worlds [Electronic resource] : A Research Thesis for the Degree of the Doctor of Philosophy / Wayne Piekarski ; Wearable Computer Lab, School of Computer and Information Science, Division of Information Technology, Engineering, and the Environment, University of South Australia. – Adelaide, 2004. – 264 p. – Access mode : <http://www.tinmith.net/wayne/thesis/piekarski-thesis.pdf>
3. Lessiter J., Freeman J., Keogh Davidoff J. A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2001. Vol. 10. P. 282-29.
4. Величковский Б. Б. Возможности когнитивной тренировки как средства коррекции возрастных изменений когнитивного контроля // *Экспериментальная психология*. 2009. Т. 2. № 4. С. 67-91.
5. Авербух Н. В. Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде // *Вопросы психологии*. 2010. № 5. С. 105—113.
6. <https://osvitoria.media/opinions/virtualna-ta-dopovnena-realnist-yakouy-mozhe-buty-suchasna-osvita/>
7. Krueger M. W. *Artificial Reality* / Myron W. Krueger. – Addison-Wesley, 1983. – 312 p.
8. Krueger M. W. *Responsive environments* / Myron W. Krueger. – AFIPS '77 Proceedings of the June 13-16, 1977, National computer conference, 1977. – P. 423-433. – DOI : 10.1145/1499402.1499476
9. Thomas B. ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application / Bruce Thomas, Ben Close, John Donoghue, John Squires, Phillip De Bondi, Michael Morris, Wayne Piekarski // 4th Int'l Symposium on Wearable Computers, Atlanta, USA, Oct 2000. – P. 139-146. – DOI: 10.1109/ISWC.2000.888480. – Access mode : <http://wearables.unisa.edu.au/wpcontent/uploads/2010/05/thomas-iswc-2000.pdf>
10. Войскунский А. П., Меньшикова Г. Я. О применении систем виртуальной реальности в психологии // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*. 2008. № 1. С. 22-36
11. Cieutat J.-M. Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of 73 Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills [Electronic resource] / Jean-Marc Cieutat, Olivier Hugues, Nehla Ghouaïel // *International Journal of Computer Applications*. – 2012. – Vol. 46. – No 20, May. – P. 31-36. – Access mode : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00739730/document>
12. Restivo M. T. *Augmented Reality in Electrical Fundamentals* [Electronic resource] / M. T. Restivo, F. Chouzal, J. Rodrigues, P. Menezes, B. Patrão

- and J. B. Lopes // International Journal of Online Engineering (iJOE). – 2014. – Vol. 10. – No 6. – P. 68-72. – Access mode : <http://online-journals.org/index.php/ijoe/article/download/4030/3323>
13. Модло Є. О. Використання технології доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі навчання ВНЗ / Є. О. Модло, Ю. В. Єчкало, С. О. Семеріков, В. В. Ткачук // Наукові записки. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. – Кропивницький : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2017. – С. 93-100.
 14. Development environment Unity, [on-line resource] <https://unity3d.com>
 15. Development environment Unreal Engine, [on-line resource] <https://www.unrealengine.com/en-US/what-is-unreal-engine-4>
 16. Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR SDK [Electronic resource] / Wikitude GmbH. – 2018. – Access mode : <https://www.wikitude.com/>
 17. Development environment Google VR, [on-line resource] <https://vr.google.com/>
 18. Vuforia | Augmented Reality for the Industrial Enterprise [Electronic resource] / PTC. – 2018. – Access mode : <https://www.vuforia.com/>
 19. Development environment Windows Mixed Reality, [on-line resource] <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality>
 20. Development environment ARCore, [on-line resource] <https://developers.google.com/ar/>
 21. Development environment ARKit, [on-line resource] <https://developer.apple.com/arkit/>
 22. Mintii I. S. Augmented Reality: Ukrainian Present Business and Future Education [Electronic resource] / Iryna S. Mintii, Vladimir N. Soloviev // Augmented Reality in Education : Proceedings of the 1st International Workshop 76 (AREdu 2018). Kryvyi Rih, Ukraine, October 2, 2018 / Edited by : Arnold E. Kiv, Vladimir N. Soloviev. – P. 227-231. – (CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org), Vol. 2257). – Access mode : <http://ceur-ws.org/Vol2257/paper22.pdf>
 23. Development environment Vuforia, [on-line resource] <https://developer.vuforia.com/>
 24. AREdu 2018 Augmented Reality in Education (AREdu 2018). Proceedings of the 1st International Workshop on Augmented Reality in Education Kryvyi Rih, Ukraine, October 2 (2018), <http://ceur-ws.org/Vol-2257/>.
 25. Augmented Reality in Education (AREdu 2019). Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality in Education Kryvyi Rih, Ukraine, March 22 (2019), <http://ceurws.org/Vol-2547/>.

