

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»  
ФАКУЛЬТЕТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ДИЗАЙНУ

Кафедра комп'ютерних мультимедійних технологій

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.А. Бобарчук  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

**ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ “БАКАЛАВР”**

**Тема: «Макет навчального видання з доповненою реальністю «Біологія»  
для учнів старших класів авіакосмічного ліцею»**

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Світлана СІРЕНКО

**Керівник:** \_\_\_\_\_ к.пед.н., доцент Олена МАТВІЙЧУК-ЮДИНА

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ к.т.н. Світлана ГАЛЬЧЕНКО

КИЇВ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АвіАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»  
Факультет будівництва, архітектури та дизайну  
Кафедра комп'ютерних мультимедійних технологій  
Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія  
Освітньо-професійна програма Технології електронних мультимедійних видань

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.А. Бобарчук

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання кваліфікаційної роботи

Сіренко Світлани Олегівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти в родовому відмінку)

1. Тема роботи Макет навчального видання з доповненою реальністю «Біологія» для учнів старших класів авіакосмічного ліцею затверджена наказом ректора від «01» травня 2025 р. № 688/ст.
2. Термін виконання роботи: з 19.05.2025 р. по 22.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: ілюстративний та текстовий матеріал.
4. Зміст пояснювальної записки: Теоретичні засади інтеграції доповненої реальності у навчальне видання. Концепція та програмне забезпечення AR-додатку до навчального видання. Практична реалізація мобільного AR-додатку.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: презентаційний матеріал, електронне навчальне видання з доповненою реальністю до підручника "Біологія" для авіакосмічного ліцею.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Провести аналіз інформаційних джерел за темою дослідження	19.05.2025-20.05.2025	
2	Дослідити засади інтеграції доповненої реальності у видання	21.05.2025-23.05.2025	
3	Провести аналіз досвіду використання доповненої реальності	24.05.2025-25.05.2025	
4	Розробити концепцію додатку	26.05.2025-27.05.2025	
5	Обрати програмне середовище розробки	28.05.2025-29.05.2025	
6	Виконати практичну реалізацію AR-додатку	30.05.2025-02.06.2025	
7	Підготувати презентаційний матеріал	03.06.2025-04.06.2025	

7. Дата видачі завдання: «19» травня 2025р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Матвійчук-Юдіна О.В.

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис здобувача вищої освіти)

Сіренко С.О.

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Макет навчального видання з доповненою реальністю "Біологія" для учнів старших класів авіакосмічного ліцею»: 64 с., 27 рис., 1 табл., 31 використаних джерел, 1 додаток.

ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ, AR-ДОДАТОК, 3D-МОДЕЛІ, ЦИФРОВА ОСВІТА, UNITY, VUFORIA ENGINE, ІНТЕРАКТИВНЕ НАВЧАННЯ.

**Об'єкт дослідження** – навчальні видання з доповненою реальністю.

**Предмет дослідження** – навчальне видання з доповненою реальністю до підручника з біології для учнів 9 класу.

**Мета кваліфікаційної роботи:** розробка навчального видання з доповненою реальністю до підручника з біології для учнів старших класів, що навчаються в авіакосмічному ліцеї, з метою підвищення рівня наочності, інтерактивності та залученості у процес навчання.

**Методи дослідження.** У процесі роботи використовувались такі методи дослідження, як аналіз і синтез наукових джерел, порівняльний аналіз, емпіричне тестування програмного продукту на мобільному пристрої.

**Практичне значення** полягає у створенні функціонального навчального видання з доповненою реальністю, яке може бути інтегроване у навчальний процес учнів авіакосмічного ліцею як додатковий інструмент для вивчення біології. Розроблений застосунок може бути адаптований для інших дисциплін або інтегрований у зміст різних підручників природничого циклу, що відкриває перспективи для подальшого розвитку цифрових навчальних ресурсів з AR-компонентами.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ .....	11
1.1. Поняття доповненої реальності: визначення, особливості функціонування .....	11
1.2. Цифрова трансформація освіти та роль <i>AR</i> -технологій.....	18
1.3. Світовий досвід використання <i>AR</i> у шкільних підручниках природничого циклу .....	22
1.4. Психолого-педагогічні особливості сприймання <i>AR</i> -контенту учнями.....	28
Висновки до розділу 1 .....	32
РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ <i>AR</i> -ДОДАТКУ ДО НАВЧАЛЬНОГО ВИДАННЯ.....	34
2.1. Визначення концепції, цілей та функцій <i>AR</i> -додатку до підручника з біології.....	34
2.2. Аналіз цільової аудиторії та її потреб.....	36
2.3. Вибір програмного забезпечення.....	38
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО <i>AR</i> -ДОДАТКУ.....	43
3.1. Інтеграція <i>3D</i> -моделей клітин в <i>AR</i> -сцену.....	43
3.2. Налаштування роботи маркерів, позиціонування моделей у просторі.....	45
3.3. Побудова <i>AR</i> -сцени та тестування взаємодії камери з маркером .....	48
3.4 Підготовка середовища для мобільного розгортання: формування <i>IPA</i> та <i>APK</i> .....	52
Висновки до розділу 3 .....	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ....	58
ДОДАТКИ.....	62

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- AR (Augmented Reality), доповнена реальність*** – технологія, яка дозволяє поєднувати реальний світ із віртуальними об'єктами в режимі реального часу. За допомогою спеціальних пристроїв або мобільних додатків користувач може бачити цифрові елементи (зображення, 3D-моделі, анімації) накладеними на фізичне середовище [8].
- 3D-візуалізація** – процес створення зображень або анімацій тривимірних об'єктів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Застосовується для моделювання об'єктів у середовищі доповненої реальності, дизайні, архітектурі, медицині, освіті та інших галузях [29].
- Імерсивні технології** – сукупність цифрових технологій, які створюють ефект занурення користувача у віртуальне або доповнене середовище. До них належать *VR* (віртуальна реальність), *AR* (доповнена реальність) та *MR* (змішана реальність). Імерсивність досягається за рахунок візуального, звукового та іноді тактильного впливу [8].
- AR-маркер*** – фізичний або цифровий об'єкт, який слугує тригером для запуску *AR*-контенту. Найчастіше використовується у вигляді графічного зображення (наприклад, *QR*-коду або ілюстрації), яке система розпізнає та обробляє

для прив'язки цифрового об'єкта у просторі [30].

### ***AR*-додаток**

– мобільна або десктопна програма, призначена для відображення *AR*-контенту. Зазвичай використовує камеру пристрою для фіксації зображення реального середовища, обробляє дані за допомогою *AR*-модуля (наприклад, *ARKit* або *ARCore*) та відтворює цифровий контент у відповідному контексті [30].

### **Гейміфікація**

– це процес застосування ігрових механік, елементів дизайну гри та мислення, орієнтованого на гру, у неігровому контексті з метою підвищення залученості, мотивації та ефективності взаємодії користувача з продуктом чи процесом [9].

### **Віртуальна реальність (*Virtual Reality, VR*)**

– це комп'ютерно змодельоване інтерактивне середовище, яке імітує реальний або вигаданий простір і сприймається користувачем як повноцінне тривимірне середовище завдяки спеціальним технічним засобам, таким як шоломи віртуальної реальності (*HMD*), контролери руху, рукавички з тактильним зворотним зв'язком тощо [8].

## ВСТУП

**Актуальність роботи** зумовлена сучасними тенденціями цифровізації освіти та потребою у трансформації традиційних підходів до навчання у відповідь на виклики часу. Одним із ключових напрямів такої трансформації є впровадження технологій доповненої реальності (*Augmented Reality, AR*), які поєднують реальний та віртуальний світи, дозволяючи учневі безпосередньо взаємодіяти з навчальним матеріалом у новому форматі. *AR*-технології сприяють формуванню візуального мислення, кращому розумінню абстрактних і складних понять та підвищенню мотивації до навчання.

Особливо важливою є інтеграція доповненої реальності у підручники з природничих наук, зокрема біології, яка передбачає вивчення структур і процесів, що не завжди можуть бути візуалізовані за допомогою статичних зображень. Наприклад, будову клітини, взаємодію внутрішньоклітинних структур доцільно демонструвати за допомогою інтерактивних *3D*-моделей.

Впровадження *AR*-технологій у навчальні видання сприяє глибшому зануренню в навчальний матеріал, активізує пізнавальну діяльність учнів та покращує якість засвоєння складних тем. Важливість створення *AR*-додатків саме для готових підручників полягає у можливості розширення функціональності традиційних навчальних ресурсів без необхідності їх повної заміни, що є економічно вигідним і методологічно доцільним.

Попри наявність окремих спроб упровадження *AR* в освіту, в Україні поки що відсутня цілісна система адаптації подібних технологій до вже існуючих навчальних видань. Саме тому створення мобільного застосунку з доповненою реальністю до підручника з біології є своєчасним кроком у напрямку інтеграції інноваційних цифрових інструментів у освіту.

**Метою роботи** є розроблення *AR*-додатку до готового підручника з біології для учнів старших класів, що навчаються в авіакосмічному ліцеї, з метою підвищення рівня наочності, інтерактивності та залученості у процес навчання.

**Об’єкт дослідження** – навчальні видання з доповненою реальністю.

**Предмет дослідження** – навчальне видання з доповненою реальністю до підручника з біології для учнів 9 класу.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі **завдання дослідження**:

- проаналізувати теоретичні засади використання технології доповненої реальності в освітньому процесі;
- сформувати концепцію *AR*-додатку та обґрунтувати його функціональну структуру;
- здійснити вибір програмного забезпечення для створення додатку;
- реалізувати практичну частину: створити *AR*-сцену з інтеграцією *3D*-моделей та налаштуванням розпізнавання маркерів, провести тестування та формування фінального *.apk* та *.ipa* файлу для мобільного розгортання.

**Методи дослідження.** У процесі роботи використовувались такі методи дослідження, як аналіз і синтез наукових джерел, порівняльний аналіз, емпіричне тестування програмного продукту на мобільному пристрої.

**Наукова новизна** дослідження полягає у системному підході до проектування мобільного *AR*-застосунку як інтерактивного компонента до навчального видання з біології, без зміни структури підручника. У роботі реалізовано інтеграцію *AR*-технології, що враховує психолого-педагогічні особливості сприйняття навчального контенту учнями.

**Практичне значення** полягає у створенні функціонального мобільного *AR*-застосунку, який може бути інтегрований у навчальний процес учнів авіакосмічного ліцею як додатковий інструмент для вивчення біології. Розроблений застосунок може бути адаптований для інших дисциплін або інтегрований у зміст різних підручників природничого циклу, що відкриває перспективи для подальшого розвитку цифрових навчальних ресурсів з *AR*-компонентами.

### **Апробація отриманих результатів.**

Сіренко С. О. Застосування інтерактивних 3D-моделей в освітньому процесі. Тези доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції "Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності", Київ, 6 листопада 2024 р.

Сіренко С. О. Світовий досвід використання доповненої реальності у сучасних підручниках. Тези доповідей XXV Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки», Київ, 1-4 квітня 2025 р.

Матвійчук-Юдіна О.В., Сіренко С.О. Інтеграція доповненої реальності в підручники з біології як засіб розвитку просторового мислення учнів. V Міжнародна науково-практична конференція «Імерсивні технології в освіті», 29 квітня 2025 р.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРАЦІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

### 1.1. Поняття доповненої реальності: визначення, особливості функціонування

Технологія доповненої реальності (*AR*, від англ. *Augmented Reality*) є однією з ключових форм цифрового представлення інформації, яка дозволяє поєднувати віртуальний контент із реальним фізичним світом у режимі реального часу. Вона належить до класу інтерактивних технологій, які розширюють людське сприйняття за допомогою комп'ютерного генерування інформації – зокрема тривимірної графіки, текстових блоків, анімації або звукових ефектів – і накладають її на зображення реального середовища, зафіксоване камерою пристрою [1].

Згідно з визначенням, поданим Рональдом Азумою [2], *AR*-система повинна відповідати трьом основним критеріям:

- поєднання реального та віртуального простору;
- інтерактивність у реальному часі;
- тривимірне позиціонування віртуальних об'єктів у просторі.

Надалі до цієї базової тріади були додані вимоги щодо високої точності просторової прив'язки, врахування кутів огляду та адаптивності до змін середовища.

Уперше концепція доповненої реальності з'явилася у 1968 році, коли американський науковець Айвен Сазерленд створив прототип системи із головним дисплеєм, що відображав просту графіку, синхронізовану з рухами голови користувача. Проте справжній прорив відбувся лише наприкінці XX століття, коли з'явилися мобільні обчислювальні пристрої й 3D-графіка набули належного рівня розвитку. Поняття *AR* у його сучасному розумінні активно

формується з 1990-х років, особливо після публікації дослідження Тома Кауделла, який запропонував використання *AR* у промисловому проектуванні для *Boeing* [3].

Сучасні визначення доповненої реальності також включають аспект мобільності та зручності сприймання. Зокрема, за версією *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)*, *AR* – це технологія, яка за допомогою електронних пристроїв накладає комп'ютерну згенеровану інформацію на реальний світ, з урахуванням контексту користувача, координат і взаємодії з фізичними об'єктами [4].

У *XXI* столітті розвиток *AR* значною мірою пов'язаний із мобільними додатками, платформами *Unity*, *Unreal Engine*, *Vuforia*, *ARKit* і *ARCore*, які надали широким колам розробників можливість створювати інтерактивний контент. Застосування *AR* стало популярним у таких галузях, як медична візуалізація, навігація, роздрібна торгівля, культура, музеї, військова справа, авіація, туризм та – особливо активно – в освіті.

У контексті навчального процесу доповнена реальність виконує не лише функцію візуалізації, а й слугує засобом формування нових форматів взаємодії між учнем і матеріалом. Завдяки можливості наочно представляти об'єкти мікро- та макрорівня, *AR* підвищує ефективність засвоєння знань.

