

ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ РОБЕРТА ЕЛЬВОРТИ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри
інформаційних технологій

OS

«19» 06 2024 р.

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

на тему:

«Розробка AR додатку до підручника для вивчення
шкільного курсу геометрії»

Васильєва Мар'яна Вікторівна

Керівник кваліфікаційної роботи:
Ізвалов Олексій Володимирович,
кандидат технічних наук

Роботу рекомендовано до захисту
на засіданні кафедри інформаційних технологій
Протокол №10 від «06» 06 2024 р.
Завідувач кафедри інформаційних
технологій

OS Бондар О.П.

Роботу захищено на засіданні ЕК
з оцінкою
Відмін.! *О.А.* / *95*
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Протокол №8 від «06» 06 2024 р.
Голова ЕК _____

АНОТАЦІЯ

Васильєва М.В. Розробка AR додатку до підручника для вивчення шкільного курсу геометрії – Кваліфікаційна робота зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». – Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті, Кропивницький, 2024.

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи складається з 3 розділів, 42 рисунків, 4 таблиць, 23 джерел, 2 додатків. Кваліфікаційна робота присвячена розробці AR додатку до підручника для вивчення шкільного курсу геометрії. Метою виконання даної роботи є покращення якості навчання геометрії в школі за допомогою інтеграції технологій доповненої реальності в освітній процес. У вступі визначено мету роботи та задачі, які необхідно вирішити для її виконання. У розділі 1 «Детальна характеристика предметної області» наведено перелік термінів, що використовуються, побудовано даталогічну та інфологічну моделі системи, що проектується, наведений огляд наявних аналогів, а також сформована постановка задачі. Розділ 2 «Розробка власного проекту» присвячений обґрунтуванню вибраних методів розв'язання задачі, наведено опис вибору проектних рішень, а також детальний виклад етапів власної роботи, наведено висвітлення нового, що вноситься в проект, а також розглянуті різні методи досліджень системи та наведено їх результати. У розділі 3 «Практичне застосування власних проектів» наведено оцінку повноти вирішення поставленої задачі, описано перевірку достовірності отриманих результатів, викладено порівняльний аналіз системи та її аналогів, а також наведено перспективи подальших досліджень та робіт у цій області.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Детальна характеристика предметної області.....	9
1.1 Необхідні теоретичні відомості.	10
1.2 Опис моделей, що використовуються.	14
1.2.1. Інфологічне моделювання предметної області.....	14
1.2.2. Даталогічне моделювання предметної області.....	18
1.2.3. Опис функціональної моделі.	20
1.2.4. Опис типового сценарію взаємодії.	21
1.3. Огляд наявних аналогів.	24
1.4. Постановка задачі.....	29
РОЗДІЛ 2. Розробка власного проекту	31
2.1. Вибір проектних рішень.	31
2.2. Виклад етапів власної розробки.	33
2.2.1. Аналіз підручника.....	35
2.2.2. Створення 3D моделей.	37
2.2.3. Експорт у AR.	42
2.2.4. Створення функцій.	45
2.2.5. Створення відеоконтенту.	48
2.2.6. Налаштування серверної частини.	55
2.2.7. Створення QR кодів.....	56
2.2.8. Тестування.	57
2.2.9. Створення обкладинки для брошури.	57
2.2.10. Створення брошури.	60
2.3. Висвітлення нового, що вноситься у вирішення задачі.....	61
2.4. Застосування методів досліджень.	62
2.5. Результати власних досліджень.....	63
РОЗДІЛ 3. Практичне застосування власних проектів.....	70
3.1. Оцінка повноти вирішення поставленої задачі.....	70

3.2. Перевірка достовірності отриманих результатів.	72
3.3. Порівняння з існуючими аналогами.	73
3.4. Окреслення напрямів подальших досліджень..	76
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

API - Application Programming Interface (Інтерфейс прикладного програмування)

AR - Augmented Reality (Доповнена реальність)

FTP - File Transfer Protocol (Протокол передачі файлів)

HTML – Hyper Text Markup Language (Мова розмітки гіпертексту)

JS - JavaScript (Мова програмування JavaScript)

QR - Quick Response (Швидка відповідь)

VS CODE - Visual Studio Code (Редактор коду Visual Studio)

ВСТУП

У сучасному світі технології відіграють все більш значущу роль у різних сферах життя, зокрема в освіті. З розвитком доповненої реальності (AR) з'явилися нові можливості для підвищення ефективності навчального процесу. Особливо актуальним це є для вивчення таких дисциплін, як геометрія, яка потребує просторового мислення та візуалізації складних об'єктів і концепцій.

Впровадження AR-додатків в освітній процес дозволяє зробити навчання більш інтерактивним і наочним, що сприяє кращому розумінню та засвоєнню навчального матеріалу. AR-додатки можуть забезпечити учнів візуальними моделями геометричних фігур, а також демонструвати їх взаємодію у тривимірному просторі. Це допомагає не тільки покращити успішність учнів, але й підвищити їх інтерес до вивчення предмету.

Традиційні методи навчання геометрії, які базуються на двовимірних зображеннях у підручниках та статичних малюнках на дошці, часто не дають змоги учням повною мірою зрозуміти складні просторові відношення та властивості геометричних фігур. AR-додатки, навпаки, дозволяють інтерактивно взаємодіяти з тривимірними моделями, що сприяє більш глибокому та інтуїтивному розумінню матеріалу.

Мета: покращення якості навчання геометрії в школі за допомогою інтеграції технологій доповненої реальності в освітній процес.

Актуальність теми: у сучасних умовах, коли дистанційне навчання стало невід'ємною частиною освітнього процесу, питання ефективного використання цифрових технологій набуло ще більшої актуальності. Пандемія COVID-19 показала необхідність швидкої адаптації освітніх систем до нових реалій, і технології доповненої реальності (AR) можуть суттєво

покращити якість дистанційного навчання, особливо у вивченні складних предметів, таких як геометрія.

Об'єкт дипломної роботи: інтерактивні навчальні технології у сфері шкільної освіти.

Предмет дипломної роботи: розробка AR-додатку до підручника з геометрії для 10 класу, який дозволяє учням взаємодіяти з тривимірними геометричними моделями та відеоконтентом, створеним на основі теоретичного матеріалу підручника.

Завдання:

1. Проаналізувати існуючі методи та інструменти використання AR в освіті.
1. Визначити ключові вимоги до AR-додатку для вивчення геометрії.
2. Розробити концепцію та функціональні можливості AR-додатку, що доповнює шкільний підручник з геометрії.
3. Реалізувати AR-додаток для вивчення геометрії та провести його тестування.
4. Оцінити ефективність використання AR-додатку в навчальному процесі на основі експериментального впровадження в школі.

Проблеми що вирішуються:

1. Підвищення інтерактивності та залученості учнів: дистанційне навчання часто стикається з проблемою зниження залученості учнів. Використання AR-додатків у процесі вивчення геометрії дозволяє зробити навчання більш інтерактивним та цікавим. Учні можуть взаємодіяти з тривимірними моделями, що сприяє кращому розумінню матеріалу та утриманню уваги.
2. Наочність і візуалізація складних концепцій: геометрія є предметом, де візуалізація відіграє ключову роль. Традиційні методи навчання, засновані на двовимірних зображеннях, часто не можуть повністю передати просторові відношення і властивості геометричних фігур. AR-додатки дозволяють створювати інтерактивні тривимірні

моделі, що допомагає учням краще зрозуміти складні концепції навіть на відстані.

3. Індивідуалізація навчання: AR-додатки можуть бути налаштовані відповідно до індивідуальних потреб учнів. Вони можуть включати різні рівні складності завдань, адаптуватися до темпу навчання кожного учня. Це особливо важливо у дистанційному навчанні, де можливості для індивідуального підходу обмежені.
4. Доступність навчальних матеріалів: використання AR-технологій дозволяє створювати багатофункціональні навчальні ресурси, які учні можуть використовувати у будь-який час і в будь-якому місці. Це забезпечує постійний доступ до навчальних матеріалів, що є важливим у умовах дистанційного навчання.
5. Підвищення цифрової грамотності: інтеграція AR-технологій у навчальний процес сприяє розвитку цифрової грамотності учнів. Вони отримують навички роботи з сучасними технологіями, що є необхідним у сучасному світі, де цифрові компетенції стають все більш затребуваними.

Таким чином, тема "Розробка AR-додатку до підручника для вивчення шкільного курсу геометрії" є надзвичайно актуальною в умовах дистанційного навчання. Вона відповідає сучасним викликам освіти, забезпечує ефективне та інтерактивне навчання, підвищує залученість учнів та сприяє розвитку їхніх цифрових навичок.

РОЗДІЛ 1. Детальна характеристика предметної області

З часом все більше постає питання про покращення якості освіти та підходів до навчального процесу. Одним з аспектів даного питання є підвищення ефективності навчання та залучення учнів до активної взаємодії з навчальним матеріалом. Особливо актуальним це стало в умовах дистанційного навчання, де важливо забезпечити високий рівень засвоєння знань та розвиток просторового мислення. Одним з перспективних методів для досягнення цих цілей є використання технологій доповненої реальності (AR).

Розробка AR-додатку до підручника для вивчення шкільного курсу геометрії є важливим кроком у покращенні взаємодії учнів з навчальним матеріалом. Такий додаток дозволяє візуалізувати складні геометричні поняття за допомогою тривимірних моделей, що сприяє кращому розумінню та запам'ятовуванню матеріалу.

У даній дипломній роботі розроблена AR-система, яка поєднується з підручником з геометрії для 10 класу, дозволяючи учням вивчати складні геометричні концепції за допомогою інтерактивних 3D моделей та відеоконтенту, створеного на основі теоретичного матеріалу підручника. Запропоновано методи розв'язання задачі інтеграції AR-технологій в навчальний процес для покращення якості навчання.

1.1. Необхідні теоретичні відомості

1.1.1. Огляд предметної області

Геометрія - це галузь математики, що вивчає властивості простору, фігур, їхні взаємні відношення та вимірювання

Стереометрія — це розділ геометрії, який вивчає властивості фігур у тривимірному просторі. Вона розглядає об'єкти, такі як точки, лінії, площини, а також різні багатогранники (тетраедри, куби, призми тощо), поверхні обертання (сфери, циліндри, конуси) і інші тривимірні форми.

Переріз — це геометрична фігура, утворена в результаті перетину геометричного тіла площиною.

Многогранник — це геометрична фігура у тривимірному просторі, яка складається з плоских граней, які обмежують певний об'єм. Многогранники можуть бути різних форм та розмірів. Основні властивості многогранників включають кількість граней, вершин, ребер та їхню взаємодію. Деякі з найвідоміших многогранників включають куб, паралелепіпед, піраміду, призму та інші.

Площина (у тривимірному просторі) — безмежна плоска поверхня, що проходить через будь-які три непаралельні точки. Площина у тривимірному просторі характеризується тим, що вона має дві взаємно перпендикулярні напрямні вектори, які можна використовувати для її опису.

1.1.2. Огляд методів та моделей дослідження

Інфологічне моделювання — це процес створення абстрактного, концептуального представлення інформаційних систем або процесів з метою аналізу, проектування та управління ними. Цей підхід використовується для розробки моделей, які відображають основні інформаційні потреби

організації або системи, допомагаючи визначити структуру даних та їх взаємозв'язки.

Даталогічне моделювання — це процес створення детального опису структури даних та їх взаємозв'язків, незалежно від фізичного зберігання даних. Це дозволяє побудувати модель, яка визначає, як дані повинні бути організовані для підтримки бізнес-вимог, без прив'язки до конкретної системи управління базами даних (СУБД). Основна мета даталогічного моделювання — розробити технічну карту правил та структур даних.

Функціональна модель (functional model) — це тип моделі, яка використовується в системній інженерії, програмній інженерії та інших дисциплінах для представлення функціональної структури, процесів та взаємодій системи, проекту або процесу. Вона зосереджена на тому, що система робить, а не як вона це робить, ілюструючи функціональність системи, потоки даних або ресурсів та взаємозв'язки між компонентами без специфікації технічних деталей реалізації.

Алгоритм — це точно визначений набір інструкцій, які вказують, як виконати певне завдання або розв'язати конкретну проблему. Алгоритми використовуються в комп'ютерних науках для розробки програм та в інших областях для автоматизації різноманітних завдань.

Інтерв'ю — це метод збору даних, у якому дослідник ставить питання учасникам дослідження особисто, для отримання від них відповідей та інформації. Інтерв'ю може бути структурованим (заздалегідь визначені запитання) або неструктурованим (більш вільний характер).

Анкетування — це метод збору даних, у якому дослідник передає запитання учасникам дослідження у письмовій формі. Учасники відповідають на ці запитання самостійно, без прямого контакту з дослідником.

1.1.3. Огляд технологій та програмного забезпечення

3D (тривимірна графіка) — це технологія, яка дозволяє створювати та відображати об'єкти з трьома вимірами: шириною, висотою і глибиною [1].

Adobe After Effects — це програма для створення анімації, візуальних ефектів та композицій, яка широко використовується в індустрії кіно, телебачення та веб-дизайну. Вона дозволяє користувачам створювати складні графічні анімації, комбінувати відео, накладати спеціальні ефекти та працювати з тривимірними об'єктами.

A-Frame — це веб-фреймворк для створення віртуальної реальності (VR), розроблений на основі технологій WebVR та WebGL. Він дозволяє створювати VR-сцени, використовуючи HTML-подібний синтаксис, що робить процес розробки доступним для широкого кола розробників.

A-Frame Registry — це офіційний реєстр компонентів, систем та інших ресурсів для фреймворку A-Frame.

AR (Augmented Reality), або доповнена реальність, — це технологія, яка поєднує цифровий контент із реальним світом в режимі реального часу. AR дозволяє накладати комп'ютерно генеровані зображення, відео, звуки та інші мультимедійні елементи на реальне середовище через пристрої, такі як смартфони, планшети, смарт-окуляри та інші пристрої з камерами та екранами [2].

Blender — це потужне та безкоштовне програмне забезпечення для 3D моделювання, анімації, рендерингу, а також для створення візуальних ефектів, ігор та інтерактивних 3D-додатків. Blender є одним із найпопулярніших інструментів серед 3D-художників, розробників і дизайнерів завдяки своїй функціональності та відкритому коду.

Chat GPT — це інтерактивний інтелектуальний агент, який використовує технологію глибокого навчання для спілкування з користувачами в реальному часі.

FTP (File Transfer Protocol) — це протокол передачі файлів, який використовується для обміну файлами між комп'ютерами в мережі Інтернет або локальній мережі. FTP сервер - це комп'ютер, який використовується для зберігання файлів і встановлює з'єднання з іншими комп'ютерами через FTP протокол для передачі цих файлів.

JavaScript — це мова програмування, яка зазвичай використовується для створення динамічного і інтерактивного контенту на веб-сторінках. Вона є однією з трьох основних технологій веб-розробки, поряд з HTML і CSS.

Microsoft Word — це текстовий процесор, що входить до складу офісного пакету Microsoft Office. Він є одним із найпопулярніших інструментів для створення, редагування та форматування документів у різних форматах, таких як .docx, .doc, .rtf та інші.

Mister Horse — популярна надбудова (плагіна) для Adobe After Effects, яка допомагає спростити анімаційні завдання та покращити робочий процес. Ця надбудова пропонує різноманітні інструменти, включаючи анімовані персонажі, бібліотеки готових анімацій, і прості у використанні контроли для анімації.

QR-код (Quick Response code) — це двовимірний штрих-код, який зазвичай складається з чорних квадратів, розміщених на білому фоні. Він може містити інформацію, яка може бути швидко зчитана за допомогою смартфонів, планшетів або спеціальних сканерів.

Visual Studio Code (VS Code) — це безкоштовний, легкий і потужний редактор коду, розроблений корпорацією Microsoft. Він підходить для розробки програмного забезпечення на багатьох мовах програмування і підтримує безліч розширень, що робить його одним із найпопулярніших інструментів серед розробників.

Веб-хостинг — це послуга, яка надається компаніями, що забезпечують зберігання файлів вашого веб-сайту на своїх серверах, щоб ваш сайт був доступний в Інтернеті. При використанні веб-хостингу ви орендуєте простір

на сервері і маєте можливість розміщувати свій веб-сайт, електронну пошту, бази даних та інші файли в Інтернеті.

Ручне тестування (Manual Testing) — це процес випробування програмного забезпечення, який виконується людиною, без автоматизованих інструментів чи скриптів. Під час ручного тестування тестери вручну перевіряють функціональність, ефективність, надійність та інші аспекти програмного продукту.

Функція в програмуванні — це блок коду, який можна викликати з іншого місця програми. Вона складається з набору інструкцій, які виконуються при виклику цієї функції. Функції використовуються для структурування коду, уникнення дублювання коду та полегшення його управління.

Проведений аналіз дозволив обрати технології, моделі та методи, які оптимально підходять до мети та задач поточної роботи.

1.2 Опис моделей, що використовуються

1.2.1. Інфологічне моделювання предметної області

Інфологічне моделювання предметної області включає створення концептуальної схеми даних, що відображає сутності, атрибути та зв'язки між ними. Інфологічне моделювання включає кілька етапів:

1. Визначення предметної області: це перший крок, який передбачає ідентифікацію основних сутностей та понять, що складають предметну область.

2. Визначення атрибутів сутностей: для кожної сутності визначаються її атрибути, тобто властивості або характеристики, які її описують.

3. Встановлення взаємозв'язків між сутностями: визначаються зв'язки між сутностями, що описують, як вони взаємодіють між собою [3].

У випадку AR-додатку для підручника з геометрії (рис. 1.1.), модель буде відображати структуру навчального матеріалу, тривимірні моделі та взаємодії між ними. Серед сутностей інфологічної моделі є підручник, a-asset, a-entity, a-text.

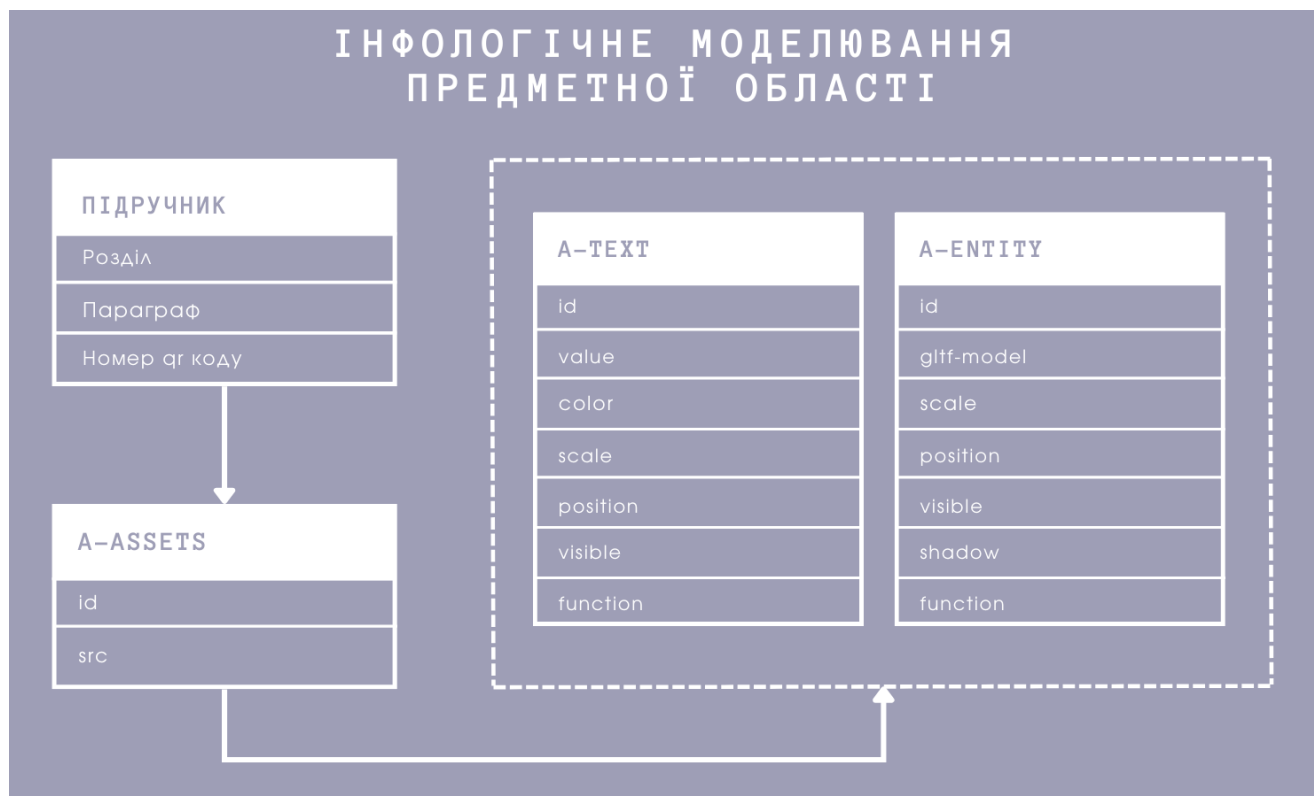


Рис. 1.1. Інфологічне моделювання предметної області

Сутність підручник має такі атрибути як розділ, параграф, номер QR коду. У підручнику є певна кількість розділів, кожен розділ має певну кількість параграфів, кожен параграф має певну кількість моделей, для яких створені QR коди. Сутність підручник має зв'язок з об'єктом a-asset.