Маркерна *AR (Marker-based AR)* – реалізується на основі спеціальних маркерів (тригерів), зазвичай у вигляді двовимірних зображень або *QR*-кодів, які система аналізує для розміщення тривимірного об'єкта у просторі. Принцип дії базується на алгоритмах комп'ютерного зору, які ідентифікують унікальні ключові точки (*feature points*) та фрагменти зображення. Такий підхід має високу точність позиціонування й добре працює в друкованих виданнях, зокрема – підручниках.

Безмаркерна *AR (Markerless AR)* – функціонує без потреби в заздалегідь визначених зображеннях-тригерах. Розміщення об'єктів відбувається на основі просторового аналізу середовища за допомогою технологій *SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)*, *GPS*-даних, гіроскопів, акселерометрів або сенсорів

глибини. Цей тип *AR* активно використовується в міських туристичних маршрутах, навігації та ігрових *AR*-сценаріях.

Геолокаційна *AR* (*Location-based AR*) – залежить від координат місцезнаходження користувача (широта, довгота, висота) і використовується, наприклад, у додатках типу *Pokémon GO* або *Google Lens*. Вона менш точна у візуальному позиціюванні, але ефективна в геопросторовій орієнтації.

Проекційна *AR* (*Projection-based AR*) – ґрунтується на проєкції віртуальних об'єктів безпосередньо на фізичні поверхні за допомогою лазерів або інших засобів, що дозволяє створювати ілюзію глибини, тіней, об'єму. Вона активно застосовується в промисловому дизайні та медичних демонстраціях.

*AR* на основі розпізнавання об'єктів (*Object recognition AR*) – використовує тривимірні фізичні об'єкти як маркери, даючи змогу програмі визначати форму, структуру або контури об'єкта, щоб прив'язати віртуальний контент без потреби у стандартних зображеннях. Це перспективний напрям, який уже реалізовано у платформах *ARKit* та *ARCore*.

З технічного боку *AR*-системи поділяються на дві категорії – локальні (використовують тільки ресурси пристрою) та хмарні (*Cloud AR*), які обробляють інформацію на сервері або в дата-центрі з подальшою трансляцією зображення користувачеві. Хмарна архітектура забезпечує високу продуктивність, масштабованість і можливість обробки великого обсягу даних, що важливо для освітніх платформ з багатокомпонентним контентом [5].

Типова архітектура *AR*-додатку включає такі ключові компоненти:

- інтерфейс захоплення зображення (камери або сенсор);
- модуль розпізнавання маркерів або середовища;
- модуль трекінгу (визначення просторового положення об'єкта та користувача);
- рендеринговий рушій (*Rendering Engine*) для виведення 3D-графіки;
- система керування взаємодією (інтерфейс користувача, скрипти, функціональні кнопки);

– обробка анімацій, звуків або відео (у разі наявності мультимедійного контенту).

Використання рушія *Unity* у поєднанні з платформою *Vuforia Engine* є одним із найпопулярніших рішень у сфері мобільних *AR*-додатків освітнього спрямування. *Unity* забезпечує повноцінне *3D*-середовище з інтегрованим *C#*-програмуванням, а *Vuforia* відповідає за розпізнавання зображень, розміщення *3D*-моделей і керування трекінгом. Для освітніх додатків з використанням друкованих підручників перевагою *Vuforia* є можливість створення маркерів на основі звичайних зображень, зокрема – схем, ілюстрацій чи фотографій з підручника.

Серед альтернативних рішень варто згадати:

– *ARKit* – екосистема для *iOS*-пристроїв від *Apple*, що дозволяє створювати високоточні безмаркерні *AR*-додатки з інтеграцією *LiDAR*;

– *ARCore* – рішення від *Google* для *Android*-платформи, із підтримкою *SLAM*-технологій та аналізу поверхонь;

– *Spark AR Studio* – платформа для створення *AR*-фільтрів у соціальних мережах, менш релевантна для навчальних завдань.

Правильний вибір інструментів *AR*-розробки визначається характером контенту, платформою кінцевого пристрою (*iOS*, *Android*), вимогами до точності розпізнавання та рівнем взаємодії з користувачем. У межах даного проєкту перевага надається рішенням, які дозволяють швидко й ефективно інтегрувати цифрові *3D*-моделі до друкованого освітнього контенту, зокрема за допомогою маркерного підходу [6].

Імерсивні технології відкрили нові горизонти для розвитку друкованих видань, запропонувавши принципово інший спосіб подання інформації, який поєднує звичні для читача текстові та візуальні елементи з інтерактивними можливостями цифрового середовища. Завдяки таким технологіям традиційні паперові видання трансформуються на сучасні мультимедійні платформи, здатні не лише передавати зміст, а й занурювати читача у взаємодію з ним.

Інтеграція доповненої та віртуальної реальності у структуру друкованого продукту змінює саму парадигму споживання інформації: від пасивного прочитання – до активної участі, керування й вибудовування індивідуального користувацького досвіду. Зміст таких матеріалів «оживає» – у буквальному сенсі – коли читач наводить камеру мобільного пристрою на сторінку видання, активуючи віртуальні моделі, відео, інфографіку або анімації.

Подібні видання стають більш привабливими як для сучасного читача, що прагне нових форматів і гнучких медіавзаємодій, так і для журналістів та видавців, оскільки дозволяють вийти за межі двовимірного формату сторінки й втілювати креативні редакторські задуми з високим ступенем занурення у контент. Застосування імерсивних засобів значно підвищує залученість аудиторії та відкриває нові форми наративу.

Світова динаміка свідчить про зростання популярності доповненої реальності в медіа- та освітньому секторах. Згідно з прогнозом аналітичного порталу *Statista*, у 2024 році кількість активних користувачів мобільної доповненої реальності сягне 1,7 мільярда пристроїв, а до 2025 року обсяг глобального ринку *AR/VR*-технологій становитиме понад 80 мільярдів доларів США. Така тенденція чітко демонструє стрімке зростання інтересу до імерсивного контенту та підтверджує доцільність його впровадження у сферу друкованих комунікацій. [7].

Особливості функціонування доповненої реальності (*AR*) зумовлені складною інтеграцією апаратних і програмних компонентів, які працюють синхронізовано для поєднання реального світу з комп'ютерно згенерованим контентом у реальному часі. Ключова особливість цієї технології – її здатність аналізувати фізичне середовище користувача, точно визначати просторові координати та відповідним чином накладати цифрову інформацію, зберігаючи природність сприйняття. На відміну від повної віртуалізації, *AR* не замінює, а доповнює реальність, створюючи ефект «розширеного бачення», що підсилює пізнавальні та емоційні можливості користувача.

Функціонування *AR* починається з етапу захоплення зображення. Камера пристрою, зокрема смартфона, планшета або *AR*-окулярів, безперервно фіксує навколишнє середовище. Отримані відеодані передаються в обробний модуль, який аналізує візуальну інформацію – або шукає маркер (у випадку маркерної *AR*), або зчитує особливості простору (у випадку безмаркерної технології). Алгоритми комп'ютерного зору розпізнають структуру об'єктів, площини, лінії, кути або ключові точки зображення, що слугують орієнтирами для побудови координатної системи.

Наступним етапом є трекінг – процес відстеження положення користувача та визначення його рухів у просторі. Це забезпечує постійне оновлення координат камери щодо віртуального об'єкта, дозволяючи контенту зберігати стабільну позицію на площині реального світу. У маркерних *AR*-системах трекінг прив'язаний до статичного зображення, тоді як у безмаркерних – до фізичної геометрії середовища або даних сенсорів (акселерометрів, гіроскопів, *GPS*). Висока точність просторової синхронізації є критично важливою для переконливої візуалізації, оскільки навіть незначне зміщення може зруйнувати ілюзію інтеграції цифрового об'єкта у фізичне середовище.

Коли просторові координати визначено, у роботу вступає рендеринговий рушій, який відповідає за виведення тривимірної графіки. Цей процес передбачає обчислення освітлення, перспективи, текстур, глибини та тіней, щоб віртуальні об'єкти виглядали максимально реалістично. Потужні рушії, як-от *Unity* чи *Unreal Engine*, дозволяють створювати детальні моделі, анімації та складні взаємодії, зокрема в режимі реального часу. Залежно від контексту використання, *AR* може включати також елементи відео, звуку, інтерактивні кнопки або інші елементи користувацького інтерфейсу.

Ще однією важливою особливістю є система керування взаємодією. У сучасних *AR*-додатках взаємодія з користувачем відбувається за допомогою дотиків до екрана, жестів, голосових команд або навіть розпізнавання міміки. Це дає змогу не просто переглядати інформацію, а й активно нею керувати: обертати *3D*-модель, масштабувати її, запускати анімацію чи викликати додаткові дані.

Саме завдяки інтерактивності *AR* виходить за межі статичної демонстрації й стає потужним інструментом для навчання, симуляцій та візуального експериментування.

Особливу увагу в *AR*-системах приділяють адаптивності – здатності реагувати на зміну умов середовища. Наприклад, освітлення, фонові шуми, рухомі об'єкти або зміна орієнтації пристрою можуть впливати на стабільність трекінгу. Інтелектуальні алгоритми оптимізації, що включають машинне навчання, дозволяють системі адаптуватися до нових умов, зберігаючи якість візуалізації. Наприклад, якщо змінюється освітлення або частково перекривається маркер, система намагається «доповнити» відсутні дані, аби зберегти інтеграцію моделі.

Ще одним важливим компонентом є тип обробки – локальна або хмарна. У локальних *AR*-додатках усі обчислення виконуються на пристрої користувача, що забезпечує автономність, але обмежує обсяг оброблюваних даних. Хмарна *AR* (*Cloud AR*) передбачає збереження великого обсягу інформації, зображень або моделей на сервері, звідки вони передаються на запит користувача. Це дозволяє створювати масштабовані освітні чи мультимедійні платформи з багатим набором контенту, які не обтяжують пам'ять мобільного пристрою [8].

Доповнена реальність кардинально змінює саму філософію сприйняття інформації, створюючи синестезійне середовище, де візуальні, звукові та тактильні сигнали взаємодіють між собою в єдиному мультимедійному просторі. Завдяки цьому *AR* відкриває нову парадигму у видавництві – так зване "живе сторінкове середовище", у якому друкована інформація перестає бути статичною. Книга, що раніше виконувала лише функцію носія тексту, перетворюється на динамічний об'єкт з можливістю тривимірного дослідження, візуального аналізу або навіть інтерактивного навчання.

У цьому контексті особливої ваги набуває поняття "друкованого інтерфейсу", що поєднує традиційну поліграфічну культуру з цифровою активністю. Наприклад, при наведенні смартфона на ілюстрацію в книжці з'являється 3D-модель персонажа або механізму, що обертається, змінює

масштаб, коментує дії голосом. Це змінює не лише форму подачі контенту, але й структуру комунікації між автором і читачем, оскільки останній стає активним учасником взаємодії, а не пасивним споживачем.

Більше того, доповнена реальність відкриває перспективу персоналізованого навчання. Завдяки вбудованим алгоритмам, *AR*-додаток може адаптувати контент до рівня користувача, пропонувати підказки, перевірочні завдання або варіанти розвитку сюжету. Це особливо цінно в дитячих навчальних виданнях, де через гейміфікацію та емоційне залучення забезпечується глибше засвоєння матеріалу [9].

## **1.2. Цифрова трансформація освіти та роль *AR*-технологій**

Сучасна система освіти перебуває в стані глибоких трансформаційних змін, пов'язаних із цифровізацією всіх сфер суспільного життя. Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), штучного інтелекту, мобільних пристроїв створює нову модель освітнього середовища, в якому знання не лише передаються, а й створюються у взаємодії між людиною, контентом і технологією. Цифрова трансформація в освіті розглядається не як окремий напрям інформатизації, а як комплексна стратегія змін, що охоплює інфраструктуру, педагогіку, управління й навіть організаційні культури навчальних закладів.

У численних наукових дослідженнях встановлено стійкий взаємозв'язок між рівнем освіти населення та темпами економічного зростання. Освіта виступає одним із ключових чинників формування людського капіталу, підвищення продуктивності праці та зростання доходів громадян. Найбільш помітний ефект спостерігається у разі інвестування в освіту на ранніх етапах навчання, коли формується базовий комплекс соціальних, когнітивних і емоційних компетентностей.

Однак значущість освіти не обмежується лише економічними показниками. Вона сприяє розвитку соціального капіталу, формуючи

суспільство з вищим рівнем громадянської відповідальності, довіри, інтегрованості та міжособистісної взаємодії. Освітній простір — це не лише місце передавання знань, а й середовище формування життєвих навичок, критичного мислення, емоційного інтелекту та активної громадянської позиції [10].

Під цифровою трансформацією освіти розуміють глибоку переорієнтацію цілей, процесів і засобів навчання через впровадження цифрових інструментів, платформ і технологій, які дозволяють реалізовувати нові формати освітньої взаємодії. У контексті реалізації Національної економічної стратегії України на період до 2030 року, цифрова трансформація освіти й науки визначена як пріоритетний вектор державної політики. На рівні урядових рішень закріплено необхідність модернізації освітньої системи відповідно до світових тенденцій розвитку цифрової економіки. Особливу увагу приділено впровадженню інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема – інтеграції ІТ-освіти, розвитку *STEM*-галузі, автоматизації освітніх процесів, формуванню цифрових компетентностей та створенню інтелектуальної цифрової інфраструктури в освітніх закладах.

Концепція цифрової трансформації освіти і науки на період до 2026 року визначає основне стратегічне бачення цифровізації як системної трансформації всіх процесів у сфері освіти: від навчання і методичної підтримки до управління й аналізу даних. Її положення базуються на принципах державної політики цифрового розвитку, визначених урядом, і узгоджуються з нормативними актами в галузі цифрової трансформації. Особливої актуальності ця стратегія набуває в умовах постпандемічної реальності, коли використання цифрових технологій стало необхідною умовою забезпечення права на якісну та доступну освіту.

Концепція передбачає не лише цифровізацію навчального процесу, а й трансформацію внутрішніх процесів закладів освіти – документообігу, фінансування, атестації, обліку, аналітики та моніторингу. Визначено цілу низку проблем, які мають бути подолані на шляху цифрової трансформації: недостатній рівень цифрових компетентностей учасників освітнього процесу,

застарілий зміст ІКТ-освіти, обмежений доступ до цифрових ресурсів, слабка інфраструктура в закладах освіти, а також надмірна бюрократизація та відсутність прозорості в управлінні.

Основною метою цифрової трансформації є підвищення якості, зручності та доступності освітніх процесів через використання цифрових технологій. Досягнення цієї мети відбувається шляхом реалізації двох стратегічних напрямів:

- впровадження ефективного цифрового освітнього середовища (включає технічне оснащення шкіл, оновлення програм, розвиток цифрових навичок педагогів);

- оптимізація процесів управління та прийняття рішень на основі достовірних освітніх даних (автоматизація ліцензування, акредитації, звітності, введення електронних сервісів для учнів і вчителів).

Зокрема, передбачено впровадження єдиного цифрового освітнього середовища, доступу до електронних підручників, створення відкритих освітніх платформ, електронних кабінетів вступника, дистанційного адміністрування, оновлення стандартів ІКТ-освіти, автоматизованих систем обліку, реєстрів та аналітики. Значна увага приділяється створенню та використанню цифрових навчальних матеріалів, включаючи мультимедійний та інтерактивний контент, а також інструментів змішаного й дистанційного навчання.

Очікувані результати впровадження цієї Концепції передбачають створення цілісної цифрової екосистеми, в межах якої педагоги, здобувачі освіти та науковці зможуть ефективно взаємодіяти, використовуючи сучасне обладнання, цифрові сервіси та персоналізований навчальний контент. Такий підхід сприятиме формуванню гнучкої, адаптивної та конкурентоспроможної системи освіти, здатної відповідати викликам цифрової доби, реалізовувати концепцію освіти впродовж життя, забезпечити доступ до знань та підвищити якість управлінських рішень на всіх рівнях [11].

У цьому контексті доповнена реальність виступає як одна з найдинамічніших та перспективних технологій у галузі освітньої цифровізації. Її

головна перевага – здатність розширити традиційні освітні підходи без руйнування вже наявної структури навчального процесу. Замість того, щоб витіснити підручники, аудиторії чи вчителів, *AR* інтегрується у фізичне навчальне середовище, надаючи нові сенси звичним об'єктам і явищам. Ця особливість є критично важливою в умовах шкільної освіти, де баланс між новим і традиційним повинен бути збережений для ефективного формування комфортного освітнього процесу.

Доповнена реальність забезпечує інтерактивність, адаптивність та можливість самостійного або індивідуалізованого опрацювання навчального матеріалу. Вона сприяє залученню учнів до активної пізнавальної діяльності, стимулює їхню дослідницьку та аналітичну діяльність, формує просторову уяву, візуальну пам'ять та критичне мислення. Завдяки *AR*, учень отримує можливість не просто спостерігати, а взаємодіяти з навчальним об'єктом – розглядати його з різних ракурсів, аналізувати внутрішню структуру, спостерігати за процесами, що змінюються в часі.

Особливо важливою є роль *AR* у контексті *STEM*-освіти, що поєднує природничі науки, технології, інженерію та математику. *AR*-додатки дають змогу моделювати фізичні, хімічні або біологічні процеси, які складно або неможливо відтворити в умовах класу. Наприклад, симуляція клітинного поділу, будова клітини чи роботи механізмів у режимі доповненої реальності забезпечує глибше розуміння матеріалу, ніж статична ілюстрація в підручнику.

Крім того, *AR* є інструментом гнучкої цифрової педагогіки, оскільки дозволяє організовувати як індивідуальні заняття, так і групову діяльність із використанням мобільних пристроїв. У поєднанні з хмарними платформами та *LMS*-системами, доповнена реальність дає змогу відстежувати прогрес учня, формувати персоналізовані траєкторії навчання, а також включати зворотний зв'язок через інтерактивні сценарії.

У практиці цифрової освіти дедалі більше зростає потреба в інклюзивності, і в цьому контексті *AR* також має переваги. Її можливості використовуються в адаптованих освітніх середовищах для учнів з особливими освітніми

потребами – через візуалізацію понять, зниження когнітивного навантаження та створення умов для компенсаторного сприймання.

У зв'язку з цим, розвиток *AR*-компонентів до навчальних видань (зокрема, у формі мобільних застосунків) відповідає не лише сучасним тенденціям цифрової трансформації, а й потребам реформування української школи відповідно до міжнародних стандартів. Указ Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» передбачає цифрову трансформацію як один із напрямів модернізації освітнього простору. Відповідно, розробка *AR*-додатків на базі існуючих навчальних матеріалів – це не лише відповідь на технологічний виклик, а й стратегічна інвестиція в підвищення якості освіти [12].

### **1.3. Світовий досвід використання *AR* у шкільних підручниках природничого циклу**

Використання технологій доповненої реальності (*AR*) у загальній середній освіті, зокрема у підручниках природничого циклу (біологія, фізика, хімія, географія), дедалі більше поширюється у світовій освітній практиці. У країнах із високим рівнем цифровізації освіти (Фінляндія, Сінгапур, Південна Корея, Естонія, США, Канада) *AR* активно впроваджується як компонент інтерактивного навчального середовища, який дозволяє поглибити вивчення навчального матеріалу, зробити його візуально зрозумілим, а також залучити учнів до активного пізнання через експеримент, моделювання та дослідження [25].

Одним із найвідоміших прикладів є система *Merge EDU* [13] (США), яка поєднує спеціальні інтерактивні 3D-об'єкти й *AR*-додатки з класичними підручниками. Учні за допомогою мобільного пристрою можуть переглядати анатомію людини, структуру рослин або планети Сонячної системи в тривимірному режимі, а також проходити короткі тести після кожного розділу.

Цей продукт рекомендований у багатьох школах США як додаток до базових програм у біології та природничих науках (рис. 1.1).

## Hands-on Augmented Reality for Education

Merge EDU engages students in STEM & Science with digital 3D objects and simulations they can touch, hold and interact with.

Try Merge EDU

Trial Sign Up

or, [Sign In](#)

Buy Merge EDU

Request a Quote

or, [read the buying guide](#)

Research, Case Studies and More

Insightful articles, academic research, news, and press.

[Merge EDU Blog](#)

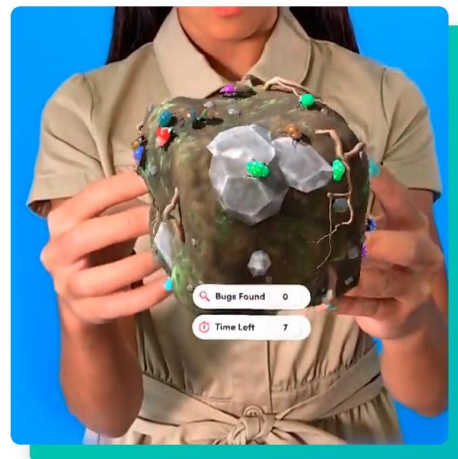


Рис. 1.1. Сайт *Merge EDU* [13]

*Ludenso* – це норвезька компанія, яка спеціалізується на інтеграції технологій доповненої реальності (AR) у навчальні матеріали, зокрема підручники [14]. Прикладом є застосунок “*AR Aschehoug*”, розроблений *Ludenso* для збагачення підручників видавництва *Aschehoug* елементами доповненої реальності. В основному це підручники з природничих наук для середньої та старшої школи. Також компанія має партнерство з Кембриджським університетом, в рамках *Cambridge Partnership for Education* (рис. 1.2).

*VictoryXR* – це американська освітня компанія, заснована у 2016 році, яка спеціалізується на створенні інноваційних рішень у сфері віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) для навчання. Її продукти охоплюють різні освітні рівні – від початкової до вищої школи – та забезпечують інтерактивне, візуалізоване засвоєння знань у природничих науках.



Рис. 1.2. Застосунок “AR Aschehoug” [14]

*VictoryXR* активно розробляє *AR*-матеріали для шкільних підручників природничого циклу, які можна використовувати через смартфони, планшети або *AR*-окуляри [15]. Серед них:

– *Human Anatomy AR Book* – підручник з анатомії, що дозволяє учням вивчати внутрішні органи людини в *3D*-форматі, з можливістю обертання, масштабування та прослуховування аудіо-коментарів.

– *Space and Planets AR Cards* – набір карток, які оживляють планети, ракети та інші космічні об'єкти, забезпечуючи інтерактивне вивчення астрономії.

– *Living in the Land of Dinosaurs AR Book* – книга, що дозволяє учням спостерігати за динозаврами у доповненій реальності, вивчаючи їхню історію та біологію (рис. 1.3).

Вартий уваги також канадський освітній стартап *Curiscope*, який створює інноваційні *AR*-рішення для вивчення анатомії. Їхній мобільний додаток *Virtuali-Tee* дозволяє "просвітити" футболку учня й побачити внутрішні органи людини у форматі реального часу з анімованими функціями [16]. Цей продукт широко використовується в середніх школах як доповнення до підручників з біології (рис. 1.4).



Рис. 1.3. *Living in the Land of Dinosaurs AR Book* [15]

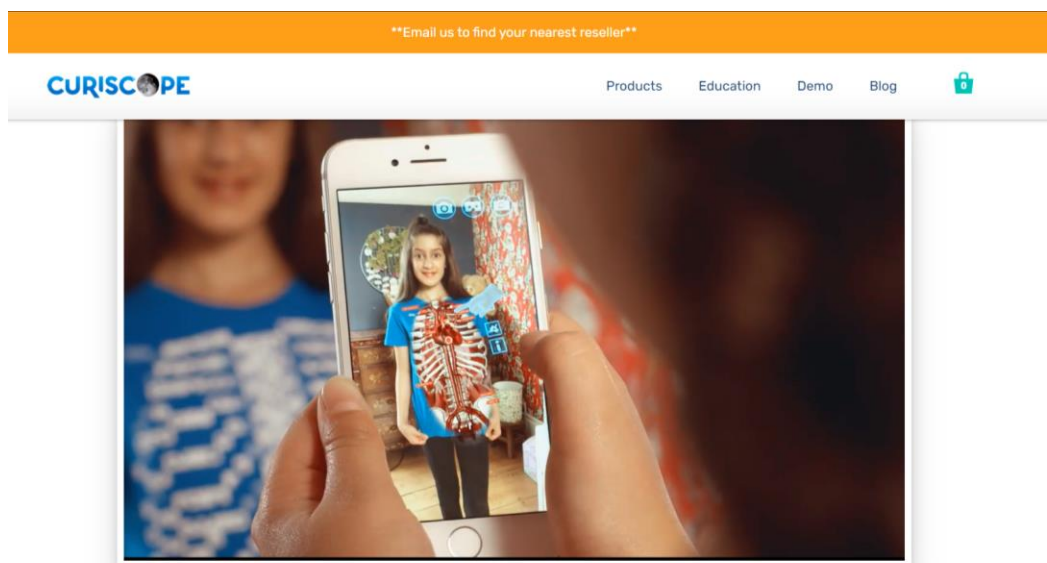


Рис. 1.4. Мобільний додаток *Virtuali-Tee* [16]

У сфері астрономії широке застосування має додаток *AR Solar System*, який дозволяє вивчати Сонячну систему у тривимірному форматі. За допомогою камери смартфона користувач може побачити обертові планети, їх орбіти та отримати інформацію про розміри, температуру, склад атмосфери та інші

характеристики небесних тіл [17]. Така форма подачі дає змогу краще зрозуміти масштаб космічних об'єктів і принципи їх руху, що є складним для візуалізації при використанні звичайних ілюстрацій (рис. 1.5)



Рис. 1.5. Застосунок *AR Solar System* [17]

Для вивчення фізичних явищ та принципів механіки *AR* також пропонує низку рішень. Зокрема, додаток *Physics Lab AR* моделює експерименти з електрики, магнетизму, оптики, механіки. Учень може самостійно побудувати просту електричну схему або дослідити закон Архімеда через моделювання у віртуальному середовищі [18]. Це дозволяє проводити навчальні експерименти без потреби у фізичному обладнанні, що робить цей інструмент надзвичайно корисним для дистанційного навчання або для шкіл із обмеженими ресурсами для шкіл із обмеженими ресурсами (рис. 1.6).

*AR*-технології також активно впроваджуються в хімії, зокрема для вивчення просторової структури молекул та хімічних реакцій. Одним із прикладів є додаток *MEL Chemistry*.

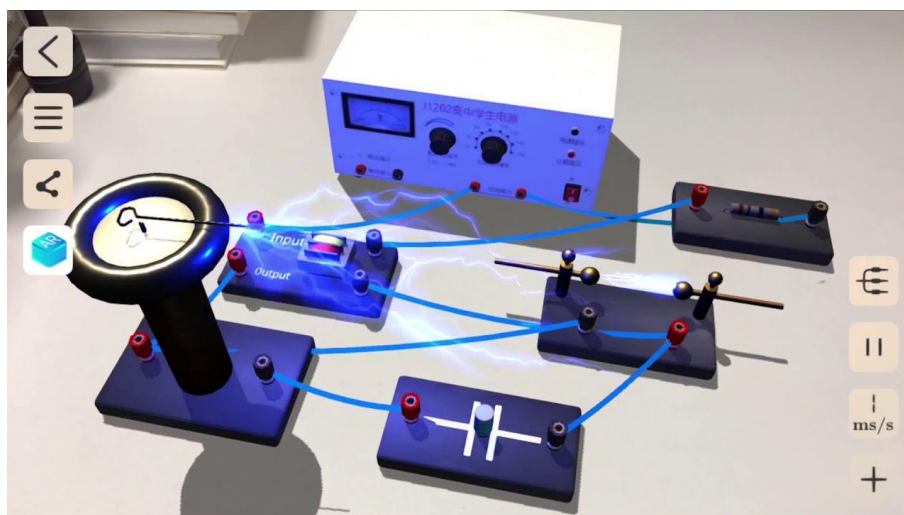


Рис. 1.6. Застосунок *Physics Lab AR* [18]

*MEL Chemistry* дозволяє переглядати структури речовин у *3D*, а й демонструє візуалізації хімічних реакцій. Учні можуть бачити процеси на молекулярному рівні, що особливо важливо для формування цілісного уявлення про хімічні явища [19] (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Застосунок *MEL Chemistry* [19]

Загалом, світовий досвід свідчить про те, що ефективне впровадження AR у підручники природничого циклу базується на таких принципах:

- інтеграція *AR* як доповнення, а не заміна підручника;
- відповідність контенту віковим та когнітивним особливостям учнів;
- технологічна доступність (підтримка більшості мобільних пристроїв);
- наявність методичного супроводу для вчителів;
- оцінка результатів навчання на основі взаємодії з *AR*-компонентами.