3D моделі складаються з певних асетів. Цей елемент призначений для керування та попереднього завантаження ресурсів, таких як моделі, текстури та інші ресурси, забезпечуючи їх доступність перед використанням у сцені. В сутності a-asset подані моделі до QR кодів підручника. Сутність a-asset має атрибути id та src. Атрибут id вказує на унікальний ідентифікатор конкретного об'єкту цієї сутності. Атрибут src вказує на шлях до файлу з

певним ресурсом. З цих ресурсів складаються потім самі 3D моделі. На рис. 1.2. подана програмна реалізація цієї сутності.

```
<a-assets>
  <a-asset-item id="Cube" src="./assets/Cube.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.001" src="./assets/Cube.001.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.002" src="./assets/Cube.002.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.003" src="./assets/Cube.003.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.004" src="./assets/Cube.004.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.005" src="./assets/Cube.005.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.006" src="./assets/Cube.006.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.007" src="./assets/Cube.007.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.008" src="./assets/Cube.008.gltf"></a-asset-item>
  <a-asset-item id="Cube.009" src="./assets/Cube.009.gltf"></a-asset-item>
</a-assets>
```

Рис. 1.2. Програмна реалізація сутності a-asset

Елемент `< a-entity >` є основним будівельним блоком у A-Frame. Він використовується для визначення об'єктів у сцені та може містити компоненти, такі як геометрію, матеріали, анімації та інші властивості, що визначають поведінку об'єкта. В даній інфологічній моделі сутність `a-entity` визначає конкретні 3D моделі. Він має атрибути `id`, `gift-model`, `scale`, `position`, `visible`, `shadow`, `function`. Атрибут `id` вказує на унікальний ідентифікатор конкретного об'єкту цієї сутності. Атрибут `gift-model` вказує на зв'язок сутності `a-entity` з сутністю `a-asset`. Цей атрибут бере значення `id` певного об'єкту з сутності `a-asset`. По суті він вказує як буде виглядати певний об'єкт сутності `a-entity`. Атрибут `scale` визначає масштаб об'єкта у трьох вимірах: по осі X, Y та Z. Атрибут `position` визначає позицію об'єкта у тривимірному просторі. Атрибут `visible` вказує, чи є об'єкт видимим у сцені. Значення цього атрибуту може бути `true` або `false`, де `true` означає, що об'єкт буде видимим, а `false` - що об'єкт буде прихованим. В даній роботі всі об'єкти мають значення `true`. Атрибут `shadow` вказує, чи повинен об'єкт проектувати тінь у сцені. Значення цього атрибуту також може бути `true` або `false`, де `true` означає, що тінь буде проектуватися, а `false` - що тінь не буде проектуватися. У A-Frame, так само як у звичайному HTML, ви можете використовувати

JavaScript для додавання функціональності до вашої віртуальної реальності. Тому у сутності a-entity є атрибут function, який вказує на використанні функції JavaScript для певного об'єкта. На рис. 1.3. подана програмна реалізація цієї сутності.

```
<a-entity id="#Cube" hideonclick gltf-model="#Cube" scale="1 1 1"  
| position="2.5327868461608887 1.4932101964950562 -2.0062599048742413e-07"  
| visible="true" shadow="cast: false" >  
</a-entity>  
<a-entity id="#Cube.009" gltf-model="#Cube.009" scale="1 1 1"  
| position="2.5327868461608887 1.4932101964950562 -2.0062599048742413e-07"  
| visible="true" shadow="cast: false" >  
</a-entity>
```

Рис. 1.3. Програмна реалізація сутності a-entity

Елемент < a-text > у A-Frame використовується для відображення тексту у віртуальній реальності. Він може бути використаний для відображення текстових повідомлень, міток, інструкцій та іншої інформації у вашій сцені. На рис. 1.4. подана програмна реалізація цієї сутності.

```
<a-text id="#A" lat value = "A" color="red" scale="1 1 1"  
| position="1.4334967136383057 0.39368659257888794 1.0996578931808472" visible="true" >  
</a-text>  
<a-text id="#B" lat value = "B" color="red" scale="1 1 1"  
| position="1.4334967136383057 0.39368659257888794 -1.099249005317688" visible="true" >  
</a-text>  
<a-text id="#C" lat value = "C" color="red" scale="1 1 1"  
| position="3.6331849098205566 0.39368659257888794 -1.099249005317688" visible="true" >  
</a-text>  
<a-text id="#D" lat value = "D" color="red" scale="1 1 1"  
position="3.6331849098205566 0.39368659257888794 1.1067692041397095" visible="true" >  
</a-text>
```

Рис. 1.4. Програмна реалізація сутності a-text

В даній інфологічній моделі сутність a-text визначає саме текстові символи. Ця сутність має атрибути id, value, color, scale, position, visible, function. Атрибути id, scale, position, visible, function володіють аналогічними функціями та можливостями, що й a-entity. Атрибут value вказує на текст, який буде відображений. Атрибут color вказує колір тексту. Може бути заданий у форматі назви кольору (наприклад, "red"), RGB (наприклад,

"rgb(255, 0, 0)", або HEX (наприклад, "#FF0000"). Взаємодія сутності a-text з сутністю a-entity відбувається за рахунок визначення координат атрибуту position. Ми створюємо будь-який об'єкт в тому місці, де має бути відповідний текст. Далі з a-entity цього об'єкту беремо автоматично налаштовані координати і додаємо їх в сутність a-text.

1.2.2. Даталогічне моделювання предметної області

Даталогічне моделювання предметної області передбачає перетворення інфологічної моделі в логічну модель даних, яка може бути реалізована в конкретній системі управління базами даних (СУБД) [4]. У цьому процесі визначаються таблиці, атрибути, типи даних, ключі та зв'язки між таблицями (рис. 1.5.).

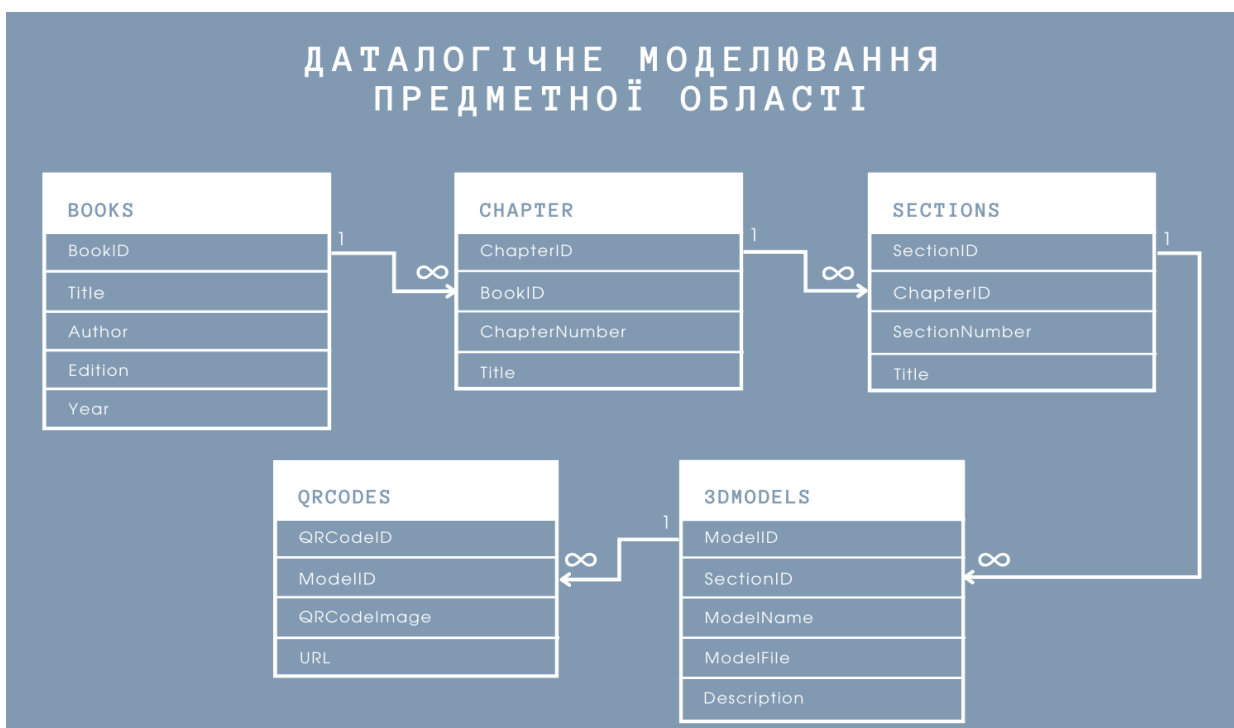


Рис. 1.5. Даталогічне моделювання предметної області

Таблиці:

Books (Підручники):

- BookID (INT, Primary Key) – Ідентифікатор підручника;
- Title (VARCHAR) – Назва підручника;
- Author (VARCHAR) – Автор підручника;
- Edition (VARCHAR) – Видання підручника;
- Year (INT) – Рік видання;

Chapters (Розділи):

- ChapterID (INT, Primary Key) – Ідентифікатор розділу;
- BookID (INT, Foreign Key) – Ідентифікатор підручника (з таблиці Books);
- ChapterNumber (INT) – Номер розділу;
- Title (VARCHAR) – Назва розділу;

Sections (Параграфи):

- SectionID (INT, Primary Key) – Ідентифікатор параграфа;
- ChapterID (INT, Foreign Key) – Ідентифікатор розділу (з таблиці Chapters);
- SectionNumber (INT) – Номер параграфа;
- Title (VARCHAR) – Назва параграфа;

3DModels (3D Моделі):

- ModelID (INT, Primary Key) – Ідентифікатор моделі;
- SectionID (INT, Foreign Key) – Ідентифікатор параграфа (з таблиці Sections);
- ModelName (VARCHAR) – Назва моделі;
- ModelFile (VARCHAR) – Шлях до файлу моделі;
- Description (TEXT) – Опис моделі;

QRCodes (QR-коди):

- QRCodeID (INT, Primary Key) – Ідентифікатор QR-коду;

- ModelID (INT, Foreign Key) – Ідентифікатор моделі (з таблиці 3DModels);
- QRCodeImage (VARCHAR) – Шлях до зображення QR-коду;
- URL (VARCHAR) – URL, який веде до AR-моделі;

В даній даталогічній моделі предметної області використовуються лише зв'язки типу один до багатьох.

1.2.3. Опис функціональної моделі

Функціональна модель описує функції та їх взаємодію в системі [5]. Опишемо варіанти використання системи Користувачем за допомогою схеми варіантів використання, що представлена на рис. 1.6.

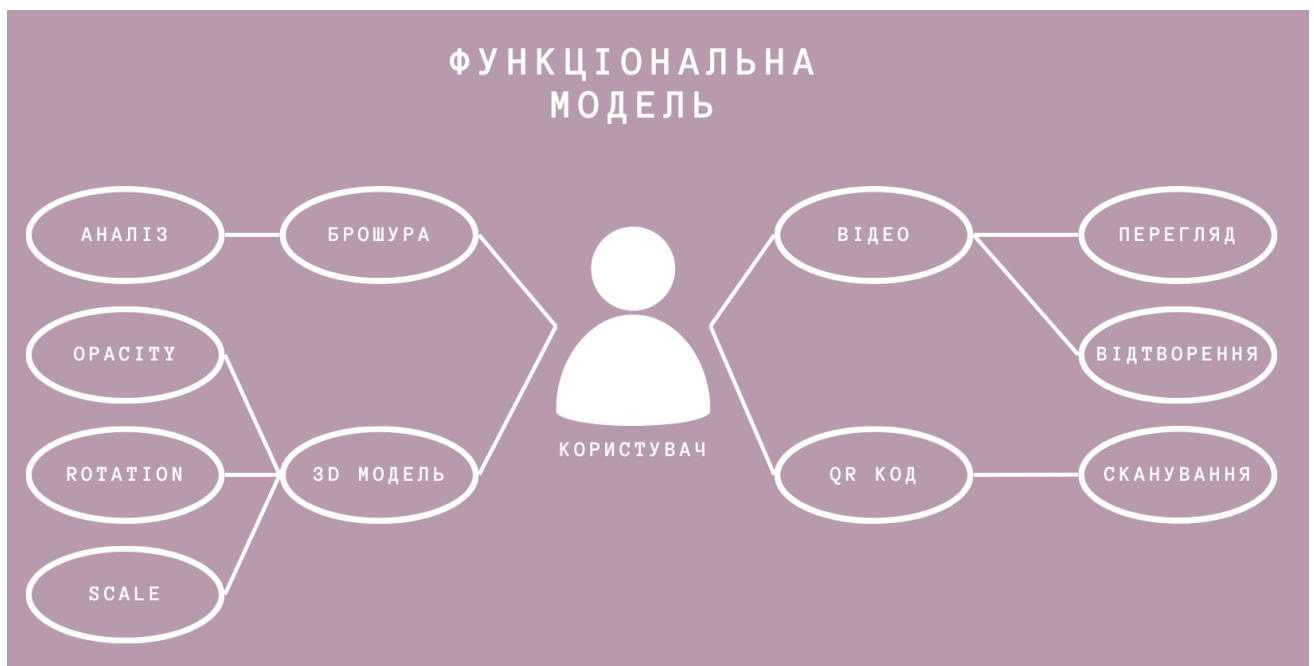


Рис. 1.6. Функціональна модель

Для даної системи існує лише один актор – Користувач, що взаємодіє з нею. Варто зазначити, що фізично дані актори передбачаються як учні 10 класу, котрі взаємодіють з системою, що розробляється, за допомогою прикладного програмного інтерфейсу. Актор може взаємодіяти з різними об'єктами системи.

Взаємодія з брошурою відбувається через її аналіз. Користувач може читати текст зазначений там, шукати потрібні розділи та параграфи і т.д..

Наступним кроком є взаємодія з QR кодом. Знайшовши в брошурі потрібний код, користувач може відсканувати його. Скан QR коду приведе на сторінку, яка буде містити відео або просторову модель.

Перейшовши на сторінку з відео користувач може з ним взаємодіяти. Він може переглянути відео та відтворити побачене на площині (робочий зошит).

У випадку переходу до просторової моделі користувач може з нею взаємодіяти через зміну деяких її властивостей. Цими властивостями є opacity, rotation, scale. При зміні opacity деякі елементи моделі ставатимуть напівпрозорими. При зміні rotation та scale буде лише створюватись ілюзія зміни цих параметрів, насправді буде змінюватись положення самого користувача відносно моделі.

1.2.4. Опис типового сценарію взаємодії

Використання AR-додатку для вивчення геометрії включає кілька ключових етапів, що значно покращують навчальний процес. Учень починає з виконання домашніх завдань, слухає лекції в школі або навчається дистанційно. Якщо виникають труднощі у сприйнятті матеріалу, він може звернутися до AR-додатку. Відкривши брошуру з QR-кодами, учень сканує код, який веде до тривимірної моделі. Взаємодія з моделлю допомагає краще зрозуміти геометричні об'єкти, вирішити задачі, поліпшити засвоєння матеріалу та розвинути просторове мислення.

Типовий сценарій взаємодії проілюстровано на рис. 1.7.

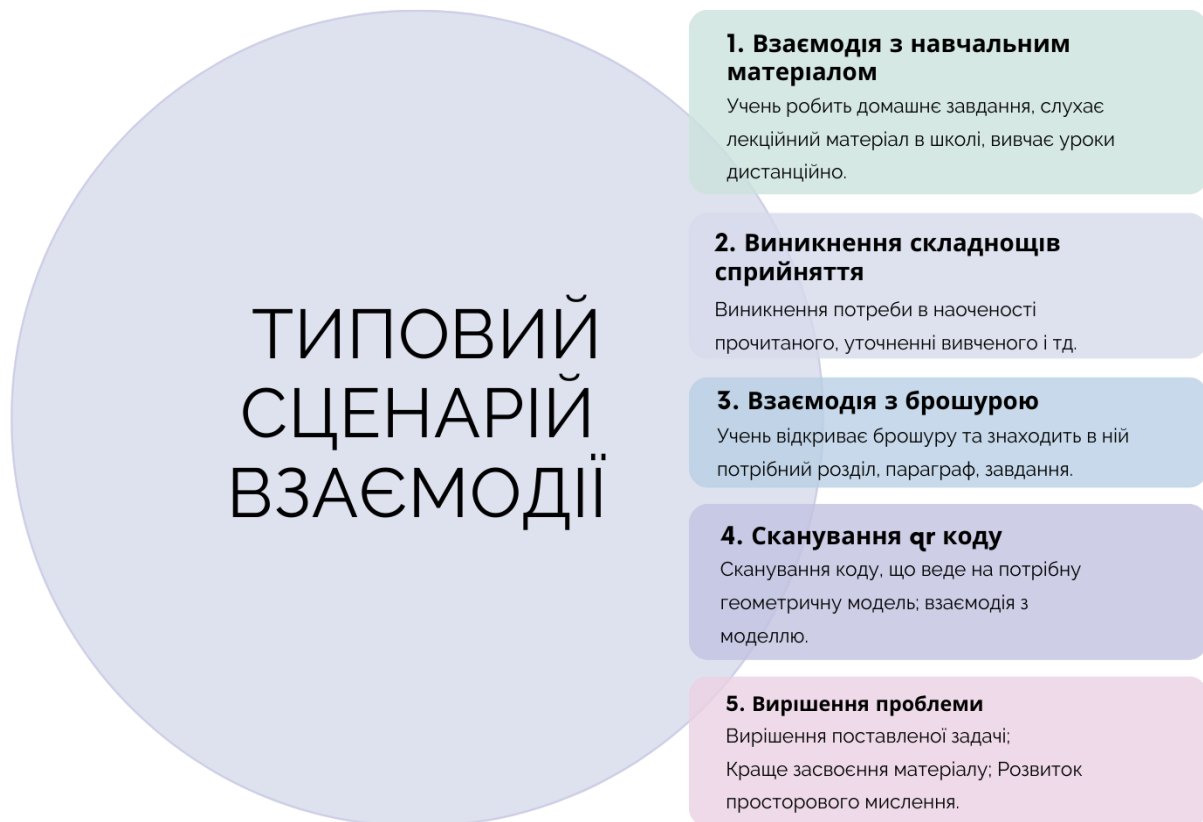


Рис. 1.7. Типовий сценарій взаємодії

1. Взаємодія з навчальним матеріалом:

- *Учень робить домашнє завдання:* Після отримання завдання на уроках учень приступає до його виконання вдома. Він переглядає підручник або конспект, намагаючись самостійно розв'язати поставлені задачі.
- *Слухання лекційного матеріалу в школі:* Під час уроку вчитель пояснює нову тему, використовуючи підручник, дошку та інші навчальні матеріали. Учні записують конспект і намагаються зрозуміти новий матеріал.
- *Вивчення уроків дистанційно:* Під час дистанційного навчання учень переглядає онлайн-уроки, читає електронні підручники та виконує завдання на платформі для дистанційного навчання.

2. Виникнення труднощів зі сприйняттям:

- *Потреба в наочності:* Учень може зіткнутися з труднощами у розумінні теоретичного матеріалу через відсутність наочних прикладів.
- *Уточнення вивченого:* Учень потребує додаткових джерел, щоб краще зрозуміти прочитане. На цьому етапі він може звернутися до додатку.

3. Взаємодія з брошурою:

- *Відкриття брошури:* Учень бере брошуру, яка містить QR коди, та знаходить потрібний розділ, а далі параграф, де описується необхідна тема.
- *Знаходження завдання:* Учень шукає конкретне завдання, яке викликає труднощі.

4. Сканування QR-коду:

- *Сканування коду:* Учень використовує свій смартфон або планшет для сканування QR-коду, який розміщений у брошурі поряд з відповідним теоретичним матеріалом.
- *Перехід до AR-моделі:* Після сканування коду пристрій автоматично відкриває AR-додаток, який завантажує відповідну тривимірну модель геометричного об'єкта.
- *Взаємодія з моделлю:* Учень може обертати, масштабувати та вивчати тривимірну модель, переглядаючи її з різних кутів. Додаток може також змінювати прозорість об'єктів, щоб краще було видно будь які частини фігури.