#### **1.4. Психолого-педагогічні особливості сприймання *AR*-контенту учнями**

Упровадження технологій доповненої реальності (*AR*) в навчальний процес суттєво впливає на способи сприймання й засвоєння інформації учнями, активізуючи ті когнітивні механізми, які традиційні засоби подачі знань зазвичай не залучають у повному обсязі. *AR* створює багатоканальне освітнє середовище, в якому візуальні, моторні, слухові та просторові елементи взаємодіють у реальному часі з навчальним матеріалом, формуючи так званій «досвід занурення», що має безпосередній вплив на ефективність навчання.

Сучасні когнітивні дослідження підтверджують, що використання доповненої реальності забезпечує вищий рівень когнітивної активності, ніж традиційні текстово-ілюстративні засоби. Експериментальне дослідження було проведене серед учнів сьомого класу однієї із загальноосвітніх шкіл міста Анталія (Туреччина) [20]. Темою дослідницького втручання було обрано розділ біології, що охоплює вивчення будови рослинної та тваринної клітини, зокрема – клітинних органел. Для реалізації дослідження було попередньо обрано мобільний додаток доповненої реальності, що відповідає змісту навчальної теми, а також підготовлено відповідні навчальні матеріали – інтерактивні наукові картки. Усі матеріали були відкрито доступні через онлайн-платформи (рис. 1.8).

Перед початком роботи учні експериментальної групи отримали інструктаж щодо використання *AR*-додатку. Заняття у двох групах

(експериментальній та контрольній) проводив один і той самий вчитель, що дало змогу мінімізувати викладацький вплив як чинник варіації результатів. Додатково до процесу навчання було залучено трьох майбутніх учителів природничих дисциплін у ролі незалежних спостерігачів, що забезпечило об'єктивне спостереження за ходом експерименту.

Навчальні заняття в експериментальній групі здійснювались із використанням цифрових *AR*-матеріалів, які дозволяли візуалізувати структуру клітини в тривимірному просторі. Учні могли взаємодіяти з моделями, розглядати органели з різних ракурсів, слухати озвучені пояснення та застосовувати функціональні можливості додатку для самостійного вивчення. Натомість у контрольній групі викладання здійснювалося традиційним способом – з використанням друкованого підручника та плоских зображень.

Експеримент тривав чотири навчальні тижні. Упродовж цього часу доповнена реальність використовувалася згідно з попередньо складеним розкладом занять експериментальної групи, інтегруючись у вивчення відповідних тем навчальної програми.

За результатами тестування до та після проведення досліду, можна побачити наступне: показники експериментальної групи збільшились з 36.12 до 77.41, а показники контрольної групи – з 34.06 до 64.21, що є суттєвим результатом та підтверджує ефективність доповненої реальності в навчанні (рис. 1.9, рис. 1.10).

Крім когнітивної ефективності, *AR*-технології позитивно впливають на мотивацію учнів. Інтерактивність, елемент несподіванки, ефект гейміфікації та можливість самостійної навігації контентом створюють високу залученість до навчального процесу. Саме *AR*-компонент дозволяє активізувати інтерес до предметів природничого циклу серед учнів із середнім і нижчим рівнем мотивації.



Рис.1.8. Приклади додатків створених для учнів експериментальної групи

<i>Groups</i>	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>S.D.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Experimental	31	36.12	15.36	,587	0.559
Control	32	34.06	12.47		

Рис. 1.9. Результати тестування до проведення дослідю

<i>Groups</i>	<i>N</i>	<i>Mean</i>	<i>S.D.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Experimental	31	77.41	21.71	2,131	0.037
Control	32	64.21	27.06		

Рис.1.10. Результати тестування після проведення дослідю

Доповнена реальність посилює емоційне занурення у навчальну ситуацію, що, у свою чергу, стимулює довготривале збереження інформації у пам'яті. Це особливо важливо в контексті природничої освіти, де візуальна складність і багаторівневість понять вимагає образного мислення та системного бачення. *AR*-додатки дозволяють моделювати динамічні процеси (наприклад, поділ клітини чи роботу серця), що є майже неможливим у класичному двовимірному підручнику.

У психолого-педагогічному аспекті важливим є також врахування вікових та індивідуальних особливостей сприймання *AR*-контенту. Учні старшого шкільного віку (15–17 років) володіють більш сформованим абстрактно-логічним мисленням і високим рівнем саморегуляції, що дозволяє ефективно використовувати *AR* як засіб самостійного або групового дослідження. У цьому віці формується системне мислення, а тому можливість «бачити і взаємодіяти» з об'єктами в режимі реального часу – ключовий чинник формування предметних компетентностей [27].

Водночас надмірне використання *AR* без викладача може призводити до зниження рівня усвідомленості навчання: учні можуть зосереджуватись на візуальному ефекті замість навчальної мети. Тому принциповим залишається питання педагогічного супроводу *AR*-контенту, зокрема: методична інтеграція у структуру уроку, постановка чітких завдань, рефлексія після взаємодії з *AR*-об'єктом.

Психолого-педагогічні особливості сприймання *AR*-контенту в шкільному середовищі визначаються як поєднанням когнітивних, емоційних і мотиваційних чинників, так і рівнем методичної інтеграції технологій у процес навчання. *AR* виступає не просто як візуальна інновація, а як засіб поглиблення навчального досвіду, розвитку рефлексивного та системного мислення. За умови грамотного педагогічного супроводу й орієнтації на освітні цілі, технології доповненої реальності мають значний потенціал у формуванні високого рівня навчальних досягнень у природничій освіті школярів [21].

## Висновки до розділу 1

У межах першого розділу було здійснено глибокий аналіз теоретико-методологічних засад впровадження доповненої реальності в систему загальної середньої освіти, з акцентом на її застосування в навчальних виданнях природничого циклу. З'ясовано, що технологія доповненої реальності (*AR*) є однією з провідних і перспективних форм цифрової трансформації освіти, яка забезпечує синтез реального та віртуального освітнього простору в інтерактивному режимі. Вона дозволяє не лише ілюструвати навчальний матеріал у вигляді статичних схем чи малюнків, а й створювати динамічні *3D*-моделі, симуляції, анімації, що суттєво підвищують рівень наочності та залученості учнів до навчального процесу.

Особливо актуальною є інтеграція *AR* у вивчення природничих дисциплін, зокрема біології, де часто розглядаються абстрактні або мікроскопічні об'єкти, недоступні безпосередньому спостереженню. *AR*-технології дозволяють виводити такі структури «у простір» та маніпулювати ними у реальному часі, що сприяє формуванню в учнів просторового мислення, наукової уяви, а також глибшому розумінню складних біологічних процесів.

Цифрова трансформація освіти, як стратегічний вектор державної освітньої політики України, передбачає переосмислення традиційних форм навчання та впровадження сучасних інструментів, що забезпечують індивідуалізацію, інтерактивність і адаптивність освітнього процесу. У цьому контексті *AR* відіграє роль технології, що активізує не лише когнітивну діяльність учнів, а й формує навички *XXI* століття – критичне мислення, креативність, здатність працювати з інформацією, цифрову грамотність.

Аналіз світового досвіду засвідчив, що *AR* вже активно використовується у шкільній освіті. Платформи й продукти таких компаній, як *VictoryXR*, *Merge EDU*, *Curiscope*, доводять, що доповнена реальність є не лише технічно реалізованим інструментом, а й ефективною педагогічною технологією, що

забезпечує підвищення мотивації до навчання, розвиток міжпредметних зв'язків та формування емоційного залучення до контенту.

У межах психолого-педагогічного аналізу виявлено, що *AR*-контент активізує пізнавальну діяльність, стимулює емоційно-ціннісне ставлення до навчального матеріалу та дозволяє подолати бар'єри сприймання абстрактних понять. Особливо це важливо в роботі з учнями середньої та старшої школи, які перебувають у фазі розвитку абстрактного мислення й потребують нових форматів візуального представлення інформації.

Водночас акцентовано, що ефективне впровадження *AR* у навчальний процес потребує супроводу з боку педагога. Викладач виконує не лише роль фасилітатора, а й відповідає за дидактичне структурування *AR*-досвіду: пояснення, інтерпретацію, рефлексію та узагальнення, що є критично важливими для формування повноцінного навчального результату. Успішна інтеграція *AR* у підручник можлива лише за умови методичного осмислення його функцій, цілей і меж застосування.

Результати першого розділу свідчать про доцільність і перспективність використання доповненої реальності в шкільних навчальних виданнях, зокрема в біології. Це створює підґрунтя для формування концепції *AR*-додатку, що буде відповідати сучасним освітнім потребам учнів, технічним можливостям школи та методичним засадам викладання природничих дисциплін у цифрову епоху.

## РОЗДІЛ 2

# КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ AR-ДОДАТКУ ДО НАВЧАЛЬНОГО ВИДАННЯ

### 2.1. Визначення концепції, цілей та функцій AR-додатку до підручника з біології

Інтеграція доповненої реальності у традиційний навчальний процес є перспективним напрямом цифровізації шкільної освіти, що дозволяє поєднати переваги друкованого підручника з можливостями тривимірної візуалізації та інтерактивної взаємодії. На основі проведеного аналізу теоретичних засад і міжнародного досвіду, було сформульовано концепцію AR-додатку “*BioAR*”, призначеного для учнів 9 класу в межах вивчення біології.

*BioAR* – це мобільний додаток, створений на платформі *Unity* із використанням інструментів *Vuforia Engine*, який забезпечує можливість накладення інтерактивного тривимірного навчального контенту на сторінки шкільного підручника біології для 9 класу. Застосунок призначений для використання в межах очного або змішаного навчання з метою покращення сприйняття складного теоретичного матеріалу, зокрема – тем, пов’язаних із мікроскопічними структурами та біологічними процесами, які складно уявити без наочного представлення.

Ключова концепція *BioAR* ґрунтується на принципах візуалізації, інтерактивності та когнітивної підтримки учня. Технологічно додаток реалізує маркерну AR-модель: учень наводить камеру мобільного пристрою на зображення з підручника (яке виконує функцію маркера), і на екрані з’являється відповідна тривимірна модель. Завдяки використанню *Vuforia Engine*, досягається точне розпізнавання маркерів, висока стабільність трекінгу.

Метою розробки AR-застосунку *BioAR* є:

– підвищення наочності вивчення навчального матеріалу з біології;

- активізація пізнавальної діяльності учнів;
- формування просторового мислення через візуалізацію клітинних структур;
- підвищення мотивації до навчання за рахунок застосування інноваційних цифрових технологій;
- забезпечення умов для індивідуалізації та адаптивності навчального процесу.

Досягнення цієї мети реалізується через такі основні функції *AR*-додатку:

- розпізнавання зображень-підказок (маркерів) зі сторінок підручника та їх прив'язка до відповідних *3D*-моделей;
- відображення тривимірних моделей клітини, органел, мікроструктур, з можливістю масштабування та обертання;
- підтримка мобільних пристроїв на базі *IOS* та *Android* з можливістю автономного використання під час уроків або самостійної підготовки вдома.

*AR*-додаток орієнтований на вивчення розділу «Структура клітини» в підручнику біології для 9 класу авторства Р. Шаламова [22], що включає вивчення тваринної, рослинної, бактеріальної клітини.

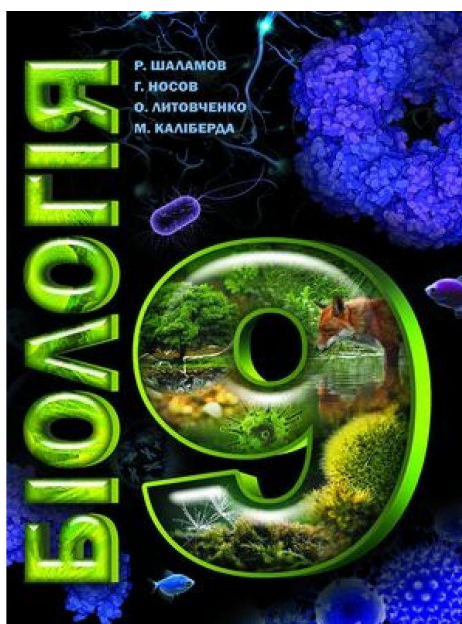


Рис. 2.1. Підручник на який орієнтований *AR*-додаток [22]

Розроблений *AR*-додаток *BioAR* є цілеспрямованим засобом доповнення навчального видання з біології, який поєднує переваги візуальної наочності з технологією доповненої реальності, підвищуючи якість освітнього процесу, забезпечуючи доступність складного навчального контенту та відповідаючи актуальним викликам цифрової трансформації середньої освіти.

## **2.2. Аналіз цільової аудиторії та її потреб**

Розробка освітнього застосунку на основі доповненої реальності вимагає глибокого розуміння особливостей та запитів цільової аудиторії. У межах даного проєкту такою аудиторією є учні 9 класу загальноосвітніх закладів, які навчаються за чинною програмою з біології та використовують відповідний друкований підручник. Учні такого вікового етапу характеризуються достатнім рівнем цифрової грамотності, відкритістю до використання нових технологій, а також потребою у візуалізації складного навчального матеріалу.

Психолого-педагогічні особливості дев'ятикласників свідчать про перехідний характер когнітивного розвитку: від переважання конкретно-образного мислення – до формування абстрактно-логічного. Це вікова група, для якої особливо ефективними є наочні й інтерактивні засоби навчання, які сприяють формуванню стійких уявлень про складні біологічні структури, зокрема мікроскопічні об'єкти, що не піддаються безпосередньому спостереженню в реальному житті. Застосування *AR*-додатку у процесі вивчення таких тем, як «Будова клітини», «Клітинні органели», «Життєві функції клітини» тощо, відповідає саме цим пізнавальним потребам.

Серед потреб цільової аудиторії виділяються такі ключові групи:

– учні прагнуть краще зрозуміти й засвоїти складні теми, потребують наочності, взаємодії з об'єктом вивчення, можливості повторного доступу до матеріалу в зручному темпі;

– сучасні школярі демонструють високий рівень інтересу до цифрових технологій, мобільних застосунків, інтерактивного контенту. Вони очікують від

навчання залучення, емоційного реагування та новизни, що стимулює активну пізнавальну діяльність;

– більшість учнів мають постійний доступ до смартфонів або планшетів, а тому потребують навчального контенту, адаптованого до мобільних платформ. Важливою є також простота використання додатка, інтуїтивність інтерфейсу, мінімальні вимоги до пристрою;

– потреби в індивідуалізації та самонавчанні. Учні 9 класу часто демонструють інтерес до самостійного вивчення предмету за межами класу. Наявність інтерактивного *AR*-дodatку дозволяє повернутися до складного матеріалу в будь-який момент, вивчити його в індивідуальному темпі, що сприяє глибшому засвоєнню знань;

– соціально-комунікативні потреби. Сучасні школярі часто працюють у парах, групах, комунікують через цифрові сервіси, обговорюють навчальні завдання в онлайн-спільнотах.

Застосунок *BioAR* може стати інструментом як для індивідуального навчання, так і для колективного обговорення побаченого *AR*-контенту на уроці [23].

Окрему увагу слід звернути на педагогів, які також є вторинною цільовою аудиторією. Учителі біології прагнуть зробити навчальний процес цікавішим, підвищити мотивацію учнів. За результатами опитувань (зокрема в межах цифрових освітніх стратегій), вчителі високо оцінюють потенціал *AR* у підвищенні якості викладання, однак потребують готових рішень, які легко інтегрувати в наявну структуру уроку без додаткових технічних ускладнень.

Додаток *BioAR* розробляється відповідно до реальних освітніх запитів і особливостей сучасних учнів 9 класу. Його зміст, функціонал та технологічна реалізація орієнтовані на полегшення засвоєння складного навчального матеріалу, підвищення зацікавленості до предмета, розвиток просторового мислення та створення комфортного середовища для індивідуального і колективного пізнання.

### 2.3. Вибір програмного забезпечення

Оскільки технології *AR* швидко розвиваються, вибір оптимального програмного забезпечення є ключовим фактором для досягнення мети в інтеграції *AR* у навчальний процес. У цьому контексті важливо порівняти популярні платформи з точки зору їх можливостей, інтерфейсу, вимог до обладнання та зручності використання для педагогів і учнів. Для створення *AR*-підручників, зокрема біології, та визначення їхніх переваг і недоліків проведемо порівняльний аналіз спрямований на оцінку основних програмних платформ (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Порівняльний аналіз основних програмних середовищ технології *AR* для створення підручника з біології

<b>Програмне середовище, платформи</b>	<b>Можливості</b>	<b>Придатність для навчання</b>
<i>Unity Vuforia (Windows, macOS)</i>	3D-модельовання, програмування, <i>AR/VR</i> перегляд	Для складних <i>AR</i> -додатків, професійних розробок
<i>CoSpaces Edu (Web, iOS, Android)</i>	3D-модельовання,	Для легкого створення біологічних моделей
<i>Zappar / ZapWorks (Web, iOS, Android)</i>	Створення <i>AR</i> -контенту за допомогою <i>QR</i> -кодів, підтримка інтерактивності	Для простого запуску <i>AR</i> через друковані підручники
<i>8thWall (Web)</i>	<i>WebAR</i> , підтримка без застосунків, відстеження зображень	Для швидкої інтеграції у <i>PDF</i> -підручники

Виходячи з огляду даної порівняльної характеристики програмних середовищ та платформ технології *AR*, можна констатувати що для шкільного рівня *3D*-візуалізації, повноцінного *AR*-додатку доцільно для створення підручнику з біології буде в середовищі *Unity* (рис. 2.2). [24].

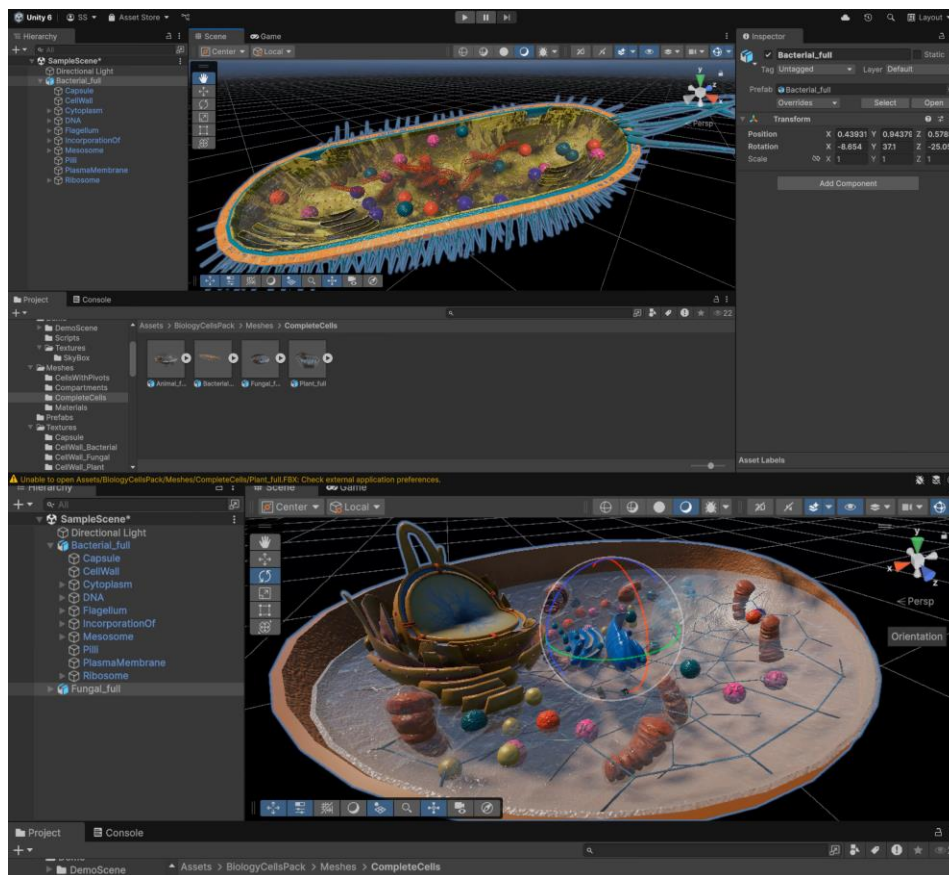


Рис. 2.2. 3D-візуалізація в середовищі *Unity*

Успішна реалізація мобільного застосунку з доповненою реальністю у навчальному контексті неможлива без раціонального вибору програмного забезпечення, яке б поєднувало гнучкість графічного середовища, доступність інструментів *AR*-технологій. У межах роботи, орієнтованої на створення навчального застосунку *BioAR* для 9 класу з метою доповнення шкільного підручника з біології, основою розробки було обрано зв'язку середовищ *Unity* та *Vuforia Engine*. Такий вибір зумовлений низкою технічних, функціональних,

освітніх та практичних чинників, які в сукупності забезпечують ефективне середовище для створення *AR*-додатку шкільного рівня.

*Unity* – це кросплатформне середовище розробки, яке широко застосовується в освітніх, комерційних і наукових проєктах для створення *2D* та *3D*-контенту. Середовище поєднує в собі можливості графічного редактора сцен, фізичного моделювання, програмування поведінки об'єктів, роботи з аудіо- та відеоелементами, а також системи анімацій.

Основні переваги *Unity* у контексті розробки навчального *AR*-додатку:

- редактор сцен із *3D*-інтерфейсом, який дозволяє створювати та візуалізувати просторові навчальні середовища без потреби в глибокому зануренні в код;

- гнучка система імпорту ресурсів. *Unity* підтримує більшість популярних форматів *3D*-моделей (*.fbx*, *.obj*, *.dae*), текстур, шрифтів, аудіофайлів;

- можливість створення анімацій біологічних об'єктів, зокрема динамічних процесів у клітині, на основі шкалювання, обертання, переміщення;

- широка сумісність: *Unity* дозволяє збирати проєкти у формати для *Android* (*.apk*), *iOS* (*.ipa*), *WebGL* тощо;

- підтримка *C#* як основної мови програмування, що забезпечує гнучкість у створенні інтерактивної логіки, зокрема взаємодії з маркером, кнопками, підказками тощо;

- розвинена документація та безкоштовна ліцензія *Unity Personal*, яка дозволяє студентам, викладачам і незалежним розробникам працювати з повноцінним функціоналом середовища.

Окремої уваги заслуговує модульна структура *Unity*, яка дає змогу легко інтегрувати зовнішні бібліотеки та *SDK*, зокрема *Vuforia Engine*.

*Vuforia Engine* – це спеціалізований *AR*-фреймворк, що забезпечує виявлення, розпізнавання та трекінг візуальних маркерів у реальному часі. Саме ця платформа стала базовою технологією для реалізації функціоналу доповненої реальності в проєкті *BioAR*. У поєднанні з *Unity Vuforia* дозволяє створювати *AR*-сцени, в яких віртуальні *3D*-об'єкти «накладаються» на зображення, розміщені в

друкованому підручнику, що відповідає педагогічній моделі «традиційний контент + цифрове розширення».

Функціональні можливості *Vuforia* у проєкті:

– підтримка *Image Targets*. Кожне зображення (фото клітини, мікроструктура, ілюстрація) може бути використане як маркер для прив'язки *AR*-контенту;

– інструмент *Vuforia Target Manager* для створення та оцінювання якості маркерів за кількістю ключових точок;

– хмарне зберігання бази зображень та її зручний експорт у вигляді пакету *.unitypackage*;

– ліцензійна модель з освітньою підтримкою – *Vuforia* надає можливість створювати безкоштовні проєкти із включенням до 100 маркерів, що цілком достатньо для типового шкільного підручника;

– стабільний трекінг та оптимізація під мобільні пристрої середнього рівня потужності, що дозволяє використовувати *BioAR* на більшості смартфонів, які є в учнів або шкіл.

Однією з ключових переваг *Vuforia* є взаємодія з *Unity* – розробник може візуально налаштовувати *AR*-сцену, призначати тривимірні об'єкти до конкретного маркера, створювати події (наведення, натискання, появу елементів) [26].

Застосування *AR*-рішення, реалізованого на базі *Unity* і *Vuforia*, дозволяє забезпечити відповідність основним принципам навчання: наочності, активності, доступності, індивідуалізації. Середовище підтримує реалізацію просторово-часових моделей об'єктів і явищ, формування візуального мислення та розвиток цифрових компетентностей учнів. Водночас, додаток не потребує дорогого обладнання, складного встановлення чи додаткових навчань для вчителя, що робить його практичним у повсякденному навчальному процесі.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі було обґрунтовано концептуальні, методичні та технологічні основи розробки мобільного застосунку *BioAR*, що реалізує функції доповненої реальності у процесі вивчення біології учнями 9 класу. Сформульовано освітню мету *AR*-додатку як підвищення ефективності засвоєння складного навчального матеріалу шляхом інтеграції тривимірного контенту до друкованого підручника. *BioAR* позиціонується як засіб цифрової підтримки уроків біології, здатний доповнити традиційне навчальне середовище елементами візуалізації, інтерактивності та індивідуалізації.

Проаналізовано психолого-педагогічні особливості цільової аудиторії – учнів 9 класу, які характеризуються потребою в наочному, емоційно забарвленому та технологічно адаптованому контенті. Визначено ключові навчально-когнітивні, мотиваційні, технологічні та індивідуальні потреби учнів, а також вторинної аудиторії – учителів біології, зацікавлених у впровадженні сучасних цифрових інструментів у практику викладання.

Здійснено обґрунтований вибір програмного забезпечення, що є оптимальним для реалізації цілей проєкту: *Unity* як середовище розробки та *Vuforia Engine* як фреймворк доповненої реальності. Ці платформи забезпечують повноцінну підтримку маркерної *AR*-моделі, високу якість трекінгу, широкі можливості візуалізації *3D*-об'єктів та стабільну роботу на більшості сучасних мобільних пристроїв. Вибір технологій було здійснено з урахуванням освітніх вимог, технічної доступності, простоти впровадження в навчальний процес та можливостей масштабування проєкту в майбутньому.

Проведений аналіз дозволив сформулювати цілісну методико-технологічну основу для подальшої практичної реалізації мобільного *AR*-застосунку *BioAR*. У наступному розділі буде детально описано процес інтеграції *3D*-моделей у *AR*-сцену, налаштування взаємодії з маркерами, збірки мобільного додатку та перевірки його функціональності у тестовому середовищі.

## РОЗДІЛ 3

### ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОБІЛЬНОГО AR-ДОДАТКУ

#### 3.1. Інтеграція 3D-моделей клітин в AR-сцену

Одним із ключових етапів розробки мобільного AR-застосунку *BioAR* є підготовка та інтеграція 3D-моделей біологічних об'єктів у віртуальне середовище з доповненою реальністю. Цей процес має не лише технічне, але й методичне значення, оскільки саме якість, візуальна точність та дидактична відповідність тривимірного зображення відіграють визначальну роль у сприйманні учнями складного навчального матеріалу, зокрема при вивченні клітинної будови.

Для реалізації цього компонента було обрано комплекс ліцензованих 3D-моделей, придбаних через платформу *Unity Asset Store*.