5. Вирішення проблеми:

- *Вирішення задачі:* Завдяки взаємодії з AR-моделлю учень краще розуміє структуру та властивості геометричних об'єктів, що допомагає йому вирішити поставлену задачу.
- *Краще засвоєння матеріалу:* Використання наочних та інтерактивних інструментів сприяє кращому запам'ятовуванню та розумінню матеріалу.

- *Розвиток просторового мислення:* Постійна робота з тривимірними моделями розвиває у учня просторове мислення, що є ключовим для вивчення геометрії та інших природничо-наукових дисциплін.

1.3. Огляд наявних аналогів

У 70-х роках в СРСР публікували підручники зі стереометрії, в яких використовувалися червоні та зелені креслення. До таких підручників додавалися спеціальні червоно-зелені окуляри, які дозволяли бачити креслення у 3D, подібно до сучасних 3D-фільмів у кінотеатрах. Ця технологія використовувалася для наочного представлення тривимірних об'єктів у навчанні, що значно полегшувало розуміння просторових структур [6].

Одним з відомих таких підручників був "Стереометрия" під редакцією В.А. Усенка та Н.А. Ягодіна, виданий у 1974 році. В цьому підручнику креслення були виконані в червоно-зеленій гамі, що забезпечувало ефект об'ємного зображення при використанні спеціальних окулярів [7].

Цей підхід був інноваційним для свого часу та мав на меті поліпшити якість освіти в області геометрії, роблячи навчання більш інтерактивним та цікавим для студентів.

Серед наявних цифрових аналогів приведу додаток GeoGebra та XSection.

GeoGebra (рис. 1.8.)

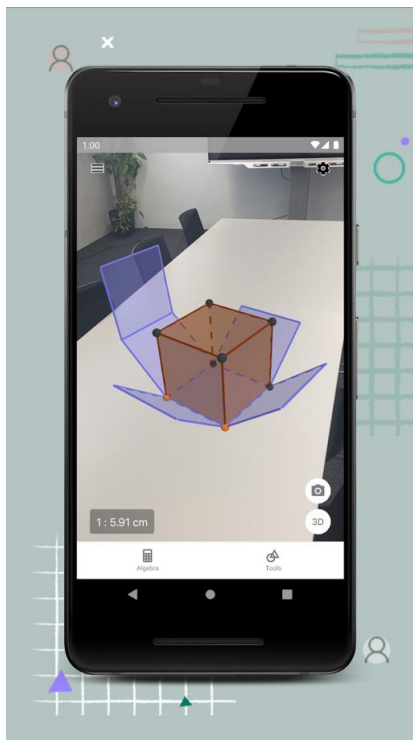


Рис. 1.8. Інтерфейс мобільного додатку GeoGebra

«Легко вирішуйте 3D-математичні задачі, будуйте 3D-графіки функцій і поверхонь, створюйте геометричні конструкції в 3D, зберігайте та діліться своїми результатами. З увімкненою доповненою реальністю ви можете розміщувати математичні об'єкти на будь-якій поверхні та ходити навколо них! [8].»

- Опис додатку на платформі Google play

Функціональні переваги:

- Побудова функції $f(x,y)$ і параметричних поверхонь
- Створення тіл, сфер, площин та багатьох інших 3D-об'єктів
- Отримання точок перетину та перерізів
- Збереження своїх результатів

Недоліки:

- Складність у використанні для новачків: GeoGebra пропонує широкий спектр функцій та інструментів, що може бути

складним для нових користувачів. Навчання роботі з цим додатком може вимагати значного часу та зусиль, особливо для тих, хто не має досвіду роботи з подібними програмами.

- **Перевантаженість інтерфейсу:** інтерфейс GeoGebra може здаватися перевантаженим через велику кількість опцій та панелей інструментів. Це може бути заплутано для користувачів, які намагаються знайти потрібні функції, що впливає на ефективність використання додатку.
- **Вимоги до апаратного забезпечення:** для комфортної роботи з GeoGebra потрібен досить потужний комп'ютер, особливо коли йдеться про складні графічні побудови та тривимірні моделі. На старих або слабких комп'ютерах програма може працювати повільно або нестабільно.
- **Обмежена мобільна версія:** хоча GeoGebra має мобільні версії, вони не завжди забезпечують такий самий рівень функціональності, як версія для ПК. Деякі функції можуть бути відсутні або обмежені, що впливає на користувацький досвід.
- **Недостатня підтримка деяких освітніх стандартів:** GeoGebra може не повністю відповідати певним національним освітнім стандартам або програмам. Це може стати проблемою для вчителів, які прагнуть точно відповідати навчальним програмам своїх країн.
- **Відсутність гнучкості у створенні кастомізованих завдань:** хоча GeoGebra дозволяє створювати інтерактивні завдання, цей процес може бути досить складним і не завжди інтуїтивно зрозумілим. Вчителям може бути важко створювати кастомізовані завдання, що відповідають специфічним потребам їхніх учнів.

XSection (рис. 1.9)

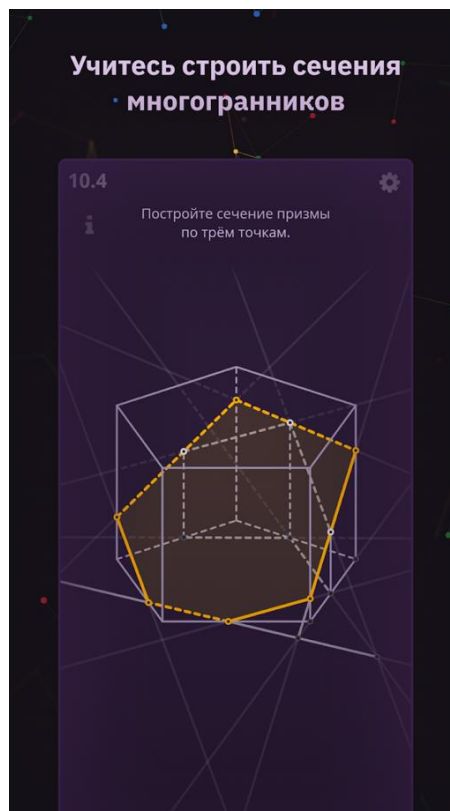


Рис. 1.9. Інтерфейс мобільного додатку XSection

«XSection - це інтерактивний тренажер зі стереометричних завдань. Він навчає роботі із зображеннями багатогранників, ліній та площин. Усі завдання вирішуються без громіздких обчислень. Додаток містить усі необхідні відомості з теорії, а забуті визначення можна переглянути у словничку [9].»

- Опис додатку на платформі Google play

Функціональні переваги:

- Освітня спрямованість: XSection надає понад 100 завдань, розподілених на 11 розділів, починаючи від базових понять і закінчуючи більш складними завданнями.
- Різноманітність завдань: серед тем включені призми, куби, паралелепіпеди, піраміди та тетраедри, перетини багатогранників, методи слідів та внутрішньої проекції.

- Інтерактивне навчання: додаток забезпечує покрокові інструкції та теоретичні пояснення, що дозволяє користувачам вчитися на практиці.
- Прогресивне розблокування рівнів.

Недоліки:

- Проблеми з продуктивністю: користувачі скаржаться на те, що додаток часто зависає або працює повільно, що ускладнює його використання у важливих ситуаціях.
- Помилки та баги: деякі користувачі повідомляють про баги, які призводять до некоректного відображення даних або до несподіваних закриттів додатку.
- Інтерфейс користувача: є скарги на те, що інтерфейс додатку складний і не інтуїтивний, особливо для нових користувачів. Це створює труднощі у швидкому освоєнні функціоналу.
- Відсутність важливих функцій: деякі користувачі зазначають, що додаток не має деяких важливих функцій, які є у конкурентних додатках. Це знижує його корисність для певних задач.
- Проблеми з оновленнями: після оновлень додатка користувачі іноді стикаються з новими проблемами, що свідчить про недостатнє тестування перед випуском оновлень.
- Недостатня підтримка користувачів: є відгуки, що служба підтримки не завжди оперативно реагує на звернення користувачів або не вирішує їхні проблеми належним чином.

Головна відмінність даних додатків від того, що розробляється в наведеній роботі це основна ціль додатку. Аналоги створені для того аби учень сам створював потрібну йому модель, моя робота надає готові рішення, які відповідають навчальній програмі.

1.4. Постановка задачі

В сучасних умовах дистанційного навчання виникає потреба у використанні інноваційних технологій для покращення якості освіти та взаємодії учнів з навчальним матеріалом. Особливо актуально це для складних дисциплін, таких як геометрія, де учням часто важко зрозуміти абстрактні просторові концепції за допомогою традиційних підручників.

Для вирішення цієї проблеми було поставлено такі задачі:

- Вибір підручника: обрати конкретний підручник з геометрії.
- Створення 3D моделей: розробити тривимірні моделі геометричних об'єктів за допомогою програмного забезпечення Blender; підготувати моделі для інтеграції в AR-додаток.
- Експорт 3D моделей в AR-додаток: використати середовище розробки Visual Studio Code (VS Code) для створення веб-додатку з використанням тривимірних моделей; забезпечити коректне відображення моделей у доповненій реальності.
- Розробка функціональності додатку: реалізувати основні функції додатку за допомогою JavaScript, включаючи навігацію по розділах і параграфах підручника, інтерактивну взаємодію з 3D моделями та сканування QR-кодів.
- Налаштування серверної частини: організувати зберігання та обробку даних додатку на веб-хостингу з підтримкою FTP сервера; забезпечити надійний доступ до ресурсів додатку та їх безпеку.
- Створення QR-кодів: згенерувати QR-коди для кожної тривимірної моделі, що будуть використані для швидкого доступу до AR-контенту; використовувати сервіси, такі як ChatGPT, для автоматизації процесу створення QR-кодів.
- Тестування додатку: провести ручне тестування для виявлення та виправлення помилок у роботі додатку.

- Створення брошури: підготувати інструктивну брошуру з використанням MS Word, що міститиме опис додатку, інструкції для користувачів та QR-коди для доступу до тривимірних моделей.

Такий підхід дозволяє чітко окреслити межі дослідження, зосередитись на конкретних аспектах розробки AR-технологій для освітнього процесу.

РОЗДІЛ 2. Розробка власного проекту

2.1. Вибір проектних рішень

Розробка AR-додатку для підручника з геометрії вимагає обґрунтованого вибору проектних рішень, які забезпечать оптимальну функціональність, зручність використання та ефективність реалізації. Опишу основні етапи проектування та вибору технологій.

1. Вибір підручника.

Обрано підручник "Математика" (Бевз) для 10 класу, видання 2018 року. Цей підручник є широко використовуваним у навчальних закладах України та містить актуальний навчальний матеріал, який відповідає сучасним програмам.

2. Створення 3D моделей.

Обрано використання програмного забезпечення Blender для створення тривимірних моделей. Blender є безкоштовним та потужним інструментом для створення 3D графіки, який підтримує різні формати експорту, необхідні для інтеграції з AR-додатками [10].

3. Експорт 3D моделей в AR-додаток.

Для процесу експорту обрано фреймворк A-Frame. A-Frame використовує простий HTML-синтаксис, що робить його доступним для веб-розробників, які вже знайомі з HTML [11].

Як середовище розробки для створення веб-додатку з AR-функціональністю обрано використання Visual Studio Code (VS Code). VS Code є популярним середовищем розробки з підтримкою численних плагінів, що робить його зручним для написання коду на JavaScript, HTML і CSS [12].

4. Створення функцій

Обрано використання JavaScript для реалізації основних функцій додатку. JavaScript є основною мовою програмування для веб-додатків і

підтримує фреймворки, такі як A-Frame, які спрощують розробку AR-додатків [13].

5. Створення відеоконтенту.

Обрано використання Adobe After Effects для створення відео з покроковими поясненнями щодо зображення просторових фігур на площині. Adobe After Effects є потужним інструментом для створення та редагування відеоконтенту [14], що дозволяє створити високоякісні інструкційні відео, які допоможуть учням зрозуміти складні геометричні концепції.

6. Налаштування серверної частини.

Обрано використання веб-хостингу з FTP сервером для зберігання та обробки даних. Веб-хостинг з FTP сервером забезпечує надійний доступ до ресурсів додатку, дозволяє легко завантажувати та оновлювати файли, а також забезпечує безпеку даних [15].

7. Створення QR-кодів.

Обрано використання ChatGPT для автоматизації процесу створення QR-кодів. ChatGPT дозволяє швидко генерувати QR-коди за наданим посиланням.

8. Тестування.

Обрано проведення ручного тестування (Manual testing) для перевірки функціональності та зручності використання додатку. Ручне тестування дозволяє виявити можливі помилки та недоліки на ранніх етапах розробки, що забезпечує високу якість кінцевого продукту [16].

9. Створення обкладинки для брошури

Обрано використання Adobe Illustrator для створення обкладинки брошури. Adobe Illustrator є професійним інструментом для створення векторної графіки, який дозволяє створити високоякісну та привабливу обкладинку для брошури, що підкреслить її професійний вигляд і додасть естетичної цінності.

10. Створення брошури.

Обрано використання MS Word для створення інструктивної брошури. MS Word є зручним інструментом для створення текстових документів, що дозволяє легко підготувати брошуру з інструкціями для користувачів та QR-кодами для доступу до тривимірних моделей.

Вибір проектних рішень спрямований на створення функціонального, зручного та ефективного AR-додатку для підручника з геометрії. Використання сучасних технологій та інструментів забезпечить високу якість реалізації проекту та покращить навчальний процес для учнів.

2.2. Виклад етапів власної розробки

Розробка проекту складалася з таких етапів:

1. Аналіз підручника: вибір розділів та тем, які будуть доповнені AR-елементами. Виділення ключових геометричних тем, що потребують візуалізації (наприклад, многогранники, перетини площин).
2. Створення 3D моделей: моделювання (створення тривимірних моделей геометричних фігур, які будуть використовуватися в AR-додатку), текстурування та освітлення (додавання текстур та налаштування освітлення для покращення візуального сприйняття моделей), експорт (експорт моделей у форматі, який підтримується AR-додатком).
3. Експорт у AR: інтеграція 3D моделей (імпорт створених 3D моделей у проект AR-додатку), налаштування (налаштування позицій, масштабів та орієнтації моделей для коректного відображення у додатку).
4. Створення функцій: взаємодія з моделями (написання скриптів для інтерактивної взаємодії з 3D моделями (обертання, зміна положення)), зміна прозорості (зміна прозорості певних елементів фігури при натисканні на них), положення літер (написання скрипту для зміни положення літер відповідно до спостерігача).
5. Створення відеоконтенту: розробка концепції (визначення теми та обсягу відеоконтенту, який буде створений), написання сценарію

(деталізація кожного кроку відео, включаючи пояснення, демонстрацію побудов та додаткову інформацію), анімація (створення анімацій для покрокових інструкцій), редагування (обробка відео для забезпечення плавності переходів, додавання текстових пояснень, ефектів та інших елементів, що підвищують якість відео), експорт відео (збереження готового відео у відповідних форматах (наприклад, MP4) для подальшого використання).

6. Налаштування серверної частини: веб-хостинг (вибір веб-хостинг сервісу з підтримкою FTP), налаштування FTP сервера (налаштування доступу до серверу для завантаження та оновлення файлів AR-додатку), завантаження файлів (завантаження всіх необхідних файлів (HTML, CSS, JavaScript, 3D моделі) на сервер).
7. Створення QR кодів: створення посилань (генерація посилань на відповідні моделі або сторінки AR-додатку), генерація QR-кодів (створення QR-кодів для кожного посилання, які будуть розміщені у підручнику або брошурі), валідація (перевірка правильності роботи QR-кодів для забезпечення безперебійного доступу до AR-контенту).
8. Тестування: функціональність (перевірка коректної роботи всіх функцій додатку (взаємодія з моделями)), сумісність (тестування додатку на різних пристроях (смартфони, планшети) та платформах (iOS, Android)).
9. Створення обкладинки для брошури: розробка концепції (визначення загальної ідеї та тематики обкладинки, яка буде відповідати стилю та змісту брошури), створення векторної графіки (використання можливостей Adobe Illustrator для створення високоякісної векторної графіки), дизайн та компоновання (розміщення елементів дизайну, таких як заголовки, логотипи, зображення та інші графічні елементи на обкладинці), інтеграція текстових елементів (вставка текстових елементів, таких як назва брошури, підзаголовки, короткі описи та авторська інформація), перевірка якості (перевірка обкладинки на

відповідність технічним вимогам для друку або цифрового розповсюдження).

10. Створення брошури: написання тексту (створення текстового контенту, що пояснює принципи роботи AR-додатку, інструкції для користувачів, та додаткова інформація про геометричні теми), розміщення QR-кодів (вставка QR-кодів у відповідні місця брошури для забезпечення легкого доступу до AR-контенту), форматування (оформлення брошури з урахуванням зручності використання та естетичної привабливості).

2.2.1. Аналіз підручника

Аналіз підручника є важливим етапом у розробці AR-додатку, оскільки він визначає, які розділи і теми будуть включені до інтерактивного контенту. Детальний аналіз дозволяє визначити ключові поняття, які потребують візуалізації, та оптимальні методи їх представлення у доповненій реальності.

Першим кроком слід провести розгляд змісту для отримання загального уявлення про розділи і теми, що включені в курс геометрії. Зміст допомагає визначити ключові розділи, які потребують детального аналізу. Обраний підручник складається з двох частин — алгебра та геометрія. В даній роботі розглянуто частину геометрія. Далі детальніше наведено структуру підручника [17]. Частина геометрії складається з трьох розділів:

- РОЗДІЛ 4. ПАРАЛЕЛЬНІСТЬ ПРЯМИХ І ПЛОЩИН У ПРОСТОРИ;
- РОЗДІЛ 5. ПЕРПЕНДИКУЛЯРНІСТЬ ПРЯМИХ І ПЛОЩИН У ПРОСТОРИ;
- РОЗДІЛ 6. КООРДИНАТИ І ВЕКТОРИ У ПРОСТОРИ.

Далі йде процес визначення графічних елементів, які будуть створені у вигляді 3D моделей. Це можуть бути об'ємні фігури (куби, піраміди, конуси), площини, перетини тощо. Для реалізації у додатку було обрано лише перші

два розділи (розділ 4 та розділ 5), тому що вони безпосередньо стосуються стереометрії та просторових фігур, розділ 6 стосується векторів у просторі, тому його не було враховано.

Розділ 4 включає в себе вісім параграфів:

- §20. Основні поняття стереометрії;
- §21. Аксиоми стереометрії;
- §22. Наслідки з аксіом стереометрії;
- §23. Прямі у просторі;
- §24. Паралельне проектування;
- §25. Зображення фігур у стереометрії;
- §26. Паралельність прямої і площини;
- §27. Паралельність площин.

Не були реалізовані §21, §24, §27 через відсутність в них теоретичного матеріалу, котрий підходить для задуманої візуалізації. Не дивлячись на відсутність такого матеріалу і в §25, він все ж був реалізований у додатку, проте в інший спосіб, а саме — відеоконтент. В параграфі розповідається про зображення просторових фігур на площині (в даному випадку робочий зошит учня). Саме цей алгоритм дій був проілюстрований в ряді навчальних відеороликів.

Розділ 5 включає в себе п'ять параграфів:

- §28. Кут між прямими. Перпендикулярність прямих;
- §29. Перпендикулярність прямої і площини;
- §30. Перпендикуляр і похила до площини;
- §31. Перпендикулярні площини;
- §32. Відстані у просторі.

Цей розділ був повністю реалізований у додатку.

Аналіз підручника є фундаментальним етапом, який визначає зміст і структуру AR-дodatku, дозволяючи створити ефективний і зрозумілий інструмент для вивчення геометрії.

2.2.2. Створення 3D моделей

Процес створення 3D моделей описано на прикладі створення однієї з базових моделей — куба (рис. 2.1.).

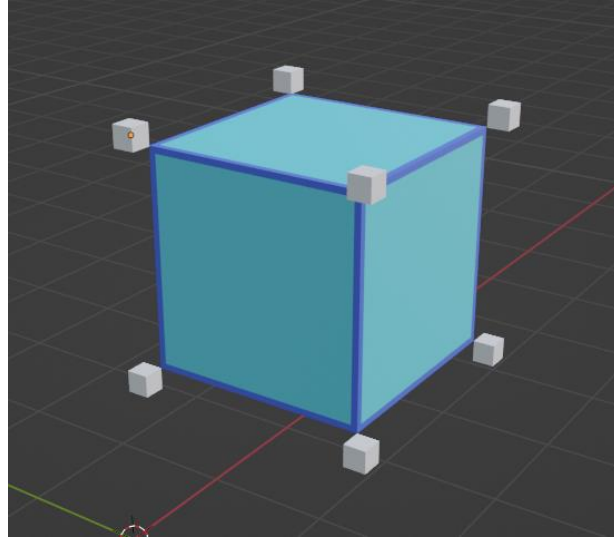


Рис. 2.1. Модель куба

Для початку зібрано візуальні референси та приклади, які допоможуть у створенні точних і реалістичних моделей. В даному випадку це зображення з підручника. Відповідний малюнок для моделі, що створюється представлений на рис. 2.2.

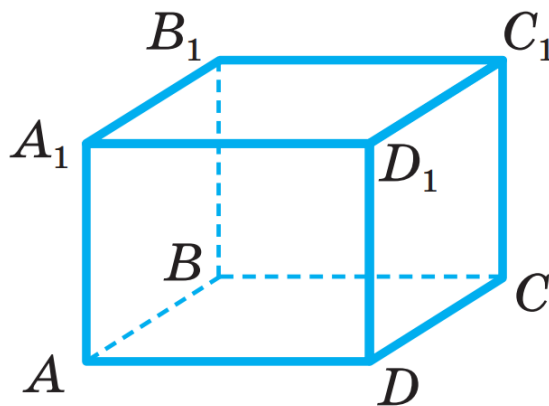


Рис. 2.2. Зображення куба з підручника

На початку самого процесу моделювання йде використання базових примітивів (куб, циліндр, конус, сфера) як основи для моделювання. Для

кожної геометричної фігури обирається відповідний примітив. В даному випадку це звичайний куб. Для початку слід натиснути комбінацію клавіш Shift+A, в нас відкриється вікно add, далі обирається відповідний mesh відповідно до рис. 2.3.

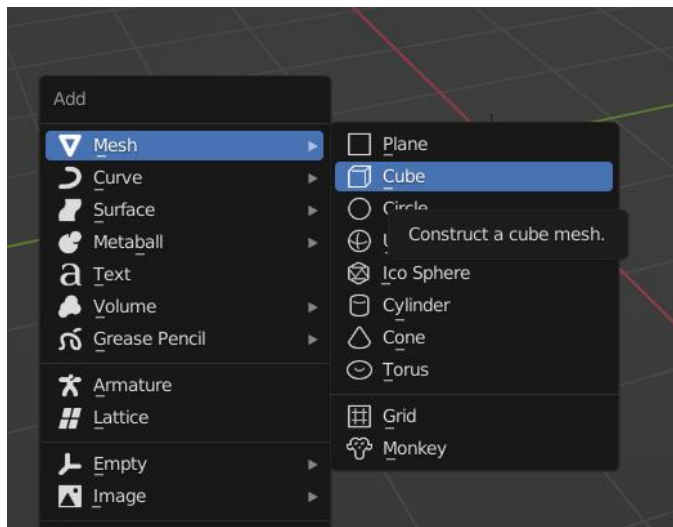


Рис. 2.3. Додавання базового примітиву

Результатом виконаних дій буде доданий в сцену куб (рис. 2.4.).

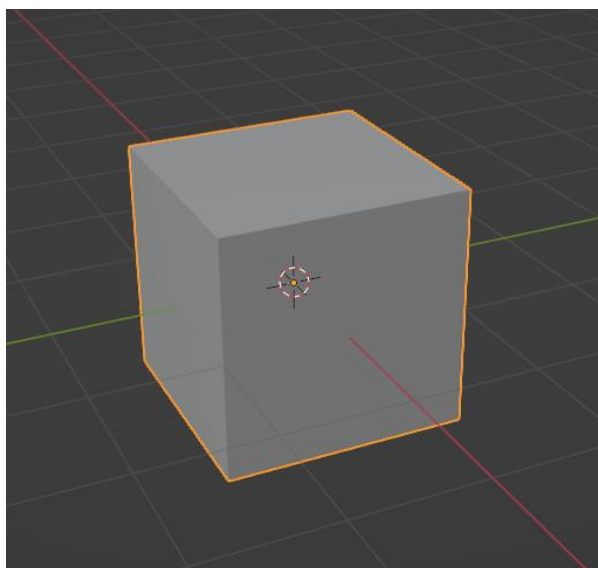


Рис. 2.4. Куб в сцені Blender

Наступним кроком є редагування та уточнення форми: за допомогою інструментів редагування (Extrude, Scale, Rotate, Loop Cut) форма уточнюється до бажаного вигляду. В даному випадку куб вже потрібної форми, тому змінювати нічого не потрібно.

Додавання додаткових деталей та елементів, таких як грані, вершини, ребра дозволяє створювати складніші моделі, наприклад, багатогранники або фігури з перетинами. В даному випадку цей крок також не є необхідним, тому його було пропущено.

Одним із важливих етапів є додавання модифікаторів. Модифікатори в Blender дозволяють не руйнуючи структури сітки модифікувати об'єкти, додаючи їм різні властивості, такі як згладжування, деформація, дзеркальне відображення тощо. Це спрощує процес моделювання і дозволяє швидко отримувати складні результати. В даному випадку за допомогою модифікаторів створено видимий каркас граней (рис. 2.5.).

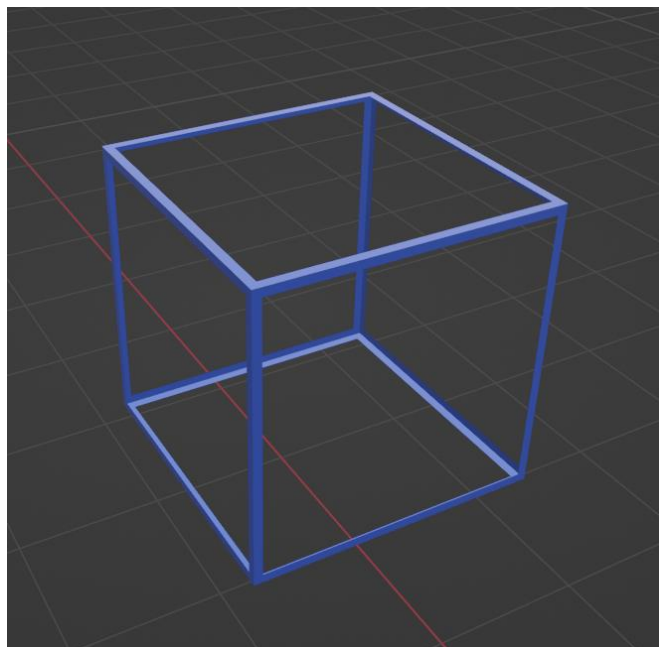


Рис. 2.5. Каркас граней куба

Для цього потрібно створити ще один куб (можна дублювати вже створений за допомогою клавіш Shift+D). У 3D-вікні обирається об'єкт, до якого потрібно застосувати модифікатор (створений щойно куб). На панелі властивостей (Properties Panel) обирається вкладка модифікаторів (Modifiers). У вкладці модифікаторів необхідно натиснути кнопку "Add Modifier", щоб відкрити список доступних модифікаторів та обрати потрібний модифікатор зі списку. В даному випадку це модифікатор Wireframe. Після додавання

модифікатора можна налаштувати його параметри у вкладці модифікаторів. Процес додавання та налаштування модифікатора продемонстрований на рис. 2.6. – 2.7.

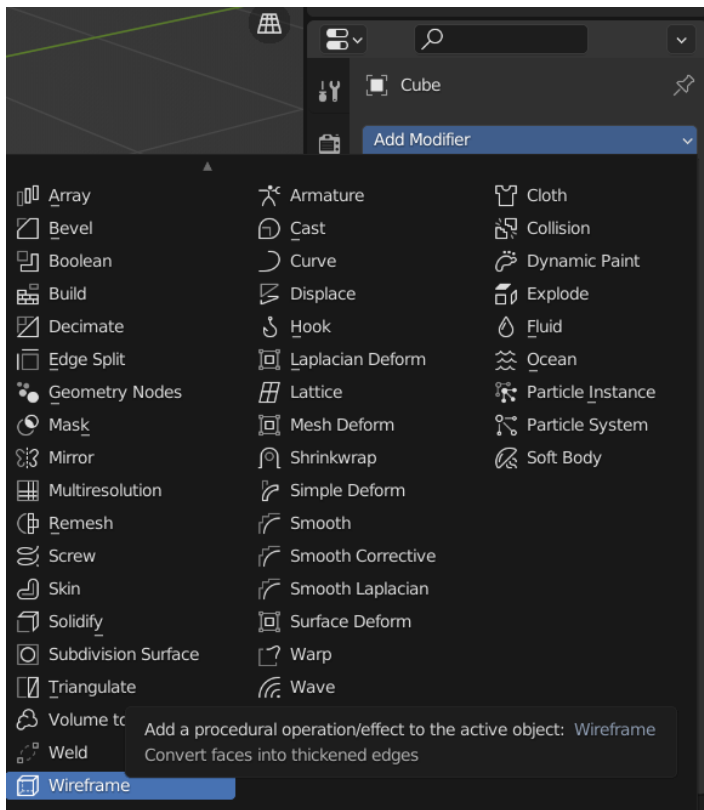


Рис. 2.6. Додавання модифікатора Wireframe

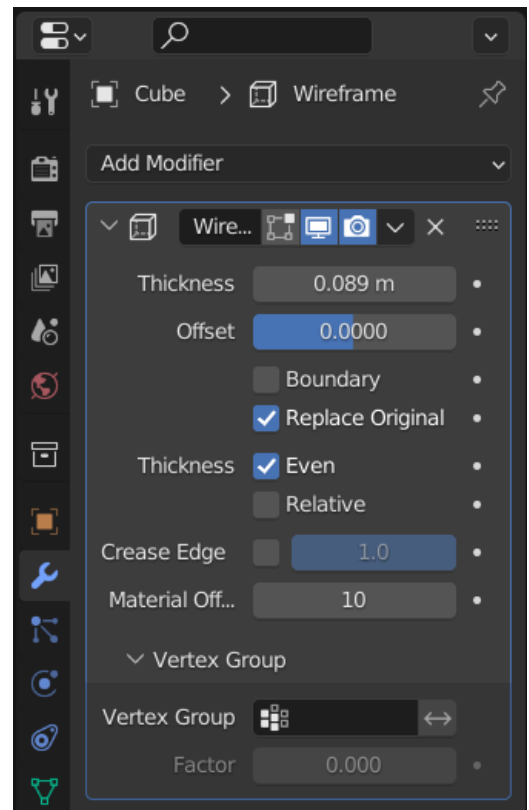


Рис 2.7. Налаштування модифікатора Wireframe

Щоб застосувати даний модифікатор, слід натиснути кнопку Apply (рис. 2.8.).

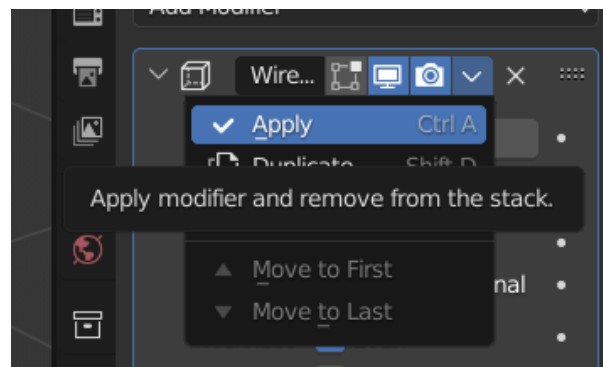


Рис. 2.8. Застосування модифікатора

Для відповідності моделі зображення слід додати літери на вершини. Процес створення літер буде описано далі в розділі 2.2.3, а в даному розділі описано процес створення об'єктів, за допомогою яких будуть визначені координати цих літер. Слід додати по одному об'єкту (будь-якому, мною обрано куби) на вершини.

Далі процес додавання матеріалів та текстур (в даному випадку лише матеріали) Налаштування матеріалів для моделей, щоб надати їм реалістичного вигляду. Це включає налаштування кольору, відблиску, прозорості та інших властивостей матеріалу. У верхньому правому куті 3D-вікна необхідно обрати режим перегляду, який показує текстури (LookDev або Rendered). Це дозволяє бачити, як виглядає колір та матеріал об'єкта в реальному часі. На панелі властивостей (Properties Panel) обирається вкладка "Materials" (значок у вигляді сфери). Натиснувши кнопку "New" створюється новий матеріал. Він буде доданий до вибраного об'єкта, і буде змога переглянути його параметри. У властивостях матеріалу є кілька параметрів, таких як "Base Color", "Specular", "Roughness" тощо. Натиснувши на зразок кольору поруч із "Base Color" відкриється палітра кольорів, де можна вибрати бажаний колір для об'єкта. Колір обирається за допомогою кольорового круга. Є можливість відрегулювати відтінок (Hue), насиченість (Saturation) та яскравість (Value/Brightness) кольору за допомогою відповідних повзунків. Також можна ввести точні значення для відтінку, насиченості та яскравості або RGB значення вручну, якщо потрібно. Процес додавання та налаштування матеріалу показаний на рис. 2.9.

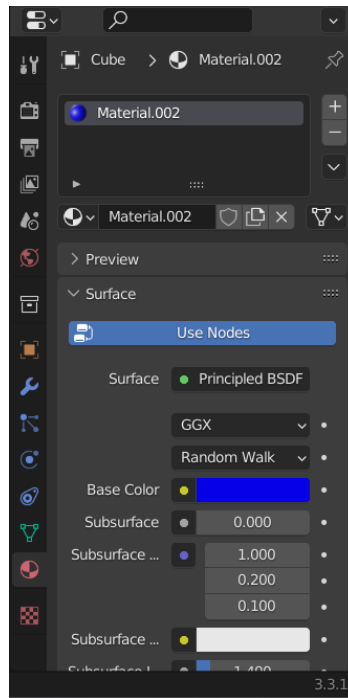


Рис. 2.9. Додавання та налаштування матеріалу

В процесі моделювання слід налаштувати матеріали для всіх об'єктів сцени.

Створення 3D моделей відіграє вирішальну роль у розробці AR-додатку, оскільки вони надають візуальну наочність і сприяють кращому розумінню учнями складних геометричних концепцій.

2.2.3. Експорт у AR

Процес експорту у AR-додаток забезпечує перехід зі стадії моделювання до реального використання об'єктів у віртуальному середовищі. Для виконання цього процесу було обрано фреймворк A-frame. Він був розроблений командою Mozilla VR і базується на бібліотеці three.js. A-Frame дозволяє створювати складні 3D сцени за допомогою простого HTML-коду [18]. Також A-Frame має реєстр компонентів та розширень. Він забезпечує розробникам доступ до різноманітних користувацьких розширень, які можуть бути інтегровані в A-Frame сцени для додаткової функціональності та покращення візуального досвіду [19].

Для початку слід налаштувати експорт у AR в Blender. Процес встановлення та налаштування детально описано в статті, що опублікована на веб ресурсі Github [20], тому в даній роботі цей момент буде опущено.

Для самого експорту необхідно в потрібній сцені натиснути клавішу n, відкриється бокова панель, на якій слід обрати вкладку Aframe та натиснути кнопку Export A-Frame Project. Цей процес зображено на рис. 2.10.

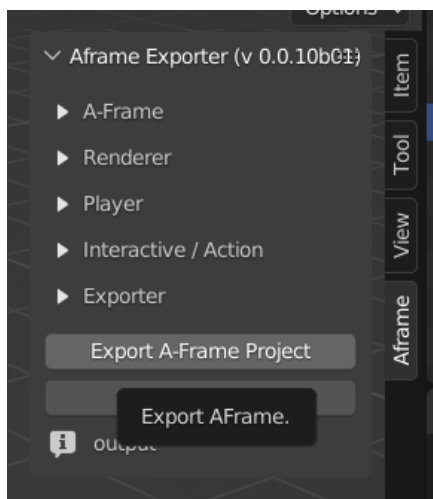


Рис. 2.10. Додавання та налаштування матеріалу

Експорт файлів за замовчуванням відбувається за шляхом C:\Temp. Серед експортованих файлів слід обрати файл index.html — його буде відредаговано за допомогою редактора VS Code.

Для початку необхідно літери. Для цього створюється тег `< a-text >` та надаються йому необхідні властивості: `id`, `value`, `color`, `scale`, `position`, `visible`. Значення властивостей `id` та `value` задаються відповідно до літери, яка повинна бути відображена. Значення `color` задається відповідно до кольору літер (в даному випадку `red`). Значення `scale` задається 1 по всім координатам, аби літера була пропорційною. Для визначення значення `position` обираються серед `a-entity` ті об'єкти які були розміщені на вершини куба. Далі по чергово береться їх `position` та встановлюється для значення `position` відповідних літер. Самі `a-entity` можна видалити, вони потрібні лише для точних координат. Значення `visible` вставляється `true`. Приклад налаштування літери:

```
<a-text id="#A" lat value = "A" color="red"
      scale="1 1 1" position="1.4 0.3 1.09"
      visible="true" >
</a-text>
```

В даному кодї `lat` це функція, яку слід застосувати до всіх літер. Детально реалізація цієї та інших функцій буде описана в розділі 2.2.4. В даному кодї вона продемонстрована задля розуміння налаштування всього компоненту `< a-text >`.

Для налаштування 3D об'єктів використовується компонент `< a-entity >`. Він створюється та налаштовується автоматично, тому потрібно лише налаштувати за необхідністю деякі властивості. Компонент `< a-entity >` має властивості: `id`, `gltf-model`, `scale`, `position`, `visible`, `shadow`. Властивість `id` та `gltf-model` відповідні одне одному. Властивість `gltf-model` є `id` з компоненту `< a- asset >`. Він вказує яка саме модель налаштовується і відображається на сервері. Значення `scale` має бути встановлено 1 по всім координатам, аби модель була пропорційною. Властивість `position` налаштовується автоматично, тому її не потрібно змінювати. Властивість `visible` має бути встановлено `true` для всіх об'єктів, аби вони були видимими. Властивість `shadow` налаштовується за бажанням (в даному випадку вказано значення `false`, щоб у об'єктів не було тіні). Ось так виглядатиме налаштований компонент `< a-entity >`:

```
<a-entity id="#Cube" hideonclick gltf-model="#Cube"
      scale="1 1 1" position="2.5 1.4 -2"
      visible="true" shadow="cast: false">
</a-entity>
```

В даному кодї `hideonclick` це функція, яку нам слід застосувати до тих об'єктів, які мають змінювати прозорість.

Далі варто розглянути компонент `< a-asset >`. Це компонент який відповідає за імпорт в документ необхідних для нас моделей. Він має лише

дві властивості: `id` та `src`. `Id` — унікальний ідентифікатор моделі, `src` — шлях до цієї моделі. Значення цих властивостей налаштовуються автоматично. Ось так виглядатиме налаштований компонент `<a-asset >`:

```
<a-asset-item id="Cube" src="./assets/Cube.gltf">
</a-asset-item>
```

Також в коді був налаштований курсор:

```
<a-entity cursor="rayOrigin:mouse">
</a-entity>
<a-entity position="0 -1 -2">
</a-entity>
```

Перший елемент (`<a-entity cursor="rayOrigin:mouse">`) визначає курсор для взаємодії з віртуальними об'єктами. В даному випадку, параметр `rayOrigin:mouse` вказує, що променева лінія, що визначає точку, куди користувач дивиться, починається від позиції миші. Це дозволяє користувачам інтерактивно взаємодіяти з об'єктами за допомогою курсора.

Наступний елемент (`<a-entity position="0 -1 -2">`) визначає положення об'єкта в просторі. В даному випадку, об'єкт буде розташований на координатах $x=0$, $y=-1$, $z=-2$. Координати x , y та z відповідають вісям координат в просторі (горизонтальна, вертикальна та ось зсуву вглибину відносно області відображення). Цей рядок коду встановлює позицію об'єкта у віртуальному просторі.

2.2.4. Створення функцій

Для AR додатку, спрямованого на навчання геометрії, було створено декілька функцій, за допомогою мови програмування JavaScript.

Функція зміни прозорості частин тривимірної моделі у AR-додатку для вивчення геометрії призначена для надання учням можливості краще розуміти внутрішню структуру та властивості геометричних об'єктів.