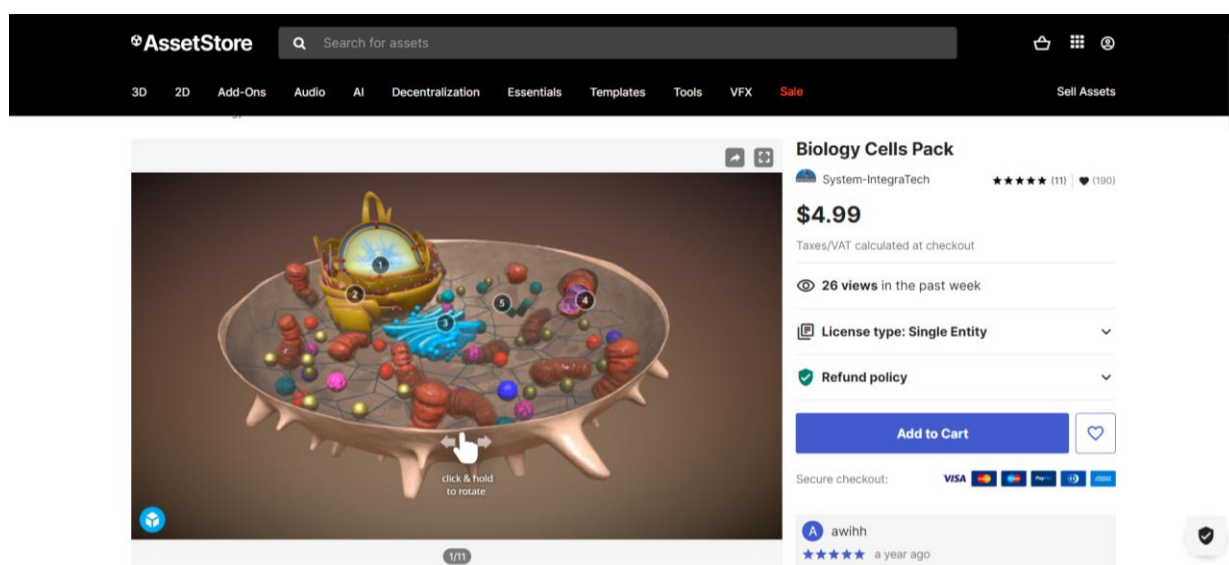


Рис. 3.1. Набір 3D-моделей в *Unity Asset Store* [28]

Моделі клітин (тваринної та рослинної) та їхніх органел мають деталізовану візуалізацію, коректно адаптовану до шкільного навчального

контексту. Усі придбані активи відповідають стандартам якості *Unity* та були попередньо перевірені на предмет сумісності з платформою *Vuforia Engine*. У каталозі *Asset Store* проаналізовано понад 20 пропозицій. Критеріями відбору стали: реалістичність візуалізації клітинної будови, наявність текстур, оптимізація під мобільні пристрої, а також загальна відповідність шкільній тематиці.

Обрані моделі імпортовано безпосередньо в середовище проєкту *Unity* за допомогою стандартного менеджера пакетів. Кожна модель зберігає свою структуру, текстури та матеріали. Оскільки застосунок призначений для мобільного використання, оптимізовано полігональність, зменшення розміру текстур, об'єднання частин моделей в ієрархії об'єктів *Unity*. Це дозволило забезпечити плавну роботу навіть на пристроях середнього рівня продуктивності.

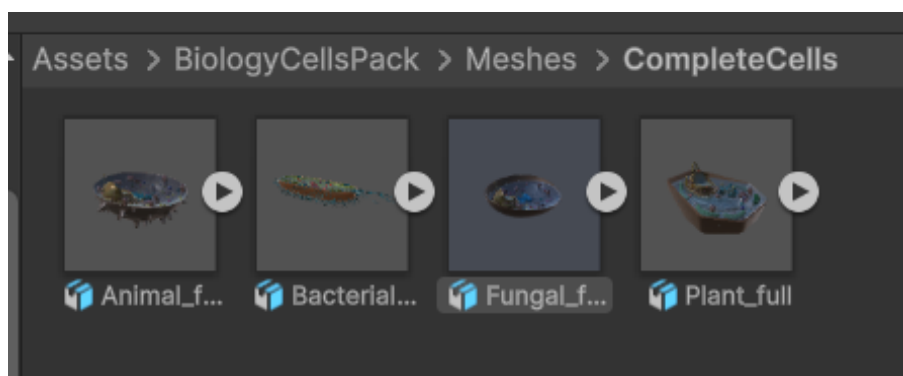


Рис. 3.2.Імпортовані повні моделі в *Unity*

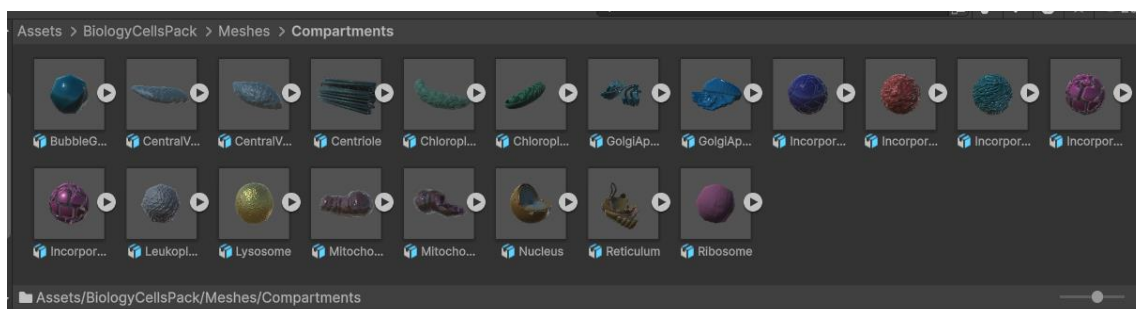


Рис. 3.3.Імпортовані частини моделей в *Unity*

## 3.2. Налаштування роботи маркерів, позиціонування моделей у просторі

На платформі *Vuforia* зареєстровано акаунт та згенеровано ліцензійний ключ, унікальний код якого використано в проєкті.

Please copy the license key below into your app

```
ATN5xfv/////AAABmQ8JZRi7MEhJs0CW0sbjsHQ6ObAWoWLXj1nlwgmhrTXMOYLZdyCY+tQY2wZnKn1ZSbksSiWikrbArfQoWb2earD  
yvmHDvpDfvR84CWjEPqCMVj1hQthpPQ5BlzyVY35eavh8BinRM+1/nBx2gpIMQm1sgbntpboqC4hMe610E41ozijA4mlmczgfIiS6Z+  
2Z2mZF23upW86y1ZkDz8ImezTE0cwbBwXIfhqlwhiXZTXNPFpdeZaJBqGDMgHS7N9n05ckShuiRdbp+++TqYF0hyNYWGoe1MMFKZRTY  
Bf4zE11AyOBgfw7Xsq5ykJgm3fSp6GRcy5z++mxRYu8JATifBmy1/Y++7Z2uyG+489Prvhz
```

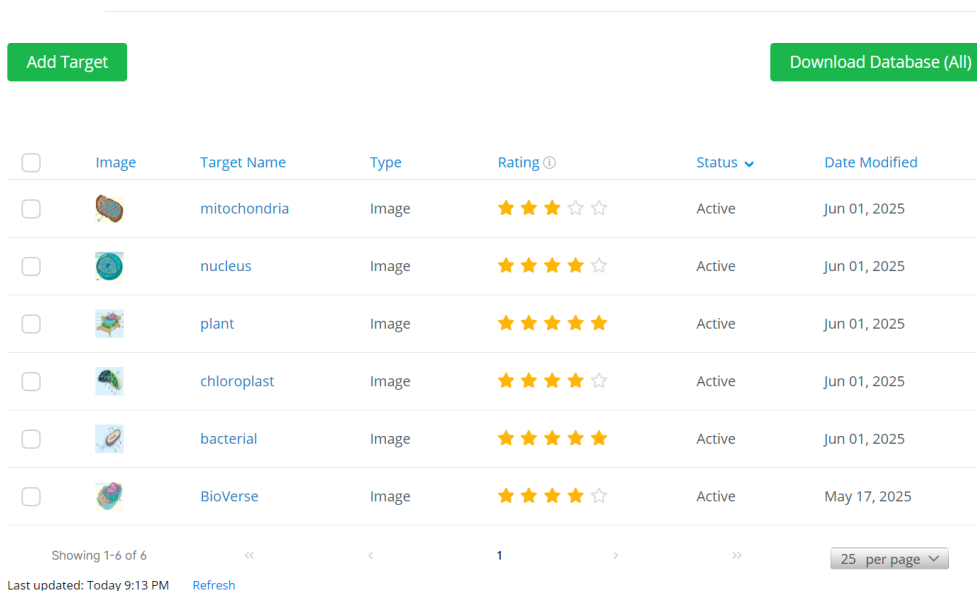
Plan Type: Basic

Status: Active

Created: May 17, 2025 03:40

License UUID: b79c30e059a64e48ae94f2b1f8bbae06

Рис. 3.4. Створення ліцензійного ключа в *Vuforia Engine*



The screenshot shows the Vuforia Target Manager interface. At the top, there are two green buttons: "Add Target" and "Download Database (All)". Below these is a table of targets. The table has columns for "Image" (checkbox), "Image" (icon), "Target Name", "Type", "Rating" (stars), "Status" (dropdown), and "Date Modified". The table contains six rows of targets, all of type "Image". The targets are: "mitochondria" (4 stars), "nucleus" (5 stars), "plant" (5 stars), "chloroplast" (4 stars), "bacterial" (5 stars), and "BioVerse" (4 stars). At the bottom, there is a pagination bar showing "Showing 1-6 of 6" and "25 per page".







<input type="checkbox"/>	Image	Target Name	Type	Rating	Status	Date Modified
<input type="checkbox"/>		mitochondria	Image	★★★★☆	Active	Jun 01, 2025
<input type="checkbox"/>		nucleus	Image	★★★★★	Active	Jun 01, 2025
<input type="checkbox"/>		plant	Image	★★★★★	Active	Jun 01, 2025
<input type="checkbox"/>		chloroplast	Image	★★★★★	Active	Jun 01, 2025
<input type="checkbox"/>		bacterial	Image	★★★★★	Active	Jun 01, 2025
<input type="checkbox"/>		BioVerse	Image	★★★★★	Active	May 17, 2025

Рис. 3.5. Завантажені маркери на платформі *Vuforia*

При створенні бази маркерів у *Vuforia Target Manager* завантажено зображення з підручника, які мають виконувати функцію маркера (*Image Target*).

В основі технології — розпізнавання набору контрольних точок, сформованих на завантаженому зображенні під час генерації маркеру.

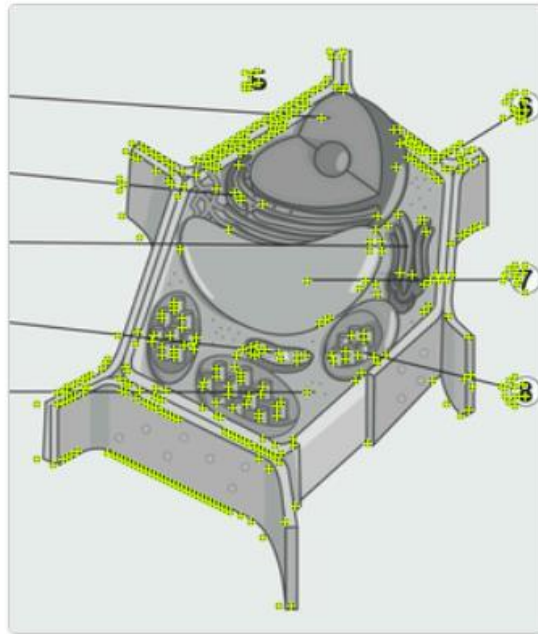


Рис. 3.6. Вигляд згенерованого маркеру

Файл з базою маркерів завантажується та імпортується в проєкт *Unity*.