Роблячи частини моделі прозорими, учні можуть бачити внутрішні компоненти фігур, що сприяє кращому розумінню їхньої будови. При вивченні багатогранників, таких як куби, піраміди або призми, учні можуть натискати на різні частини моделі, щоб робити їх прозорими і вивчати внутрішні відрізки, площини та кути. Це допомагає зрозуміти, як взаємодіють внутрішні та зовнішні елементи фігури. Для задач, що передбачають перетин фігур (наприклад, перетин площини з багатогранником), учні можуть робити прозорими частини моделі, щоб чіткіше бачити перетини і краще розуміти відношення між різними частинами фігури.

Функція для зміни прозорості об'єктів представлена на рис. 2.11.

```
<script>
  // universal transparency change function
  function setOpacityOfGLTF(entity, opVal){
    var model = entity.object3D;

    // Traverse the model's children to find materials and modify opacity
    model.traverse(function (node) {
      if (node.isMesh) {
        // Check if the node is a mesh with a material
        var material = node.material;
        if (material) {
          material.transparent = true; // Enable transparency
          material.opacity = opVal; // Set the desired opacity value
          material.needsUpdate = true; // Update the material
        }
      }
    });
    entity.setAttribute('material', {opacity: opVal});
  }

  AFRAME.registerComponent("hideonclick", {
    init: function() {
      this.hasClicked = false;
      this.el.addEventListener("click", function(e) {
        //e - click event
        //e.target - AFrame object that was clicked
        //e.target.object3D - 3D object whose properties we want to change
        if (!this.hasClicked){
          setOpacityOfGLTF(e.target, 0.2)
        }else{
          setOpacityOfGLTF(e.target, 1)
        }
        this.hasClicked=!this.hasClicked;
      });
    }
  });
</script>
```

Рис. 2.11. Функція для зміни прозорості

Функція `setOpacityOfGLTF` разом із компонентом `hideonclick` створює інтерактивну поведінку для A-Frame об'єктів, дозволяючи змінювати їх прозорість при натисканні. Вона має аргументи:

- `entity`: Об'єкт, який представляє тривимірну модель (GLTF), з якою буде працювати функція. Зазвичай це елемент сцени в бібліотеках на кшталт A-Frame.
- `opVal`: Значення прозорості (`opacity`), яке потрібно встановити. Це число від 0 (повністю прозорий) до 1 (повністю непрозорий).

Принцип роботи цієї функції:

- Отримує тривимірний об'єкт (`object3D`) з `entity`.
- Проходить по всіх дочірніх вузлах об'єкта за допомогою методу `traverse`.
- Для кожного вузла, який є сіткою (`mesh`), перевіряє наявність матеріалу.
- Якщо матеріал присутній, встановлює прозорість (`transparent = true`), змінює значення прозорості (`opacity = opVal`) та оновлює матеріал (`needsUpdate = true`).
- Встановлює атрибут `material` для всього об'єкта з новим значенням прозорості.

Функція `setOpacityOfGLTF` змінює прозорість тривимірної моделі, а компонент `hideonclick` додає інтерактивну поведінку, змінюючи прозорість об'єкта при натисканні. Разом вони дозволяють користувачам взаємодіяти з моделями у середовищі A-Frame, роблячи їх більш інтерактивними та динамічними.

Наступна функція була використана для створення літер — `lat`.

```
AFRAME.registerComponent("lat", {
  init: function() {
    this.el.addEventListener("loaded", e => {
      this.el.setAttribute("look-at", "[camera]")
    })
  }
})
```

Цей код реєструє компонент `lat` для використання в `A-Frame`, який автоматично змушує об'єкт дивитися на камеру, коли об'єкт повністю завантажений.

Принцип роботи цієї функції:

- Використовується метод `registerComponent` для створення нового компонента з ім'ям `lat`.
- Визначається функція `init`, яка виконується при ініціалізації компонента.
- Додається слухач події `loaded` до елемента (`el`), на який прикріплений компонент. Подія `loaded` викликається, коли елемент і всі його ресурси (наприклад, моделі, текстури) повністю завантажені.
- Коли подія `loaded` спрацьовує, до елемента додається атрибут `look-at` з значенням `[camera]`. Це змушує елемент постійно "дивитися" на камеру.

Цей компонент `lat` забезпечує, що будь-який елемент, до якого він доданий, буде автоматично повертатися і завжди дивитися на камеру, коли елемент повністю завантажиться. Це корисно там, де необхідно, щоб об'єкти були спрямовані на користувача (камеру) для кращого візуального ефекту чи взаємодії (в нашому випадку це літери).

2.2.5. Створення відеоконтенту

Створення відеоконтенту для `AR`-додатку включає декілька ключових етапів, які забезпечують високу якість кінцевого продукту. Для початку визначаємо, яка інформація буде передаватися у відео. Для навчального додатку з геометрії це покрокові інструкції щодо побудови просторових фігур. Далі ми пишемо сценарій, який детально описує кожен крок побудови фігури. Це допоможе структуровано передати матеріал. Процес створення відеоматеріалу буде описано на прикладі відео, кінцевий кадр якого представлено на рис. 2.12.

Щоб зобразити піраміду, потрібно:

1. Побудувати зображення багатокутника, який лежить в її основі.
2. Знайти положення точки O — основи висоти SO .
3. З точки O вертикально вгору провести промінь, на якому вибрати точку S — вершину піраміди.
4. Сполучити точку S з вершинами основи.

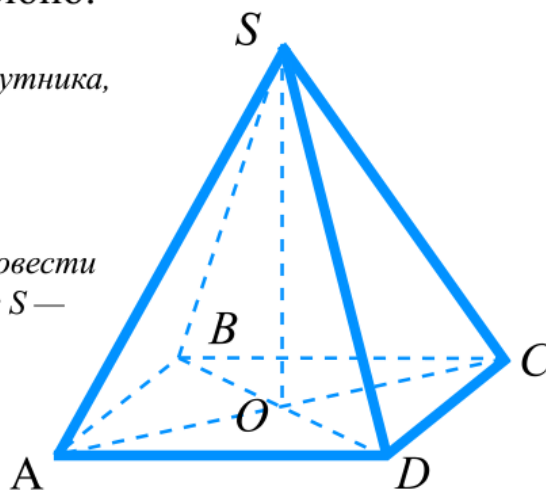


Рис. 2.12. Кінцевий кадр відео

Для початку слід підготувати всі необхідні ресурси, такі як зображення, ілюстрації та графічні елементи. В даному випадку це зображення з підручника (рис. 2.13.).

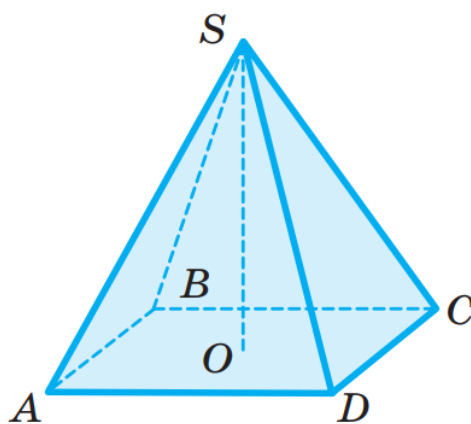


Рис. 2.13. Зображення з підручника

Далі необхідно створити нову композицію (рис. 2.14.).

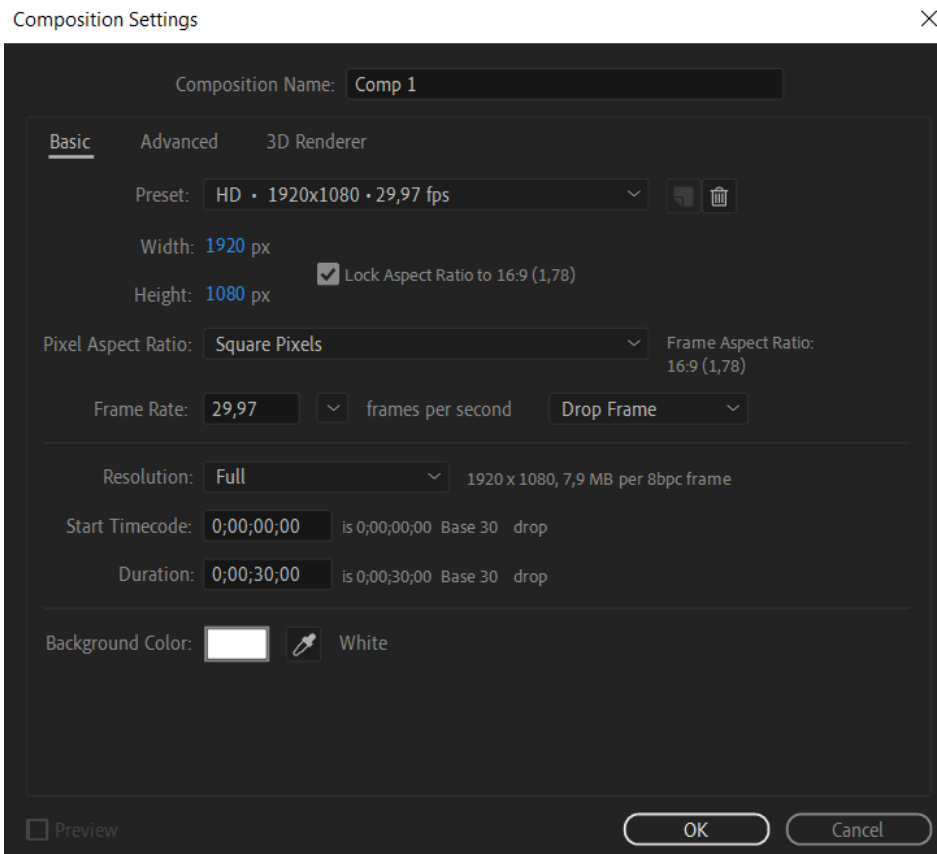


Рис. 2.14. Створення композиції

Наступним кроком йде імпорт зображення в проект та зменшення прозорості (opacity) щоб референс був менш помітний. (рис. 2.15.).

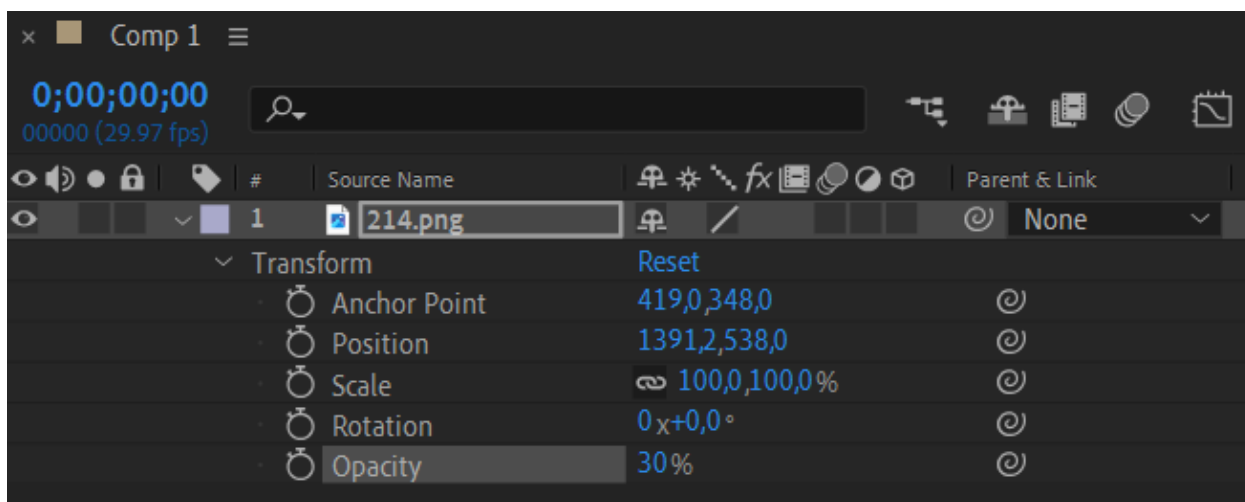


Рис. 2.15. Імпорт та налаштування зображення

Далі йде зняття виділення з усіх об'єктів (F2) та вибір інструмента перо (G).

Змінюється товщина лінії обведення (10 px), колір обведення (blue), колір заливки (none) до бажаних (рис. 2.16), та малюється трикутник. Перша точка розміщується в одній з вершин, друга точка - у наступній (рис.2.17.). Щоб лінія була точно рівною разом з додаванням наступної точки слід утримувати Shift (вирівнює по горизонталі, вертикалі та 45*).



Рис. 2.16. Налаштування лінії

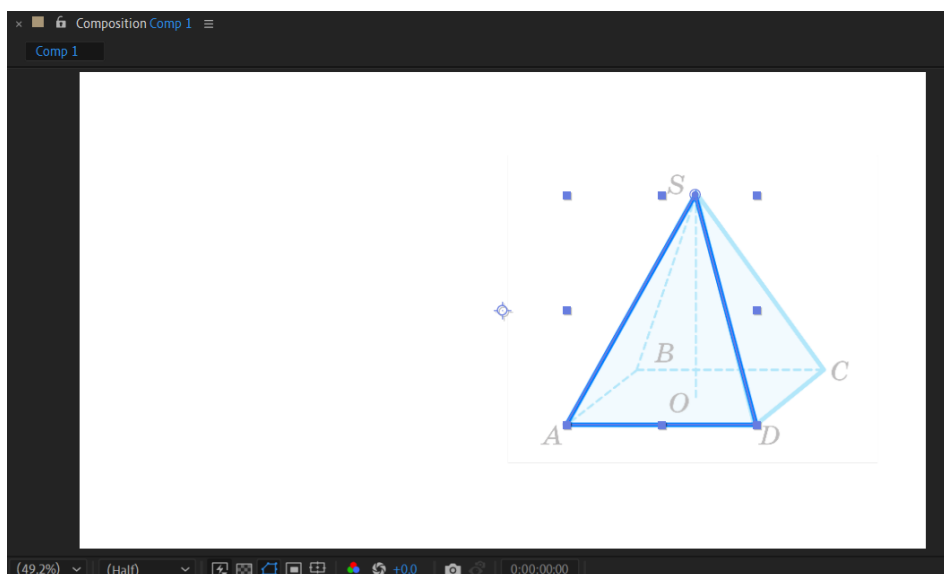


Рис. 2.17. Трикутник

Необхідно розгорнути вкладку Contents на векторному шарі (shape layer) та натиснути кнопку додати (add) модифікатор Trim Paths (рис. 2.18.).

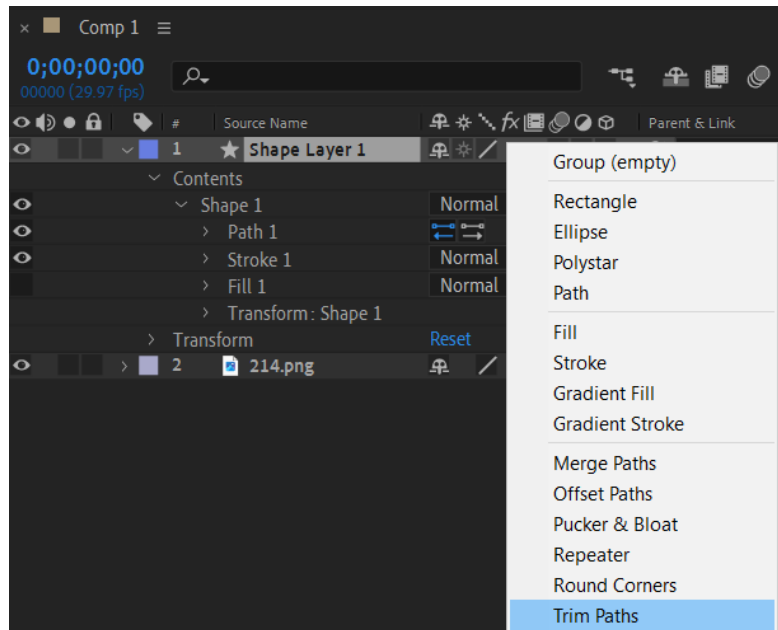


Рис. 2.18. Додання модифікатора Trim Paths

Слід створити два ключових кадри для параметра Start. Перший ключовий кадр зі значенням 100%, другий зі значенням 0% (рис. 2.19.).

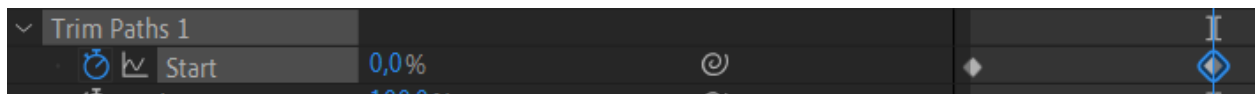


Рис. 2.19. Створення ключових кадрів

Знявши виділення з усіх об'єктів (F2) малюється наступна частина фігури пером (G). Додається модифікатор Trim Paths до нового шейпу та заанімовується появу (рис. 2.20.).

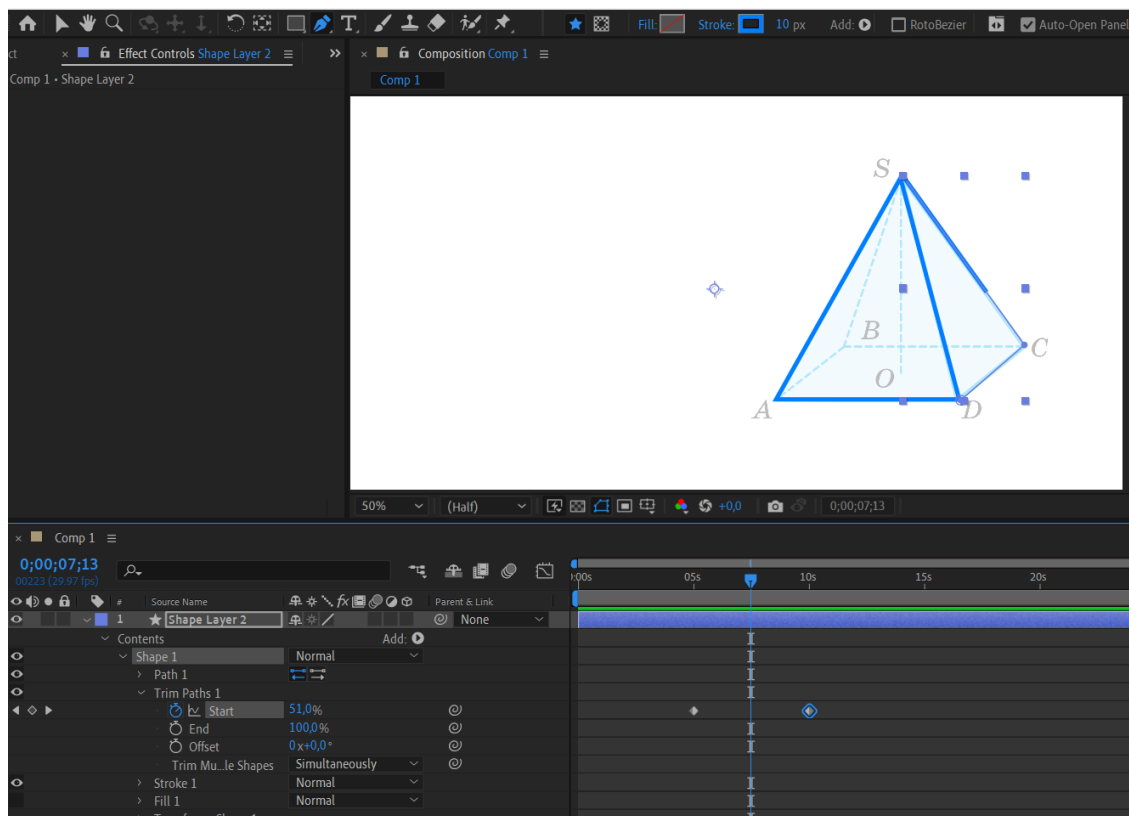


Рис. 2.20. Проанімовані дві частини піраміди

Наступним кроком потрібно створити пунктирні лінії. Для початку створюється звичайна лінія в необхідному місці. Щоб змінити параметри обведення на пунктир слід перейти: Contents-Shape-Stroke-Dashes та натиснути +, Dersh відповідає за розмір штриховки (рис. 2.21.).

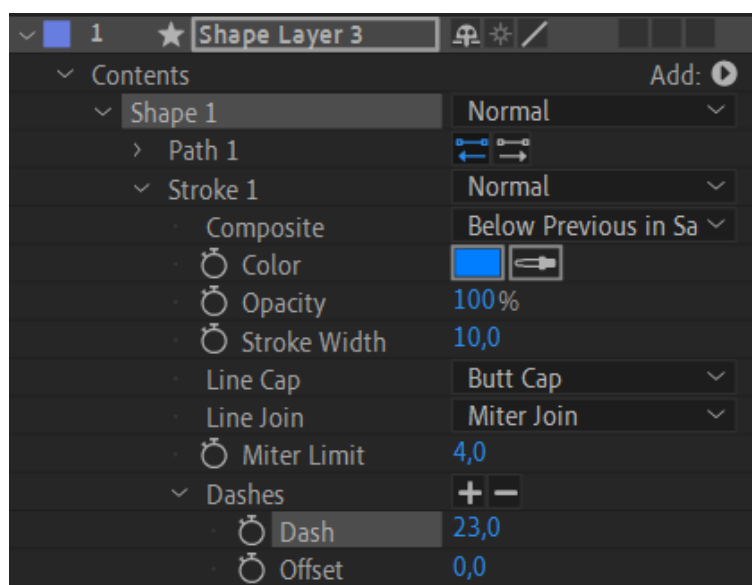


Рис. 2.21. Налаштування пунктиру

Далі домальовуються всі лінії відповідно референсу та анімуються. Наостанок видаляється зображення референсу зі сцени.

Аби додати літери (вершини та текст з поясненням) слід натиснути **ctrl+T** та змінити відповідно налаштування тексту (рис. 2.22.).

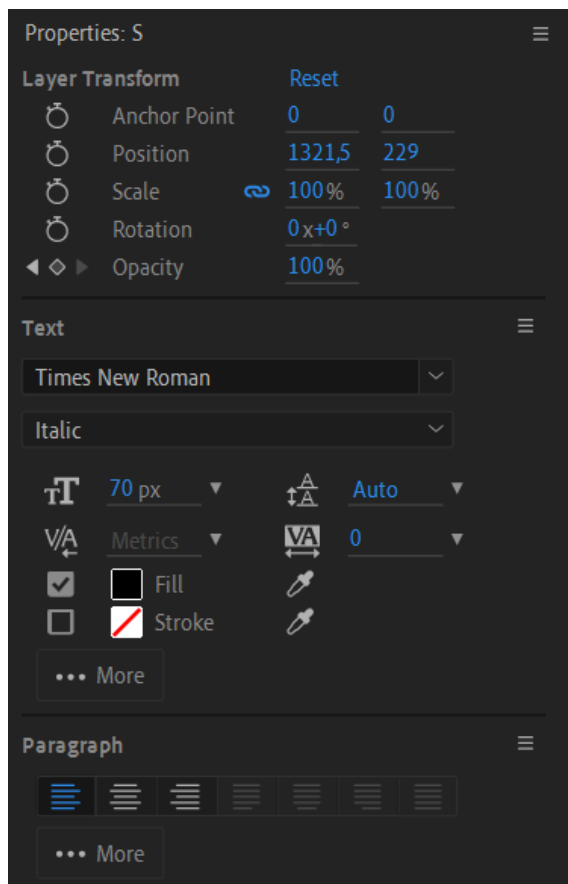


Рис. 2.22. Налаштування тексту

Аби створити гарний прояв тексту, можна скористатись надбудовою для Adobe After Effects — Mister Horse. Для того щоб ним скористатись необхідно виділити об'єкт до якого буде застосовано анімацію та натиснути **Window – Animation Composer**. У вікні анімацій обирається потрібна анімація та вид її прояву (in, out, both) (рис. 2.23.).

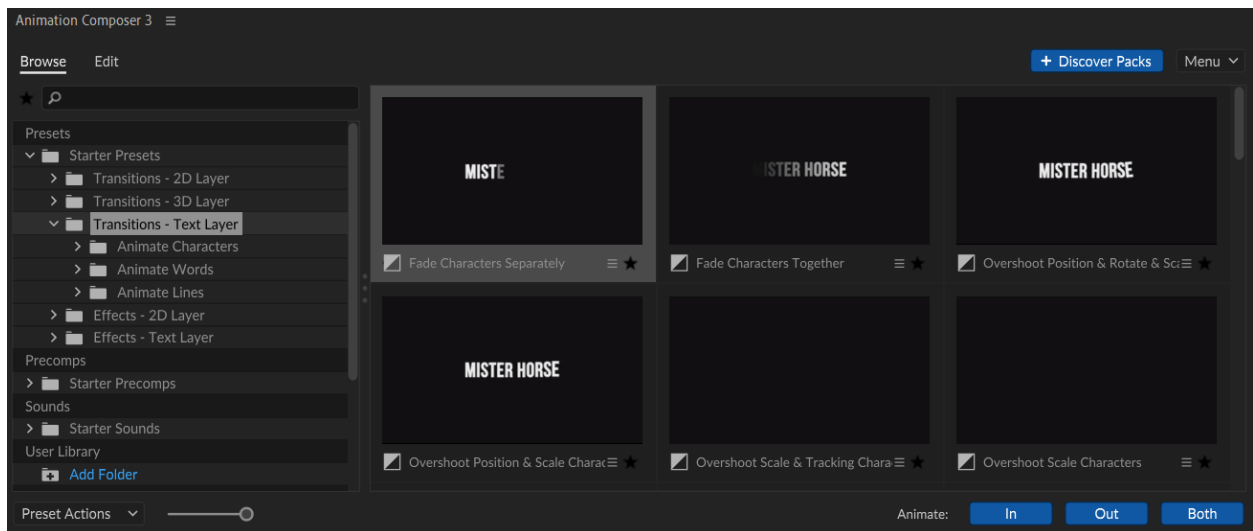


Рис. 2.23. Вікно Animation Composer

Після того як було створено всі необхідні об'єкти та заанімовано їх, можна приступати до процесу експорту. Для цього слід натиснути Composition – Add to Render Queue. Відкриється вікно рендеру, слід налаштувати шлях для збереження відео та натиснути Render (рис. 2.24.).

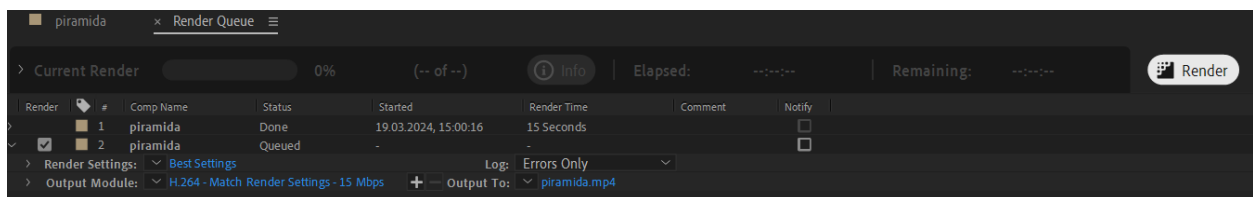


Рис. 2.24. Вікно налаштування рендеру

Готове відео зберігається в форматі mp4.

2.2.6. Налаштування серверної частини

Для розміщення файлів тестового застосунку було обрано веб-хостинг студентського сайту, що має панель керування на платформі Cityhost.ua [21]. Цей хостинг забезпечує всі необхідні налаштування для коректної роботи застосунку, що спрощує процес розгортання.

Кроки виконані для налаштування серверної частини:

1. Вибір веб-хостингу: в якості веб-хостингу був обраний Cityhost.ua. Цей хостинг забезпечує всі необхідні налаштування для роботи застосунку за замовчуванням, що дозволяє швидко і ефективно розгорнути проект.
2. Створення піддомену: було створено піддомен для відокремлення основного сайту від файлів тестового застосунку. Це забезпечує логічне розділення контенту та спрощує управління файлами.
3. Завантаження файлів на сервер: для завантаження файлів на сервер веб-хостингу використовувалися FTP-протокол та програмне забезпечення FileZilla. Це дозволило швидко та безпечно перенести необхідні файли на сервер.

2.2.7. Створення QR кодів

Процес створення QR-кодів для AR-додатку включає кілька етапів, кожен з яких важливий для забезпечення належної роботи коду та легкого доступу користувачів до AR-контенту.

Спочатку визначається URL, який потрібно закодувати у QR-код. Це може бути посилання на відео або 3D-модель. Обирається інструмент для створення QR-кодів (в даному випадку ChatGPT). Вводиться URL, який необхідно закодувати та натискається кнопка для створення QR-коду. Зберігається QR-код у форматі зображення (наприклад, .png, .jpg, .svg). Далі необхідно впевнитися, що зображення має достатню роздільну здатність для друку або відображення на екрані.

Цей процес забезпечує створення та інтеграцію QR-кодів, що дозволяють учням легко отримати доступ до навчальних матеріалів у AR-додатку.

2.2.8. Тестування

Процес тестування AR-додатку для навчання геометрії включає кілька кроків, спрямованих на перевірку роботи додатку, його функціональності та коректності відображення контенту.

В процес тестування входить:

- Перевірка побудови 3D моделей: переконання в точності та правильності побудови геометричних фігур.
- Тестування QR-кодів: переконання, що QR-коди коректно зчитуються та відкривають AR-контент.
- Перевірка відеоконтенту: тестування відтворення відео з поясненнями про побудову геометричних фігур.
- Перевірка функціоналу взаємодії з AR: тестування функцій, які дозволяють користувачам взаємодіяти з AR-моделями за тач-екрана.
- Перевірка сумісності: тестування додатку на різних пристроях (смартфонах, планшетах) та в різних роздільних здатностях екранів.

Процес тестування допомагає забезпечити якість та надійність AR-додатку для навчання геометрії, забезпечуючи користувачам позитивний досвід використання.

2.2.9. Створення обкладинки для брошури

Для створення обкладинки була обрана робота з векторною графікою, аби мати більш чітку якість друку. Для роботи було обрано редактор векторної графіки — Adobe Illustrator.

Першим кроком в створенні було визначення основної теми обкладинки, відповідно до змісту брошури, що присвячена AR-додатку для

вивчення геометрії. Розробка ескізів і визначення основних елементів дизайну: логотипу, заголовку, зображень, кольорової гама тощо. Вибір кольору фону або створення градієнта, який буде привабливим та відповідатиме тематиці навчання геометрії. В даній роботі було вирішено залишити фон білим.

Наступним кроком було додавання заголовку брошури великим і читабельним шрифтом, з вибором відповідного стилю та кольору. Далі створення ілюстрацій та іконок, що підкреслюють тематику геометрії. Їх взаємне розміщення на обкладинці та зміна кольору елементів. Наступним кроком йде додавання короткого опису або підзаголовків, що пояснюють суть брошури та її основні розділи.

В кінці створення перевірка вирівнювання всіх елементів, корекція відстаней між ними та загальна візуальна гармонія. Налаштування кольорів і шрифтів для забезпечення узгодженості та читабельності.

Після створення передньої частини обкладинки переходимо до створення задньої сторони обкладинки. Для цього було вирішено скопіювати всі елементи передньої частини та змінити їх колір на більш насичений. Видалення всіх текстових елементів, залишивши лише графічні об'єкти.

Наостанок збереження файлу у високій якості для друку або цифрового розповсюдження (наприклад, у форматі PDF або TIFF).

Кінцевий вигляд обкладинки зображений на рис. 2.25 – 2.26.

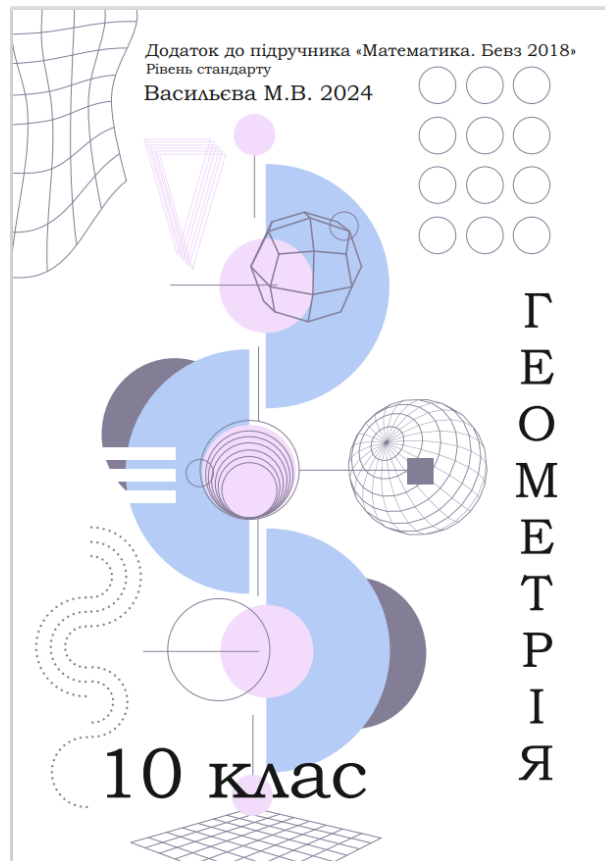


Рис. 2.25. Передня частина обкладинки

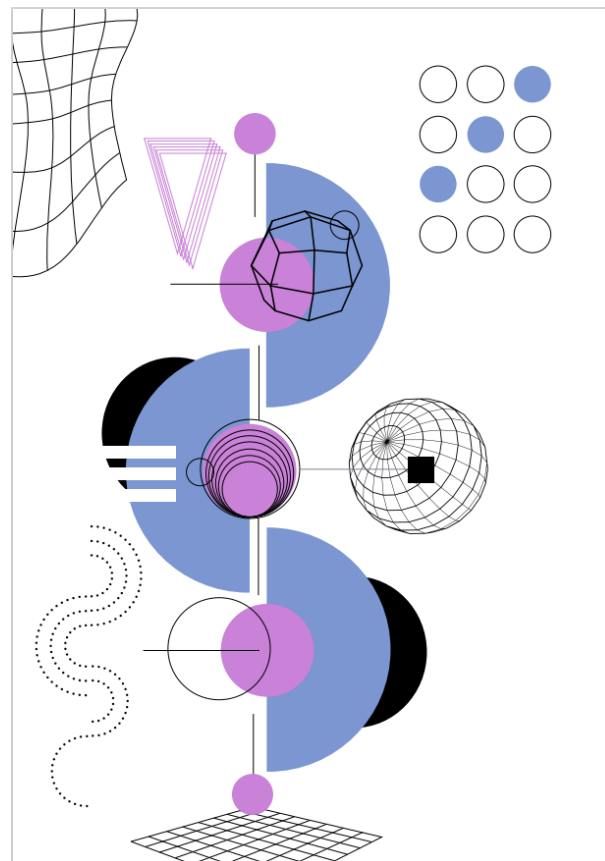


Рис. 2.26. Задня частина обкладинки

2.2.10. Створення брошури

Процес створення брошури для AR-додатку з геометрії включає наступні етапи:

- Розробка структури: визначення заголовків, підрозділів та послідовності презентованої інформації.
- Вибір дизайну: розробка візуального оформлення брошури, у тому числі кольорової палітри, шрифтів та загального стилю.
- Написання тексту: розробка інформаційного контенту, який пояснює принципи роботи AR-додатку, інструкції для користувачів та інша додаткова інформація про геометричні теми.
- Розміщення QR-кодів: вставлення QR-кодів у відповідні місця брошури, щоб користувачі могли легко знайти та сканувати їх.
- Оформлення тексту: форматування тексту з урахуванням читабельності та естетичної привабливості.
- виправлення графіки: розміщення графічних елементів та ілюстрацій у брошурі з урахуванням загального дизайну.
- Друк: виготовлення друкованої версії брошури у відповідності до встановлених стандартів якості та дизайну.

Приклад сторінки брошури наведено на рис. 2.27.

§ 23. Прямі у просторі



Мал. 175

Дві прямі, які не лежать в одній площині, називають мимобіжними.



Мал. 177

Якщо одна пряма лежить у деякій площині, а друга перетинає цю площину в точці, що не належить першій прямій, то такі дві прямі мимобіжні.



Мал. 180

Два відрізки називають паралельними (мимобіжними), якщо вони лежать на паралельних (мимобіжних) прямих.

Рис. 2.27. приклад сторінки брошури

2.3. Висвітлення нового, що вноситься у вирішення задачі

AR додаток для навчання геометрії принесе кілька нововведень. Він розроблений на основі теоретичного матеріалу підручника та відображає ключові концепції геометрії, що передбачені в навчальному матеріалі. Додаток відтворює більшість тем, що висвітлені у теоретичному матеріалі підручника, що робить його повністю відповідним освітній програмі.

Використання AR дозволяє учням буквально "проникнути" у світ геометрії, що робить абстрактні концепції більш зрозумілими та конкретними. Вони можуть досліджувати та взаємодіяти з геометричними об'єктами, які описані у підручнику, у реальному часі. AR-додаток додає новітній елемент у навчання геометрії, що створює додатковий інтерес та мотивацію до вивчення матеріалу.

Отже, AR-додаток на основі теоретичного матеріалу підручника впевнено впроваджує сучасні підходи до навчання та допомагає учням краще засвоювати геометричні концепції, які передбачені в освітній програмі.

2.4. Застосування методів досліджень

Методи досліджень варіюються залежно від мети, об'єкта дослідження, а також галузі науки чи практики, в якій проводиться дослідження. Ось основні категорії методів дослідження:

1. Кількісні методи. Кількісні методи дослідження використовують числові дані та статистичний аналіз для визначення закономірностей, зв'язків і тенденцій.
 - Опитування (анкети). Використання стандартизованих запитань для збору даних від великої кількості респондентів.
 - Експерименти. Проведення досліджень в контрольованих умовах для визначення причинно-наслідкових зв'язків.
2. Якісні методи. Якісні методи зосереджені на вивченні суб'єктивного досвіду, думок, мотивацій і поведінки.
 - Інтерв'ю. Глибинні бесіди з респондентами для отримання детальної інформації.
 - Фокус-групи. Обговорення в невеликій групі для виявлення ставлень і поглядів.
3. Методи теоретичного дослідження. Ці методи використовуються для розробки теорій і концептуальних моделей. Методи емпіричного

дослідження. Ці методи базуються на практичному досвіді і спостереженнях.

- Аналіз літератури. Критичний огляд існуючих наукових робіт для виявлення прогалин та побудови теорій.
- Спостереження. Систематичне спостереження за поведінкою об'єктів у природних умовах.

4. Експертні методи. Використання знань і досвіду експертів для оцінки та аналізу.

- Дельфі-метод. Метод експертного оцінювання через анонімні опитування в кілька етапів.

Кожен метод має свої переваги та обмеження і може бути використаний окремо або в комбінації з іншими методами для досягнення найбільш точних і повних результатів дослідження.

В даній роботі було обрано два метода: анкетування та інтерв'ю. Опитування – це метод збору даних, який передбачає використання структурованих анкет чи питань для отримання інформації від респондентів. Воно може проводитися різними способами, такими як особисте інтерв'ю, телефонне опитування, онлайн-анкети або паперові анкети. Інтерв'ю – це метод збору даних, що полягає в особистому спілкуванні дослідника з респондентом, де дослідник ставить запитання і отримує відповіді. Інтерв'ю можуть бути структурованими, напівструктурованими або неструктурованими.

2.5. Результати власних досліджень

Для проведення досліджень була обрана тестова група користувачів. Це студенти коледжу, які навчаються за програмою 10 класу, тобто наша цільова аудиторія. Група складалась з 19 людей приблизного одного віку.

Першим дослідженням було проведено анкетування. В анкетуванні прийняли участь 16 людей, інші відмовились. Анкета складалась з наступних питань:

№1 Чи було вам легко використовувати AR-додаток для вивчення геометрії?

№2 Наскільки зрозумілими були для вас 3D моделі геометричних фігур у додатку?

№3 Чи допоміг вам AR-додаток краще зрозуміти геометричні концепції?

№4 Наскільки корисними були відео з поясненням побудови просторових фігур?

№5 Чи вважаєте ви, що інтерактивні елементи AR-додатку (3D моделі, відео) зробили навчання більш цікавим?

Результати анкетування наведено на рис. 2.28. - 2.32.

Чи було вам легко використовувати AR-додаток для вивчення геометрії?