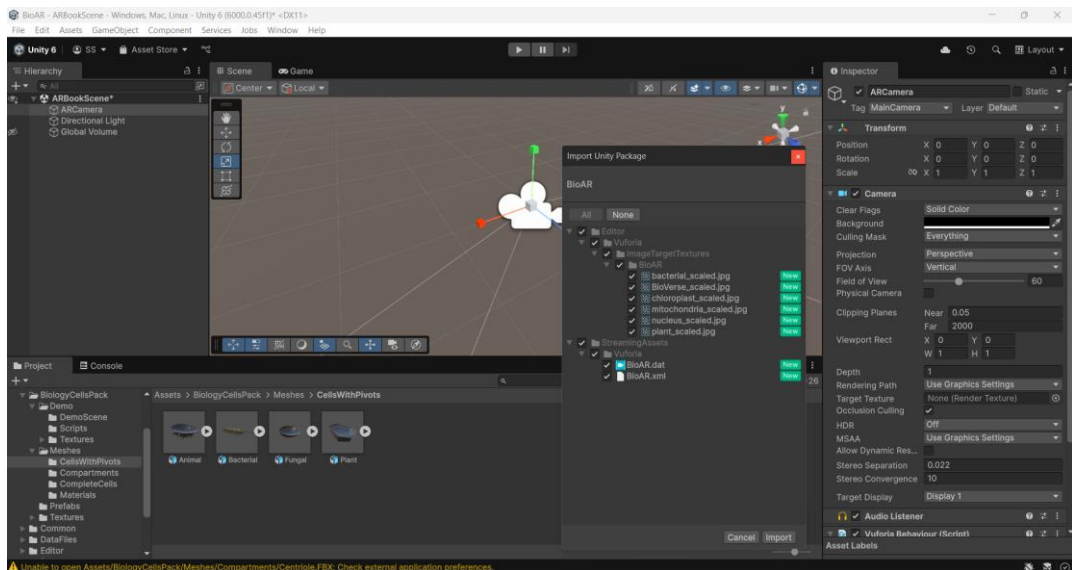


Рис. 3.7. Імпорт *AR*-маркерів

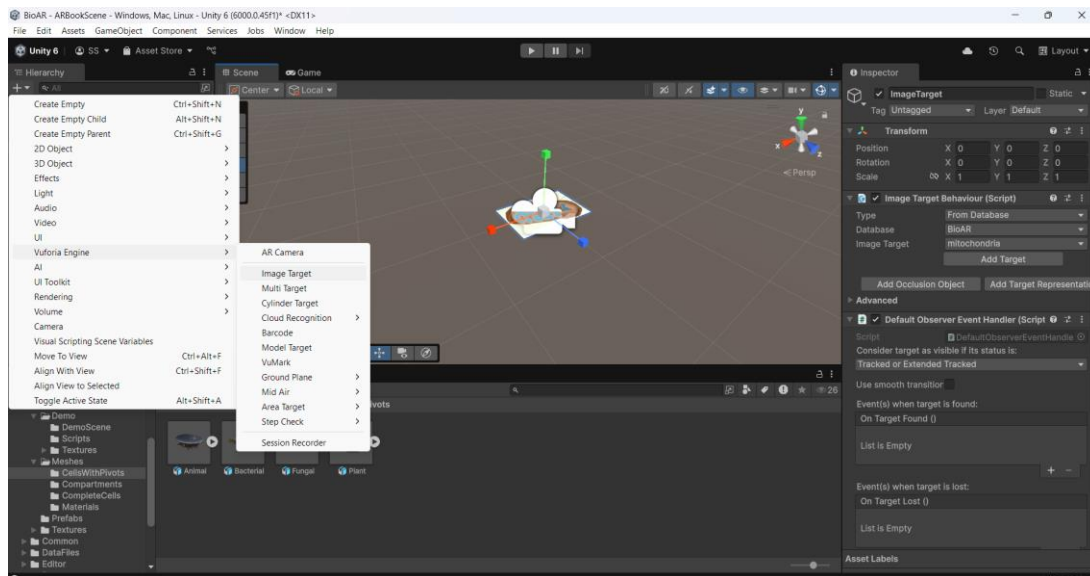


Рис. 3.8. Додавання маркеру до AR-сцени

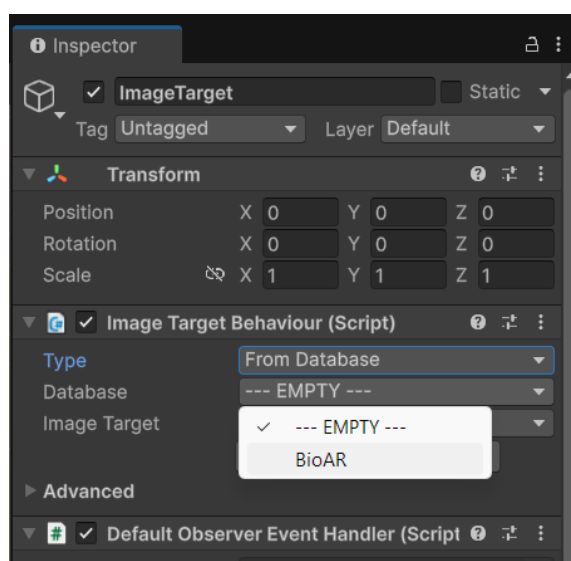


Рис. 3.9. Налаштування AR-маркеру

У *Unity* маркери імпортовані у вигляді об'єктів типу *ImageTarget*. Кожному з них призначено унікальне зображення та масштаб, відповідний реальному розміру друкованої ілюстрації. Просторове позиціонування моделей забезпечено через точку прив'язки до центру маркера. Додатково налаштовані параметри стабілізації та згладжування руху моделі при зміні кута огляду камери.

Для полегшення сприйняття, моделі позиціоновані таким чином, щоб одразу з'являлися у зручному для огляду масштабі, без потреби у додатковому маніпулюванні. Такий підхід дозволяє уникнути перевантаження уваги користувача й забезпечує фокус на основному навчальному об'єкті.

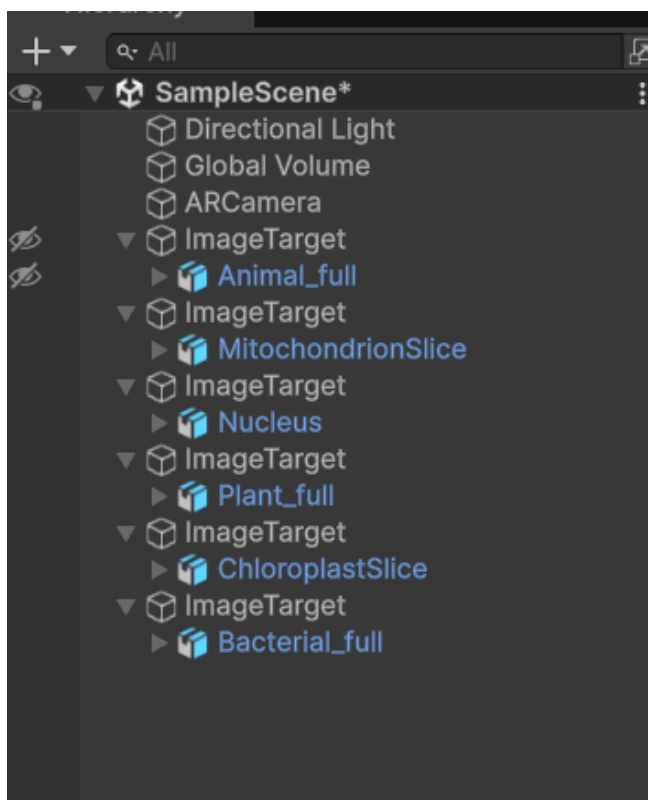


Рис. 3.10. Загальна структура *AR*-проєкту

### 3.3. Побудова *AR*-сцени та тестування взаємодії камери з маркером

*AR*-сцена в *Unity* створювалася з урахуванням вимог до мінімального навантаження на мобільний пристрій та підтримки цілісного освітнього досвіду. У сцену додано камеру типу *ARCamera*, налаштовану на розпізнавання бази маркерів з *Vuforia*. На кожен маркер накладено відповідну *3D*-модель, яка активується лише після розпізнавання зображення у полі зору камери.

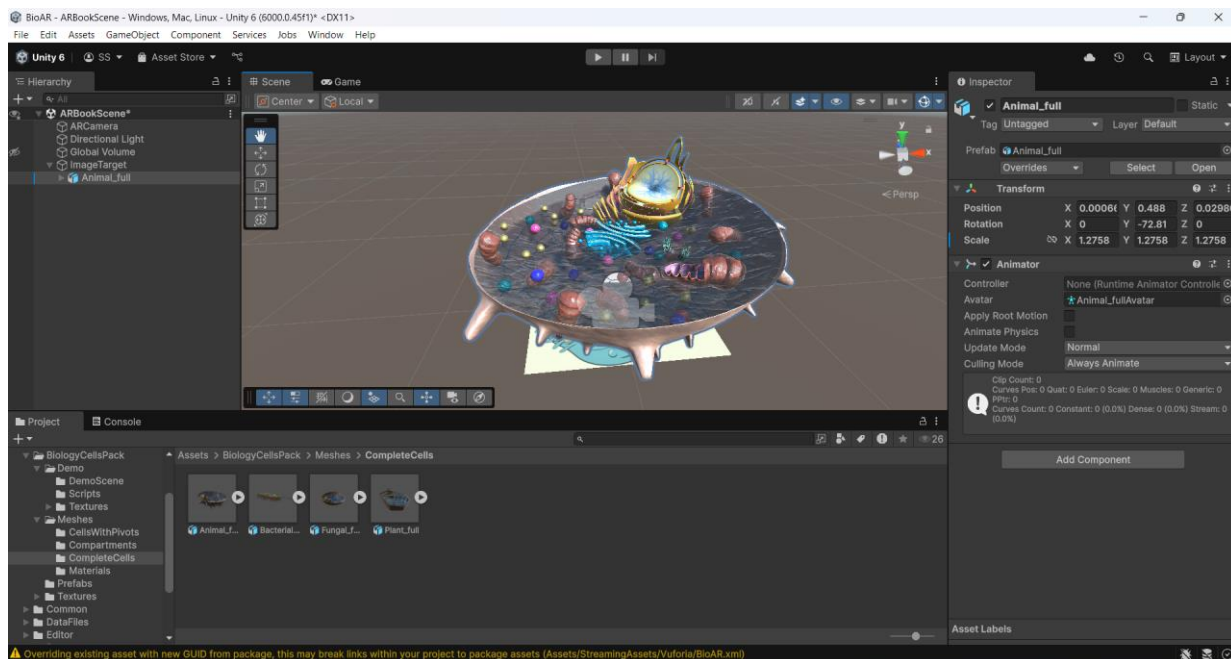


Рис. 3.11. Прив'язка 3D-моделі до маркеру

У тестовому режимі здійснено перевірку коректності виведення моделей: перевірено стабільність трекінгу, правильність розташування моделей у просторі, відсутність конфліктів між об'єктами сцени.

Тестування у вікні *Play* в середовищі *Unity* є ключовим етапом у розробці застосунків з доповненою реальністю (*AR*), оскільки дозволяє перевірити логіку сцени, взаємодію об'єктів, сценарії користувача та візуальну відповідність ще до розгортання проєкту на реальному пристрої. *AR*-технології вимагають точного позиціонування та адаптивності до реального оточення, тому тестування в *Unity* допомагає виявити критичні помилки ще на ранніх етапах.

Режим *Play* дозволяє симулювати поведінку інтерфейсу користувача (*UI*), переходів між сценами та реакцій на віртуальні тригери. Наприклад, можна протестувати, як зреагує 3D-модель на взаємодію користувача або як відобразатиметься інформаційна панель при наведенні на об'єкт. Це значно пришвидшує цикл ітерацій і дозволяє редагувати код та компоненти без постійного завантаження на мобільний пристрій.

Ще одна важлива причина – оптимізація ресурсів. *Unity* надає можливість оцінити продуктивність сцени (споживання оперативної пам'яті, *FPS*, завантаження процесора) вже в режимі *Play*. Це дає змогу вчасно внести зміни, наприклад, зменшити полігональність моделей або оптимізувати освітлення, перш ніж програма буде використана у складних реальних умовах доповненої реальності.

Результати тестування підтвердили стабільну роботу системи за умов природного освітлення, використання друківаних або цифрових зображень-маркерів. Моделі з'являються без затримки, зберігають чіткість і масштаб незалежно від кута огляду. Це забезпечує зручність використання *BioAR* як у класі, так і в умовах самостійної роботи учня вдома.

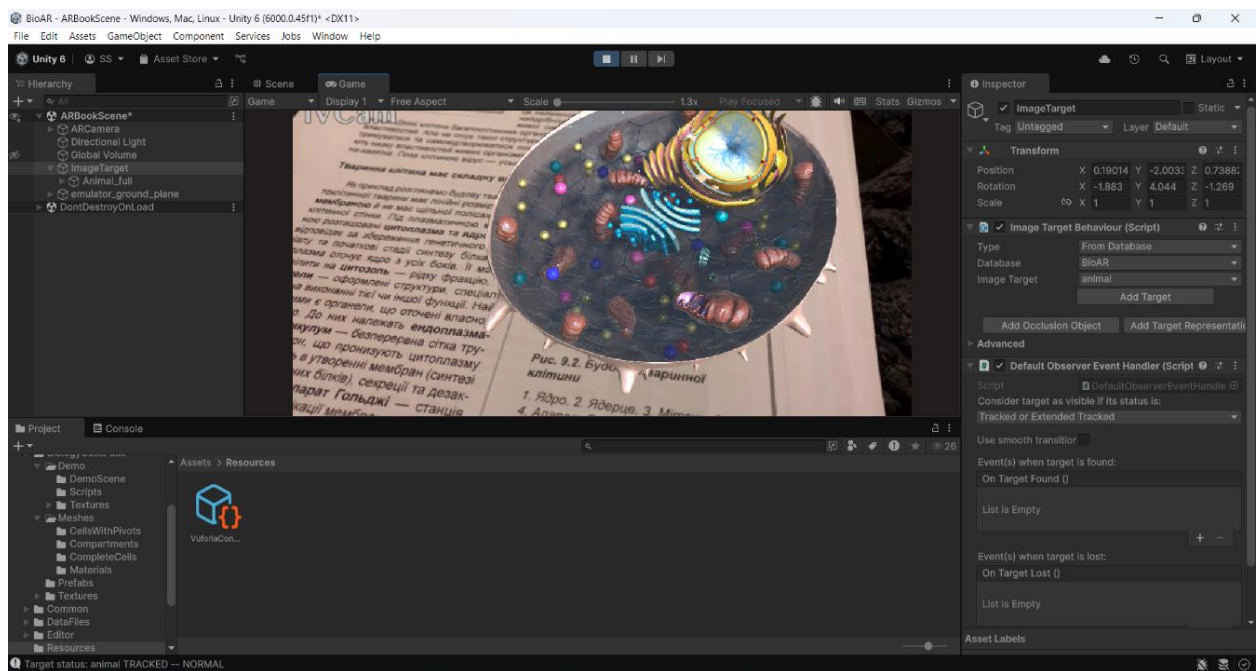


Рис. 3.12. Режим тестування *AR*-сцени

У контексті реалізації *AR*-сцени надзвичайно важливим технічним аспектом є коректне налаштування освітлення, яке безпосередньо впливає на сприйняття *3D*-моделі у доповненому середовищі. На відміну від традиційних тривимірних візуалізацій, у випадку доповненої реальності віртуальний об'єкт

розміщується в реальному середовищі, яке має своє фізичне освітлення, тіні та колірну температуру. Відповідно, для досягнення візуальної правдоподібності необхідно синхронізувати параметри освітлення сцени в *Unity* із умовами зовнішнього (реального) освітлення. У середовищі розробки використовуються джерела світла типу *Directional Light*, які імітують денне освітлення, а також додаткові налаштування глобального освітлення (*Global Illumination*), відбиття, тіней та яскравості. Неправильно налаштоване світло може призвести до спотворення кольорів моделі, втрати глибини або відчуття «висячого» об'єкта.



Рис. 3.13. Налаштування світла

Інтеграція 3D-моделей клітин у середовище *AR* стала не лише технічною частиною проєкту, але й виконала важливу функцію: забезпечила наочність, візуальне узагальнення знань, можливість дослідження структури клітини у тривимірному форматі, що є недоступним у межах традиційного друкованого підручника. У поєднанні з *AR*-механікою та мобільною доступністю, така подача матеріалу формує в учнів більш глибоке розуміння вивченого та підвищує пізнавальну активність.