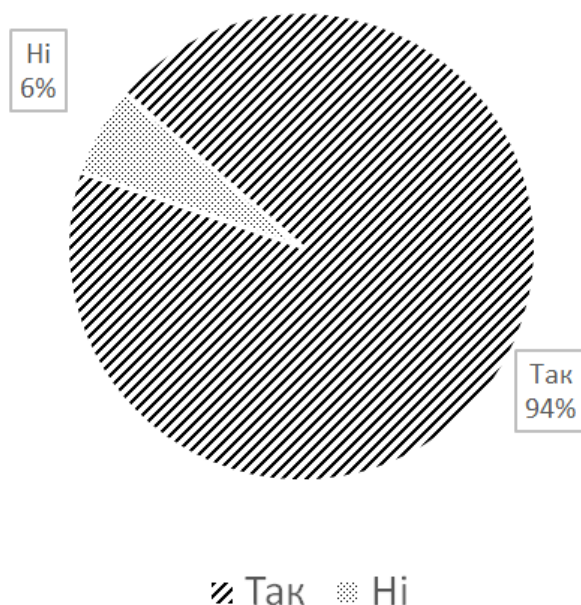
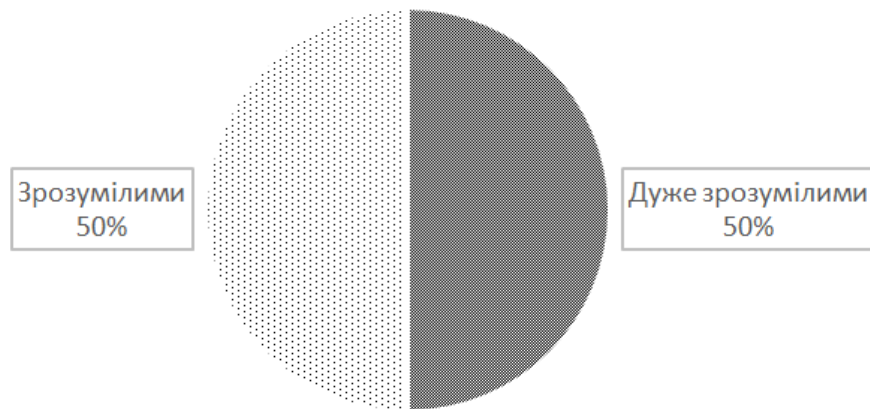


Рис. 2.28. Діаграма розподілу відповідей на питання №1 анкети

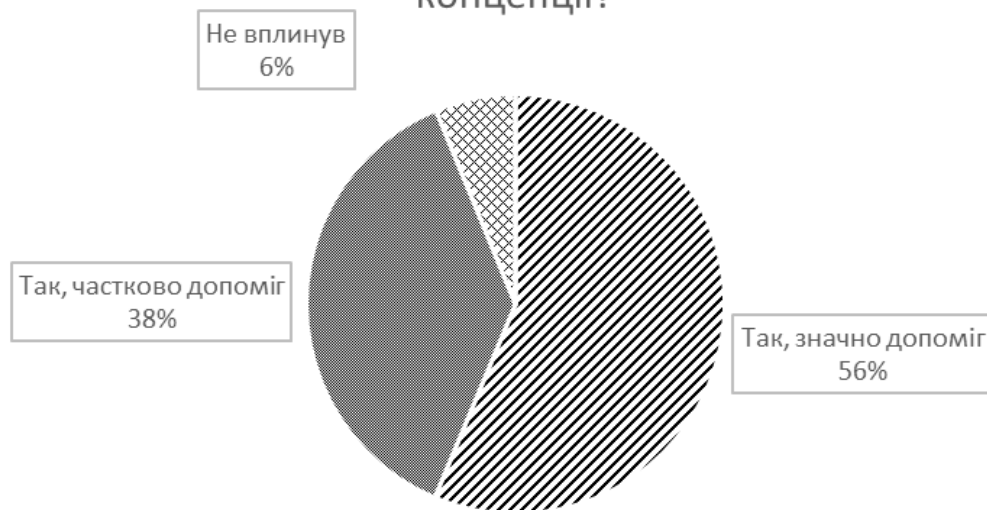
Наскільки зрозумілими були для вас 3D моделі геометричних фігур у додатку?



- Дуже зрозумілими
- Зрозумілими
- ⊗ Середньо зрозумілими
- Не зрозумілими

Рис. 2.29. Діаграма розподілу відповідей на питання №2 анкети

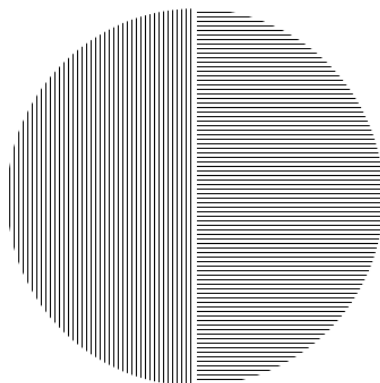
Чи допоміг вам AR-додаток краще зрозуміти геометричні концепції?



- ⊗ Так, значно допоміг
- Так, частково допоміг
- ⊗ Не вплинув
- ⊗ Ускладнив розуміння

Рис. 2.30. Діаграма розподілу відповідей на питання №3 анкети

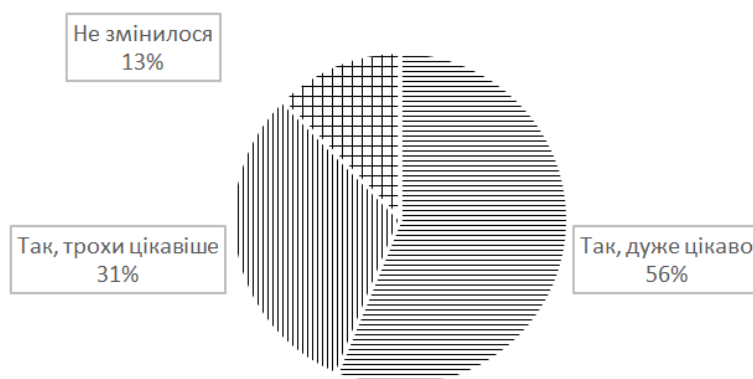
Наскільки корисними були відео з поясненням побудови просторових фігур?



≡ Дуже корисними ≡ Корисними ≡ Мало корисними ≡ Не корисними

Рис. 2.31. Діаграма розподілу відповідей на питання №4 анкети

Чи вважаєте ви, що інтерактивні елементи AR-додатку (3D моделі, відео) зробили навчання більш цікавим?



≡ Так, дуже цікаво ≡ Так, трохи цікавіше ≡ Не змінилося ≡ Менш цікаво

Рис. 2.32. Діаграма розподілу відповідей на питання №5 анкети

Наступним методом дослідження було інтерв'ю. В ньому прийняли участь 4 людини та надали свій відгук про досвід користування. Відгуки надано нижче.

«Додаток має багато потенціалу, і я дійсно оцінив інтерактивні моделі. Проте, іноді виникали проблеми з коректним відображенням моделей на моєму смартфоні. Також хотілося б більше прикладів і пояснень у відео. Загалом, додаток корисний, але потребує деяких удосконалень.»

— Респондент №1

«Я в захваті від цього AR-додатку! Він зробить навчання геометрії надзвичайно цікавим та зрозумілим. Особливо сподобалося, як можна взаємодіяти з 3D моделями фігур. Це допомагає краще зрозуміти просторові концепції, які раніше здавалися складними.»

— Респондент №2

«AR-додаток - чудова ідея, але потребує доопрацювання. Відео з поясненням фігур дуже корисні, але деякі з них могли б бути більш деталізованими. Також хотілося б бачити деяку кількість інтерактивних завдань, які б допомагали закріпити матеріал. Сподіваюся, це буде враховано в майбутніх оновленнях.»

— Респондент №3

«Додаток має хорошу ідею, але в його роботі я зіткнувся з деякими проблемами. Іноді 3D моделі завантажуються повільно, а сканування QR-кодів не завжди працює з першого разу. Було б чудово, якби ці технічні питання були вирішені в майбутніх оновленнях, оскільки сам підхід до навчання дуже цікавий і корисний.»

— Респондент №4

Проаналізувавши відгуки користувачів щодо AR-додатку для вивчення геометрії, можна зробити певні висновки. Загалом, відгуки користувачів показують, що AR-додаток має великий потенціал для покращення навчального процесу, однак потребує деяких технічних удосконалень та

розширення контенту. Врахування цих зауважень допоможе зробити додаток ще більш корисним і ефективним для учнів.

2.6. Готовий програмний продукт

Готовий програмний продукт - це AR-додаток для вивчення геометрії, який інтегрує в себе інтерактивні тривимірні моделі геометричних об'єктів та функціональні можливості для вивчення та аналізу цих об'єктів. Додаток розроблений з урахуванням освітньої програми з геометрії та розрахований на використання як у школі, так і вдома.

Основні характеристики програмного продукту:

- Додаток містить набір тривимірних моделей геометричних об'єктів, таких як піраміди, призми, куби, конуси та інші. Кожна модель відображається у віртуальному просторі з можливістю обертання та масштабування. Приклад повного програмного коду для однієї геометричної моделі наведений в додатку А. У додатку імплементована функція, що дозволяє користувачам змінювати прозорість частин моделей. Це дозволяє розглядати внутрішні структури об'єктів та розуміти їх будову.
- Додаток містить відео з покроковим поясненням, як зображувати просторові фігури на площині. Ці відео доповнюють навчальний процес, дозволяючи краще зрозуміти складні геометричні концепції.
- Для зручного доступу до AR-контенту додаток постачається разом з брошурою, яка містить QR-коди. Повний текст брошури наведено у додатку Б. Користувачі можуть сканувати ці коди, щоб швидко переходити до відповідних тривимірних моделей геометричних об'єктів.

Готова концепція програмного продукту зображена на рис 2.33.

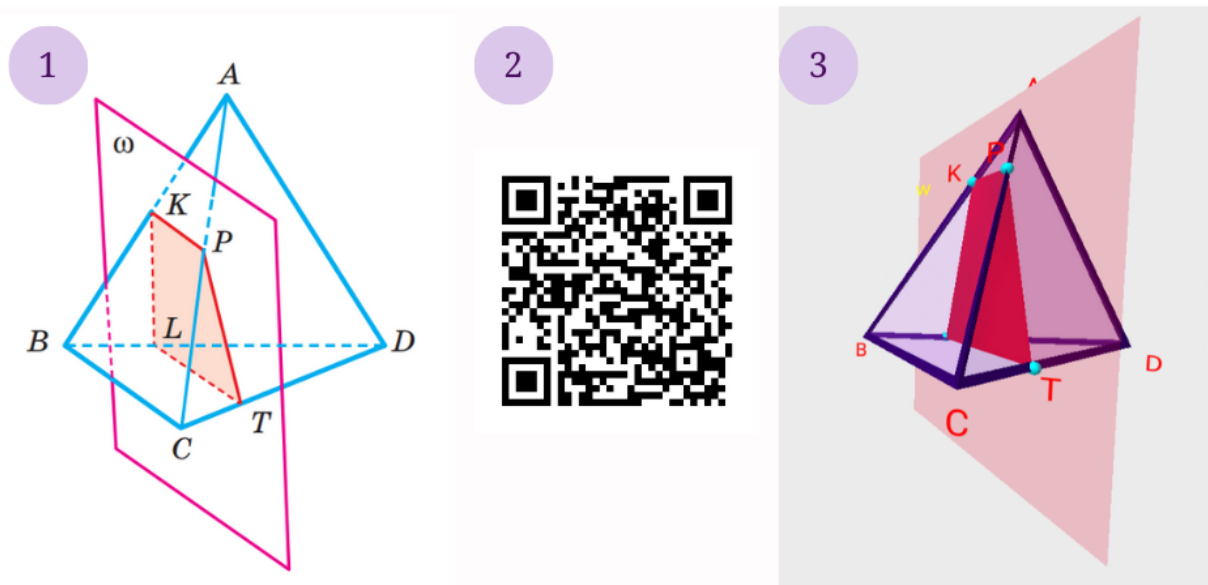


Рис. 2.33. Готова концепція програмного продукту

1. Зображення в підручнику.
2. QR – код, що веде до моделі.
3. Просторова 3D модель готова до взаємодії.

Готовий програмний продукт може використовуватися як у навчальних закладах, де вивчається геометрія, так і вдома для самостійного вивчення та підготовки до уроків. Він допомагає учням краще зрозуміти теоретичний матеріал та розвиває їх просторове мислення та навички аналізу геометричних об'єктів. Крім того, програмний продукт може бути використаний учителями як додатковий інструмент для проведення цікавих та змістовних уроків з геометрії.

РОЗДІЛ 3. Практичне застосування власних проєктів

3.1. Оцінка повноти вирішення поставленої задачі

Для оцінки повноти вирішення поставленої задачі важливо розглянути всі аспекти розробки та впровадження AR-додатку для вивчення шкільного курсу геометрії. Це включає відповідність освітнім стандартам, технічну реалізацію, інтерактивність та зручність використання додатку. Нижче наведено детальну оцінку повноти вирішення.

- Відповідність навчальній програмі: AR-додаток розроблений на основі теоретичного матеріалу підручника з геометрії для 10 класу, що забезпечує відповідність освітній програмі. Основні теми та концепції, включені до підручника, відображені у додатку через 3D моделі та відео з поясненнями.
- Додаток забезпечує високий рівень інтерактивності завдяки можливості взаємодії з 3D моделями геометричних фігур. Це дозволяє учням краще розуміти просторові концепції та візуалізувати складні математичні структури, що є суттєвим покращенням традиційного навчання.
- Включення відеоконтенту з покроковими поясненнями побудови просторових фігур додає цінність додатку. Ці відео, створені за допомогою Adobe After Effects, надають учням можливість повторювати матеріал у зручному для них темпі.
- Успішно реалізовані всі технічні аспекти проєкту, включаючи створення 3D моделей у Blender, експорт у AR за допомогою VS Code, налаштування серверної частини на веб-хостингу з FTP сервером, та створення функцій на JavaScript. Створення QR-кодів та їх інтеграція у брошуру забезпечують зручний доступ до AR-контенту.

- Друкована або цифрова брошура, створена у MS Word, надає користувачам всі необхідні інструкції для використання додатку, а також інформацію про геометричні теми. Обкладинка, створена за допомогою Adobe Illustrator, додає професійного вигляду.
- Проведене тестування додатку (manual testing) дозволило виявити та виправити технічні недоліки. Анкетування користувачів забезпечило зворотний зв'язок, що дозволяє оцінити ефективність додатку та виявити можливості для покращення.

Загалом, в результаті був створений додаток, який відповідає всім поставленим задачам. Для більш наочної демонстрації розробленого функціоналу на рис. 3.1. представлений алгоритм дій користувача.

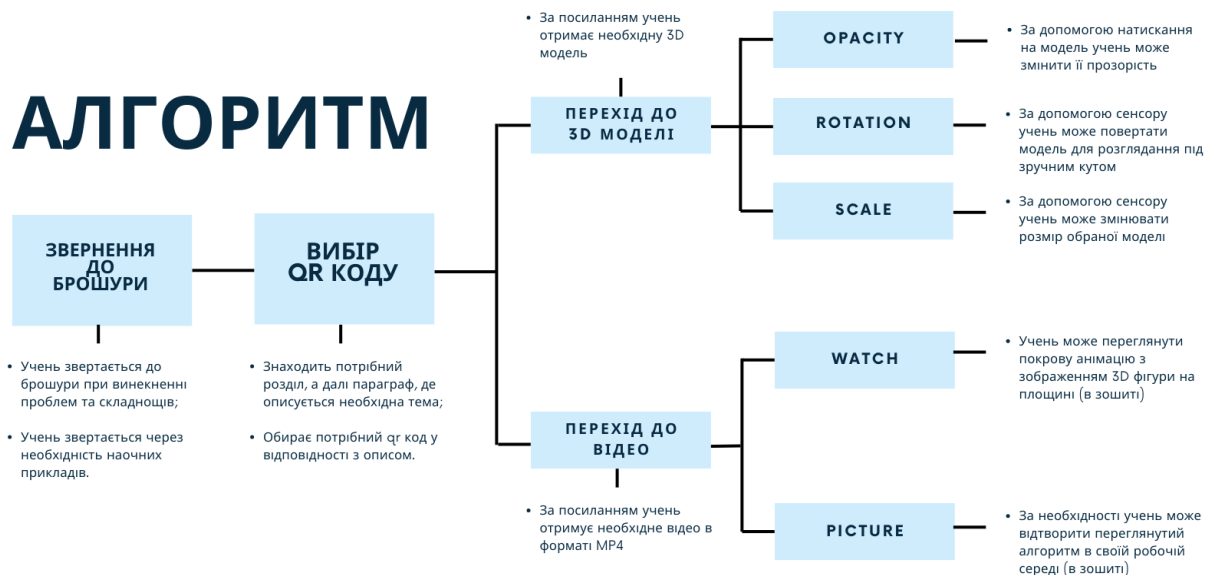


Рис. 3.1. Алгоритм дій користувача

1. Звернення до брошури:

- Учень звертається до брошури при виникненні проблем та складнощів;
- Учень звертається через необхідність наочних прикладів.

2. Вибір QR коду —

- Знаходить потрібний розділ, а далі параграф, де описується необхідна тема;

- b. Обирає потрібний QR код у відповідності з описом.
3. Перехід до 3D моделі — за посиланням учень отримує необхідну 3D модель
- a. Opacity — за допомогою натискання на модель учень може змінити її прозорість
 - b. Rotation — за допомогою сенсору учень може повертати модель для розглядання під зручним кутом
 - c. Scale — за допомогою сенсору учень може змінювати розмір обраної моделі
4. Перехід до відео — за посиланням учень отримує необхідне відео в форматі MP4
- a. Watch — учень може переглянути покрову анімацію з зображенням 3D фігури на площині (в зошиті)
 - b. Picture — за необхідності учень може відтворити переглянутий алгоритм в своїй робочій середі (в зошиті)

3.2. Перевірка достовірності отриманих результатів

Перевірка достовірності та пробація отриманих результатах проводилася шляхом:

- Демонстрації альфа-версії розробленого програмного продукту на Міжнародній IT-конференції Games Gathering у березні 2024 року Під час презентації учасники мали можливість ознайомитися з основними функціональними можливостями AR-застосунку для вивчення геометрії. Отримані відгуки від учасників були вельми позитивними та підкреслювали перспективність розробки. Багато з них відзначили інноваційний підхід до інтеграції навчального матеріалу з доповненою реальністю та висловили зацікавленість у подальшому розвитку проекту [22].

- Демонстрації релізної версії на ІТ-фестивалі IDIGEST.KROP. На фестивалі учасниками з м.Кропивницького та області було представлено біля 20 ІТ-розробок з різних сфер [23]. Під час фестивалю відбулася апробація додатку учасниками, які мали можливість безпосередньо взаємодіяти з його функціоналом. Більшість учасників відзначили саме цей додаток, наголошуючи на його інтерактивності, зручності та ефективності у навчанні геометрії. Високий рівень зацікавленості та позитивні відгуки свідчать про успішність розробки та її потенціал для подальшого використання у навчальному процесі.

- Шляхом анкетування представників цільової аудиторії додатку, студентів ВСП "Кібернетичний фаховий коледж" ЕТІ імені Роберта Ельворті (результати представлені у п.2.5).

- Демонстрації додатку потенційним стейкхолдерам, вчителям математики та отриманням відгуку від вчителя математики вищої категорії, вчителя-методиста. Ознайомитись з відгуком можна у вкладених матеріалах до роботи.

3.3. Порівняння з існуючими аналогами

Для порівняння AR-додатку для вивчення геометрії з іншими популярними додатками, такими як GeoGebra та XSection, важливо розглянути їх цільове призначення, функціональність, технологічні аспекти, користувацький досвід та інтеграцію в навчальний процес. Кожен з цих додатків має свої унікальні особливості та переваги, які впливають на ефективність їх використання в освітньому середовищі. Нижче наведено детальний аналіз та порівняння зазначених додатків у вигляді таблиць.

Цільове призначення та функціональність

	AR додаток	GeoGebra	XSection
Ціль	Покращення розуміння просторових геометричних фігур через інтерактивні 3D моделі та відео.	Універсальний інструмент для вивчення різних розділів математики, включаючи геометрію, алгебру, таблиці, графіки, статистику і чисельні методи.	Допомога у вивченні поперечних перерізів геометричних фігур.
Функціональність	Взаємодія з 3D моделями через доповнену реальність, покрокові відео з поясненнями, сканування QR-кодів для доступу до моделей та відео.	Створення геометричних конструкцій, побудова графіків, динамічне моделювання математичних об'єктів.	Візуалізація поперечних перерізів різних 3D фігур, можливість зміни площини перерізу.
Інтерактивність	Високий рівень завдяки AR-технології та можливості перегляду моделей з різних кутів.	Високий рівень взаємодії з математичними об'єктами, але не включає AR-технологію.	Високий рівень для задач, пов'язаних з поперечними перерізами, але без AR-технологій.

Таблиця 3.2

Технологічні аспекти

	AR додаток	GeoGebra	XSection
Технології	Доповнена реальність, 3D моделювання, QR-коди, JavaScript для функцій, серверна частина для хостингу контенту.	JavaScript, HTML5 для веб-версії, окремі додатки для різних операційних систем.	3D моделювання та графіка, можливість зміни параметрів перерізу.
Інноваційність	Використання AR для інтерактивного навчання.	Високий рівень інтеграції математичних інструментів в одному додатку, але без використання AR.	Спеціалізований на вивченні поперечних перерізів, без використання AR.

Таблиця 3.3

Відгуки та користувацький досвід

	AR додаток	GeoGebra	XSection
Відгуки	Позитивні, відзначено високу інтерактивність та візуалізацію, деякі технічні проблеми зі скануванням QR-кодів.	Позитивні, високий рівень функціональності та універсальності, деякі труднощі з інтерфейсом для новачків.	Позитивні, добре підходить для вивчення поперечних перерізів, обмежена функціональність у порівнянні з універсальними додатками.
Користувацький досвід	Покращення розуміння геометричних концепцій завдяки AR,	Потужний інструмент для вивчення математики, але може бути	Ефективний для конкретних навчальних задач, простий у використанні.

	зручний доступ через QR-коди, цікавість до навчання.	складним для початківців.	
--	--	---------------------------	--

Таблиця 3.4

Інтеграція в навчальний процес

	AR додаток	GeoGebra	XSection
Інтеграція	Легко інтегрується з підручником завдяки QR-кодам, які ведуть до відповідних 3D моделей та відео.	Широко використовується у навчальних закладах, підтримка різних тем і предметів.	Спеціалізований інструмент для конкретних тем з геометрії, може використовуватися як додатковий ресурс.
Переваги	Підвищує мотивацію учнів, покращує розуміння через візуалізацію, відповідає освітній програмі.	Потужний інструмент для комплексного вивчення математики, велика спільнота користувачів.	Зосереджений на вивченні поперечних перерізів, простий у використанні, швидке освоєння.

Таким чином, AR-додаток для вивчення геометрії відрізняється від GeoGebra та XSection своєю інтерактивністю через доповнену реальність та спрямованістю на візуалізацію просторових геометричних фігур, що значно покращує процес навчання. Водночас, кожен з додатків має свої унікальні переваги та специфічні сфери застосування у навчальному процесі.

3.4. Окреслення напрямів подальших досліджень

У процесі розробки AR-додатку для вивчення шкільного курсу геометрії виникла необхідність проведення додаткових досліджень для визначення можливостей його вдосконалення та розширення

функціональності. Ці дослідження охоплюють розширення тематики додатку, кросплатформенність, а також інтеграцію з іншими навчальними дисциплінами. Нижче наведено детальний опис додаткових напрямків розвитку проекту та їх значення для підвищення ефективності навчального процесу.

1. Охоплення більшого спектру навчання:

- Охоплення всього курсу стереометрії:

Вивчення підручника: аналіз усіх розділів і тем курсу стереометрії, визначення тих, які можуть бути покращені за допомогою AR.

Створення додаткових 3D моделей: розробка тривимірних моделей для кожної нової теми, наприклад, об'ємних фігур, їх перетинів, зрізів тощо.

Розробка інтерактивних завдань: створення завдань, які потребують взаємодії з AR-моделями для кращого розуміння просторових відносин.

- Розширення на весь предмет геометрії:

Аналіз курсу планіметрії: визначення ключових тем у планіметрії, які можуть бути покращені за допомогою AR (наприклад, властивості кіл, трикутників, багатокутників).

Створення відповідних моделей: розробка 3D моделей для демонстрації теорем, властивостей фігур та інших важливих понять.

Інтеграція в існуючу платформу: додавання нових моделей та функцій у вже існуючий додаток, забезпечення їх коректної роботи та взаємодії з користувачем.

- Охоплення інших навчальних дисциплін:

Вивчення потенціалу AR у інших предметах: аналіз можливостей використання AR у таких дисциплінах, як фізика, хімія, біологія, історія тощо.

Розробка прототипів: створення прототипів AR-додатків для інших предметів, наприклад, моделі атомів у хімії, симуляції фізичних експериментів, історичні реконструкції.

Пілотні проекти: впровадження пілотних проектів у співпраці зі школами для оцінки ефективності та отримання зворотного зв'язку від учнів та вчителів.

2. Кросплатформеність:

- Створення повноцінного застосунку для платформ Android та iOS:

Вибір технологій: вибір інструментів та фреймворків для кросплатформної розробки, таких як Unity з Vuforia або ARCore/ARKit для нативних розробок.

Розробка основного функціоналу: створення базового додатку з підтримкою основних функцій для обох платформ, включаючи відображення 3D моделей, інтерактивність, сканування QR-кодів.

Оптимізація продуктивності: забезпечення оптимальної роботи додатку на різних пристроях, включаючи оптимізацію графіки та зниження вимог до апаратного забезпечення.

Тестування на різних пристроях: проведення тестування додатку на різних моделях смартфонів і планшетів для виявлення та виправлення можливих проблем.

Публікація додатків: публікація додатків у Google Play Store та Apple App Store, забезпечення їх регулярного оновлення та підтримки.

- Забезпечення спільної роботи на різних платформах:

Синхронізація даних: розробка механізмів для синхронізації прогресу користувачів між різними пристроями через хмарні сервіси.

Уніфікований інтерфейс: створення уніфікованого користувацького інтерфейсу для забезпечення однакового досвіду на різних платформах.

Підтримка мультимовності: забезпечення підтримки різних мов для додатку, що підвищить його доступність для користувачів з різних країн.

3. Інтеграція з існуючими освітніми платформами:

- *Сумісність з освітніми платформами:* інтеграція AR-додатку з популярними платформами для дистанційного навчання, такими як Google Classroom, Moodle, Microsoft Teams.
- *API для розширення функціоналу:* розробка API, що дозволить іншим розробникам інтегрувати функції AR-додатку у свої освітні продукти.
- *Спільна робота з вчителями:* співпраця з освітянами для розробки методичних рекомендацій щодо використання AR-додатку у навчальному процесі.

Ці додаткові дослідження та розробки дозволять значно розширити можливості AR-додатку, зробити його більш універсальним і корисним для широкого кола учнів та вчителів, а також забезпечити його стабільну роботу на різних платформах і пристроях.

ВИСНОВКИ

Розробка AR-додатку для вивчення шкільного курсу геометрії є інноваційним і перспективним підходом до покращення якості освіти. В умовах сучасного світу, де дистанційне навчання стає все більш поширеним, використання доповненої реальності допомагає вирішити багато проблем, пов'язаних із засвоєнням складного навчального матеріалу.

У процесі розробки AR-додатку для вивчення шкільного курсу геометрії було досягнуто значних результатів, які підтверджують успішне вирішення поставленої задачі. Додаток інтегрується з підручником з геометрії для 10 класу, використовуючи доповнену реальність для візуалізації складних геометричних концепцій, що сприяє покращенню розуміння та зацікавленості учнів.

Ключовими етапами розробки стали створення 3D моделей у Blender, їх експорт у AR за допомогою VS Code, розробка функцій на JavaScript, налаштування серверної частини, створення QR-кодів та формування брошури. Важливу роль відіграло також створення відеоконтенту, який доповнює теоретичний матеріал підручника.

Тестування додатку серед учасників IT-фестивалю IDIGEST.KROP показало високий рівень зацікавленості та позитивні відгуки, що свідчить про успішність реалізації проекту. Відгуки користувачів підтвердили ефективність додатку у покращенні візуалізації та розуміння геометричних фігур.

Проведені додаткові дослідження визначили можливості для подальшого розвитку проекту, включаючи розширення на інші навчальні дисципліни та створення кросплатформеного додатку для Android та iOS.

Загалом, розроблений AR-додаток значно підвищує якість навчання, роблячи його більш інтерактивним та цікавим для учнів. Він відповідає

сучасним освітнім вимогам та має великий потенціал для подальшого вдосконалення та розширення.

Таким чином, розробка та впровадження AR-додатку для вивчення шкільного курсу геометрії сприятиме не лише підвищенню якості навчання, але й розвитку інтересу учнів до точних наук, формуванню у них важливих компетенцій та навичок. Цей проект є важливим кроком у майбутнє освіти, де технології допомагають робити навчання більш доступним, цікавим і ефективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Azuma, R.T. A Survey of Augmented Reality // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1997. 6(4). С. 355-385.
2. Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. A survey of augmented reality // Foundations and Trends in Human-Computer Interaction. 2015. 8(2-3). С. 73-272.
3. Analysis of infological models. URL: https://www.researchgate.net/publication/347243845_Analysis_of_infological_models
4. Logical data models. URL: <https://www.datamation.com/big-data/logical-data-model>
5. Functional modelling in object-oriented analysis and design. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/functional-modelling-in-object-oriented-analysis-and-design/>
6. Научно-технические достижения СССР в 1960-70-е гг.. URL: <https://nauchniestati.ru/spravka/nauchno-tehnicheskie-dostizheniya-sssr-v-1960-70-e-gg/>
7. Освіта в СРСР. URL: https://ua.wikipedia.org/wiki/Образование_в_СССР
8. GeoGebra Documentation. URL: <https://www.geogebra.org>
9. XSection Documentation. URL: <https://www.xsectionapp.com>
10. Blender Documentation. URL: <https://docs.blender.org>
11. Coursera: Augmented Reality Specialization
12. Visual Studio Code Documentation. URL: <https://code.visualstudio.com/docs>
13. W3Schools JavaScript Tutorial. URL: <https://www.w3schools.com/js/default.asp>
14. Adobe After Effects. URL: <https://www.adobe.com/ua/products/aftereffects.html>
15. Datatracker IETF RFC1579. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1579>

16. Kaner, C., Falk, J., & Nguyen, H.Q. Testing Computer Software. Нью-Йорк: Wiley, 1999. – 502 с.
17. Бевз Г.П., Бевз В.Г., Владімірова Н.Г. Геометрія, 10 клас. Київ: Освіта, 2018. – 288 с.
18. A-Frame Documentation. URL: <https://aframe.io/docs/>
19. A-Frame Registry. URL: <https://registry.aframe.io/>
20. GitHub Repository - A-Frame Blender Exporter. URL: https://github.com/silverblade/aframe_blender_exporter
21. Cityhost. URL: <https://cityhost.ua/>
22. Сучасна ІТ-освіта: студенти з Кропивницького взяли участь у конференції Games Gathering. URL: <https://dostup.com.ua/novini/suchasna-it-osvita-studenti-z-kropivnickogo-vzyali-uchast-u-konferenciyi-games-gathering/>
23. Освітній ІТ-фестиваль. URL: <https://eti.edu.ua/news/492-osvitniy-it-festyval>

```

<!doctype html>
<html lang="en">

  <head>
    <title>WebXR Application</title>
    <link rel="icon" type="image/png" href="favicon.ico"/>
    <meta name="description" content="3D Application">
    <meta charset="utf-8">
    <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
    <script src="https://aframe.io/releases/1.2.0/aframe.min.js"></script>
    <script src="https://cdn.jsdelivr.net/gh/donmccurdy/aframe-
extras@v6.1.0/dist/aframe-extras.min.js"></script>
    <script src="https://unpkg.com/aframe-look-at-
component@0.8.0/dist/aframe-look-at-component.min.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="js/webxr.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="js/joystick.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="js/camera-cube-env.js"></script>

    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
    <script>
      //універсальна функція зміни прозорості
      function setOpacityOfGLTF(entity, opVal){
        var model = entity.object3D;

        // Traverse the model's children to find materials and modify
opacity
        model.traverse(function (node) {
          if (node.isMesh) {
            // Check if the node is a mesh with a material
            var material = node.material;
            if (material) {
              material.transparent = true; // Enable transparency
              material.opacity = opVal; // Set the desired opacity value
              material.needsUpdate = true; // Update the material
            }
          }
        });

        entity.setAttribute('material', {opacity: opVal});
      }

      AFRAME.registerComponent("hideonclick", {
        init: function() {
          this.hasClicked = false;
          this.el.addEventListener("click", function(e) {

```

```

        //e - подія натискання
        //e.target - AFrame об'єкт, на який натиснули
        //e.target.object3D - 3D об'єкт, властивості якого ми
хочемо змінити
        if (!this.hasClicked){
            setOpacityOfGLTF(e.target, 0.2)
        }else{
            setOpacityOfGLTF(e.target, 1)
        }
        this.hasClicked=!this.hasClicked;
    });
}
});
AFRAME.registerComponent("lat", {
  init: function() {
    this.el.addEventListener("loaded", e => {
      this.el.setAttribute("look-at", "[camera]")
    })
  }
})
</script>
</head>
<body onload="init();">
  <a-scene shadow="type: basic; autoUpdate: false;" renderer="antialias:
false; colorManagement: false; physicallyCorrectLights: false;">
    <!-- Assets -->
    <a-assets>
      <a-asset-item id="Circle" src="./assets/Circle.gltf"></a-asset-
item>
      <a-asset-item id="Cylinder.001"
src="./assets/Cylinder.001.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Cylinder.002"
src="./assets/Cylinder.002.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Cylinder.003"
src="./assets/Cylinder.003.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Cylinder.004"
src="./assets/Cylinder.004.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Cylinder.005"
src="./assets/Cylinder.005.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Cylinder.006"
src="./assets/Cylinder.006.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Cylinder.007"
src="./assets/Cylinder.007.gltf"></a-asset-item>
      <a-asset-item id="Plane" src="./assets/Plane.gltf"></a-asset-
item>
      <a-asset-item id="Plane.001" src="./assets/Plane.001.gltf"></a-
asset-item>
      <a-asset-item id="Plane.002" src="./assets/Plane.002.gltf"></a-
asset-item>

```

```

    <a-asset-item id="Plane.003" src="./assets/Plane.003.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere" src="./assets/Sphere.gltf"></a-asset-
item>
    <a-asset-item id="Sphere.001" src="./assets/Sphere.001.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.002" src="./assets/Sphere.002.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.003" src="./assets/Sphere.003.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.004" src="./assets/Sphere.004.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.005" src="./assets/Sphere.005.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.006" src="./assets/Sphere.006.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.007" src="./assets/Sphere.007.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Sphere.008" src="./assets/Sphere.008.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Plane.004" src="./assets/Plane.004.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Plane.005" src="./assets/Plane.005.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Plane.006" src="./assets/Plane.006.gltf"></a-
asset-item>
    <a-asset-item id="Cylinder.008"
src="./assets/Cylinder.008.gltf"></a-asset-item>
    <a-asset-item id="Cylinder.009"
src="./assets/Cylinder.009.gltf"></a-asset-item>
    <a-asset-item id="Cylinder.010"
src="./assets/Cylinder.010.gltf"></a-asset-item>

</a-assets>

<!-- Entities -->
<a-entity id="all" position="0 0 0">
  <!-- Щоб працював тач -->
  <a-entity cursor="rayOrigin:mouse"></a-entity>
  <a-entity position="-2 0 -6" rotation="0 -40 0">

    <a-entity id="#Circle" gltf-model="#Circle" scale="1 1 1"
position="0.00032312842085957527 2.238976001739502 0.9455914497375488"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>

    <a-entity id="#Cylinder.001" gltf-model="#Cylinder.001" scale="1
1 1" position="-0.006739564705640078 0.005033943802118301 -0.16087985038757324"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>

```

```

        <a-entity id="#Cylinder.002" gltf-model="#Cylinder.002" scale="1
1 1" position="-0.010322153568267822 0.004736192058771849 0.3623831868171692"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.003" gltf-model="#Cylinder.003" scale="1
1 1" position="-2.796457052230835 1.0108091831207275 1.3425363302230835"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.004" gltf-model="#Cylinder.004" scale="1
1 1" position="2.8018639087677 1.0108091831207275 1.3425363302230835"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.005" gltf-model="#Cylinder.005" scale="1
1 1" position="-0.006739564705640078 2.0242598056793213 -0.16087985038757324"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.006" gltf-model="#Cylinder.006" scale="1
1 1" position="-0.004877768456935883 3.3912813663482666 -1.649322748184204"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.007" gltf-model="#Cylinder.007" scale="1
1 1" position="-0.0016957991756498814 1.0108091831207275 1.3418002128601074"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane" gltf-model="#Plane" scale="1 1 1"
position="0.20543915033340454 2.1627602577209473 1.2533283233642578"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane.001" gltf-model="#Plane.001" scale="1 1 1"
position="-0.18737849593162537 -0.00028492650017142296 1.1573529243469238"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane.002" gltf-model="#Plane.002" scale="1 1 1"
position="-0.00023164390586316586 0.18774941563606262 -1.4793411493301392"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane.003" gltf-model="#Plane.003" scale="1 1 1"
position="-0.00023164390586316586 2.200421094894409 -1.4793411493301392"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere" gltf-model="#Sphere" scale="1 1 1"
position="4.4572106006057766e-09 0.01093843299895525 1.334488868713379"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.001" gltf-model="#Sphere.001" scale="1 1
1" position="4.4572106006057766e-09 0.01093843299895525 -1.6451406478881836"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.002" gltf-model="#Sphere.002" scale="1 1
1" position="4.4572106006057766e-09 2.0334110260009766 -1.6451406478881836"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.003" gltf-model="#Sphere.003" scale="1 1
1" position="4.4572106006057766e-09 6.785731792449951 -1.6451406478881836"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.004" gltf-model="#Sphere.004" scale="1 1
1" position="4.4572106006057766e-09 2.0033202171325684 1.334488868713379"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.005" gltf-model="#Sphere.005" scale="1 1
1" position="-2.8252623081207275 2.0033202171325684 1.334488868713379"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>

```

```

        <a-entity id="#Sphere.006" gltf-model="#Sphere.006" scale="1 1
1" position="2.808931589126587 2.0033202171325684 1.334488868713379"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.007" gltf-model="#Sphere.007" scale="1 1
1" position="-2.8252623081207275 -0.005392551422119141 1.334488868713379"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Sphere.008" gltf-model="#Sphere.008" scale="1 1
1" position="2.808931589126587 -0.005392551422119141 1.334488868713379"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane.004" gltf-model="#Plane.004" scale="1 1 1"
position="0.0 0.0 -0.0" visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane.005" hideonclick gltf-
model="#Plane.005" scale="1 1 1" position="0.9483384490013123 3.6232948303222656
0.3333333134651184" visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Plane.006" hideonclick gltf-
model="#Plane.006" scale="1 1 1" position="-0.9483384490013123
3.6232948303222656 0.3333333134651184" visible="true" shadow="cast: false" ></a-
entity>
        <a-entity id="#Cylinder.008" gltf-model="#Cylinder.008" scale="1
1 1" position="3.877685230690986e-05 3.8734354972839355 0.17674171924591064"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.009" gltf-model="#Cylinder.009" scale="1
1 1" position="0.047618135809898376 2.0190482139587402 1.3433676958084106"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>
        <a-entity id="#Cylinder.010" gltf-model="#Cylinder.010" scale="1
1 1" position="0.047618135809898376 0.006288817618042231 1.3433676958084106"
visible="true" shadow="cast: false" ></a-entity>

<!-- text -->

        <a-text id="#h" lat value="h" color="red" scale="2 2 2"
position="0 4 0.5" visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#p" lat value="p" color="red" scale="2 2 2"
position="3.7833473682403564 0.3 -3.7833476066589355" visible="true" ></a-
text>
        <a-text id="#A1" lat value="A1" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.02721858024597168 0.1923644095659256 -1.9831575155258179"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#B1" lat value="B1" color="red" scale="2 2 2"
position="-3.064784288406372 0.1923644095659256 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#C1" lat value="C1" color="red" scale="2 2 2"
position="3.1573259830474854 0.1923644095659256 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#A2" lat value="A2" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.02721858024597168 2.1357529163360596 -1.9831575155258179"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#B" lat value="B" color="red" scale="2 2 2"
position="-3.064784288406372 2.1357529163360596 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>

```



```

        <a-text id="#C" lat value="C" color="red" scale="2 2 2"
position="3.1573259830474854 2.1357529163360596 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#A" lat value="A" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.02721858024597168 6.986059188842773 -1.9831575155258179"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#a1" lat value="a1" color="red" scale="2 2 2"
position="-1.2351975440979004 0.1923644095659256 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#H1" lat value="H1" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.0017392635345458984 0.1923644095659256 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#h1" lat value="h1" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.0017392635345458984 0.1923644095659256 -0.46037745475769043"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#H" lat value="H" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.0017392635345458984 2.2679080963134766 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#a" lat value="a" color="red" scale="2 2 2"
position="-1.2351975440979004 2.2330591678619385 1.5606695413589478"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#h2" lat value="h2" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.0017392635345458984 2.2330591678619385 -0.46037745475769043"
visible="true" ></a-text>
        <a-text id="#f" lat value="f" color="red" scale="2 2 2"
position="-0.0017392635345458984 2.4401729106903076 0.7373086214065552"
visible="true" ></a-text>
    </a-entity>

</a-entity>
</a-scene>
</body>
</html>

```