### 3.4 Підготовка середовища для мобільного розгортання: формування IPA та APK

Завершальним етапом реалізації мобільного AR-застосунку *BioAR* стало формування інсталяційних файлів для мобільних операційних систем – *Android* та *iOS*. Враховуючи, що проєкт орієнтований на шкільне використання, зокрема на учнів і вчителів із власними мобільними пристроями, важливо забезпечити сумісність додатку з двома основними мобільними платформами: *APK (Android Package)* – для пристроїв на *Android*, та *IPA (iOS App Store Package)* – для пристроїв *Apple*.

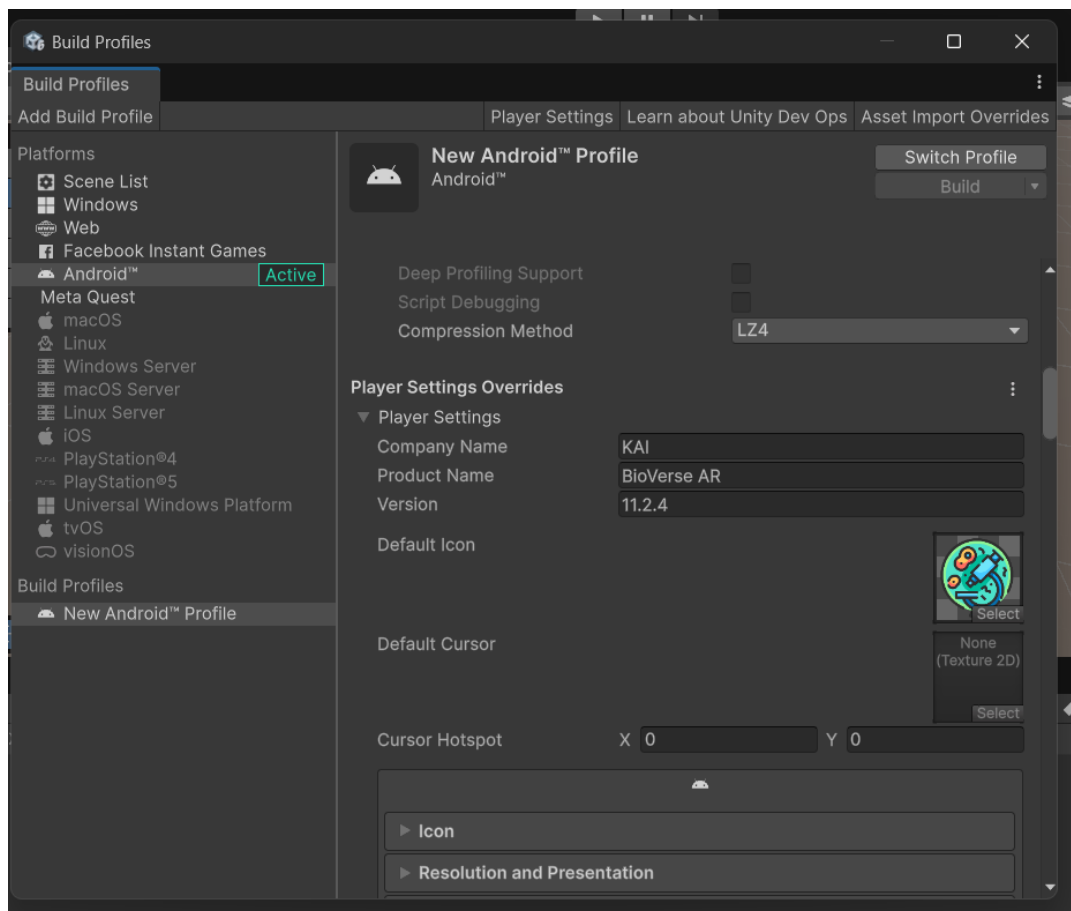


Рис. 3.14. Налаштування інсталяційного файлу для *Android*

Розгортання застосунку для *Android* розпочалося з активації модуля *Android Build Support* у середовищі *Unity*. Встановлено необхідні компоненти – *Android SDK*, *NDK*, *OpenJDK* – та налаштовано платформу збірки через розділ *Build Settings*. У вікні налаштування проєкту було зазначено ім'я пакету (*Package Name*), номер версії, розмір цільового *API* (min. *Android 10*), орієнтацію екрана (*Landscape*), а також базову іконку застосунку *BioAR*, яка відображається в меню мобільного пристрою. Після виконання оптимізації сцен, ресурсів та збереження конфігурації було згенеровано файл *BioAR.apk*.

Підготовка *IPA*-файлу є більш технічно складним процесом, що передбачає використання операційної системи *macOS*, встановлення *Xcode* та підключення *Unity* до *Apple Developer Account*. У межах даного проєкту було реалізовано експорт *Unity*-проєкту у форматі *Xcode Project* (\*.xcodeproj). Надалі здійснено налаштування сертифікатів підпису, профілю *provisioning*, активацію можливостей камери та збору сцени у форматі *BioAR.ipa*.

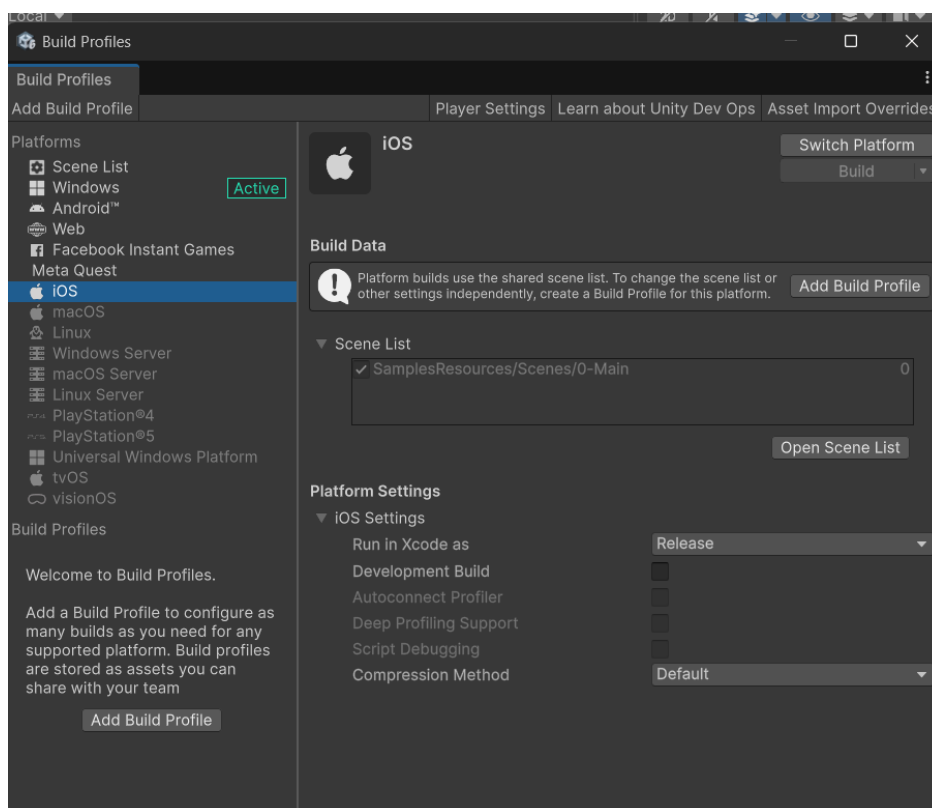


Рис. 3.15. Налаштування інсталяційного файлу для *IOS*

Завдяки використанню *Unity* як кросплатформного середовища розробки вдалося реалізувати одночасну підтримку обох мобільних платформ без необхідності створювати окремі проєкти для *Android* та *iOS*. Сформовані файли *.apk* та *.ipa* є повнофункціональними, не залежать від зовнішнього сервера або хмарної платформи, мають невеликий обсяг (до 150 МБ), що дозволяє легко поширювати їх через локальні або хмарні канали.

### **Висновки до розділу 3**

У межах третього розділу кваліфікаційної роботи було реалізовано повноцінний цикл практичного втілення мобільного навчального застосунку з доповненою реальністю *BioAR*, який орієнтований на учнів 9 класу та призначений для інтеграції з друкованим підручником з біології. Проєкт спрямований на збагачення традиційного навчального контенту за допомогою сучасних технологій тривимірної візуалізації й *AR*-механіки, що дозволяє значно розширити дидактичні можливості шкільної освіти.

Першим етапом реалізації проєкту стало імпортування та адаптація *3D*-моделей клітинних структур, попередньо придбаних у ліцензованому каталозі *Unity Asset Store*. Обрані моделі було оптимізовано з урахуванням обмежених ресурсів мобільних пристроїв: зменшено кількість полігонів, адаптовано текстури, застосовано логічну ієрархію об'єктів сцени. Важливим досягненням на цьому етапі стало забезпечення високої якості візуалізації клітинної будови та органел, що відповідає навчальним цілям і полегшує розуміння абстрактного матеріалу.

Наступним етапом стала побудова системи зв'язку між *3D*-об'єктами й реальними зображеннями зі сторінок підручника. Створено власну базу *Image Targets* у *Vuforia Target Manager*, до якої увійшли ілюстрації клітин з навчального видання. Для кожного зображення визначено ключові точки розпізнавання, що гарантує стабільність трекінгу та точність виявлення маркера камерою мобільного пристрою. Моделі було розташовано у просторі відносно

центра маркера, із дотриманням масштабу, орієнтації та напрямку огляду, що забезпечує комфорт сприйняття *AR*-контенту.

Третім етапом стала робота з інструментами *Vuforia Engine*: здійснено реєстрацію розробника, отримано індивідуальний ліцензійний ключ, налаштовано його інтеграцію в *Unity*-проект, імпортовано базу маркерів. Створена *AR*-сцена протестована на коректність взаємодії між усіма компонентами, точність відображення, відповідність розміщення моделей та стабільність зображення за різних кутів огляду. Окрему увагу приділено налаштуванню освітлення сцени, оскільки його якість визначає візуальну достовірність віртуального об'єкта. Застосовано моделі освітлення, що дозволяють синхронізувати віртуальну модель із реальним простором, зменшуючи візуальний бар'єр між цифровим і фізичним середовищем.

Завершальним етапом стала підготовка застосунку до мобільного використання. Проект було зібрано у форматі *.apk* для *Android* та *.ipa* для *iOS*. Обидві збірки були протестовані на реальних мобільних пристроях із різними характеристиками. Тестування підтвердило стабільність роботи застосунку, точність прив'язки моделей, відсутність помилок при роботі офлайн, що є критично важливим для шкільного використання в умовах обмеженого або відсутнього доступу до Інтернету. У результаті створено продукт, який може функціонувати як локально (через пряме встановлення), так і за умови розгортання через офіційні магазини застосунків.

Таким чином, реалізація третього розділу забезпечила перехід від концептуальної моделі до повнофункціонального цифрового ресурсу, придатного для використання у навчальному процесі. Розроблений *AR*-застосунок *BioAR* не лише успішно поєднує друкований та цифровий контент, а й відповідає сучасним педагогічним вимогам, є технічно стабільним, доступним, адаптивним і придатним до подальшого масштабування в освітньому середовищі.

## ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було досягнуто поставлену мету – створено електронне навчальне видання з доповненою реальністю для підручника з біології для 9 класу. Додаток реалізує принципи візуального, інтерактивного й доступного навчання, орієнтований на актуальні потреби учнів старших класів та спрямований на підвищення ефективності засвоєння складного навчального матеріалу з теми «Будова клітини».

Робота виконувалася у три логічно взаємопов'язані етапи, кожен з яких відображено у відповідному розділі пояснювальної записки.

У першому розділі було проведено теоретичне обґрунтування застосування доповненої реальності у шкільній освіті. Визначено поняття *AR*-технологій, описано їхні функціональні можливості та дидактичну цінність. Розглянуто сучасні тенденції цифрової трансформації освіти в Україні, зокрема в контексті реалізації концепції Нової української школи та розвитку цифрових компетентностей учнів. Проаналізовано міжнародний досвід використання *AR* у навчальних виданнях природничого циклу, що засвідчив ефективність таких рішень у мотивації та пізнавальній активності школярів. Окрему увагу приділено психолого-педагогічним особливостям сприймання *AR*-контенту підлітками.

У другому розділі окреслено концепцію *AR*-застосунок *BioAR*, сформульовано його цілі, функції та педагогічну роль. Проаналізовано специфіку цільової аудиторії учнів 9 класу – з урахуванням їхніх когнітивних, мотиваційних та технологічних потреб. Обґрунтовано вибір програмного забезпечення: середовище *Unity* та платформа *Vuforia Engine*, що забезпечують гнучку підтримку маркерної *AR*, високий рівень візуалізації, автономність та кросплатформність. У результаті сформовано техніко-методичну основу для практичного втілення проєкту.

У третьому розділі безпосередньо реалізовано мобільний застосунок: здійснено інтеграцію ліцензованих *3D*-моделей клітин у *AR*-сцену, налаштовано

систему маркерів на основі зображень із підручника, оптимізовано сцени під мобільні пристрої, налаштовано взаємодію між віртуальним об'єктом і реальною камерою. У результаті тестування підтверджено стабільну роботу застосунку, точність розпізнавання маркерів, зручність масштабування й обертання моделей. Сформовано інсталяційні файли *.apk* та *.ipa*, що дозволяють використовувати *BioAR* на пристроях з операційними системами *Android* та *iOS*, як в класному середовищі, так і в умовах самостійного навчання.

Результатом кваліфікаційної роботи стало навчальне видання з доповненою реальністю для підручника з біології 9 класу. Результати проєкту можуть бути використані як основа для впровадження *AR*-технологій у навчальні видання інших предметних циклів, що відкриває перспективи подальшого розвитку медіаосвіти в умовах цифрової трансформації шкільної освіти.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Advin. Доповнена реальність як інструмент 3D-маркетингу. Cases. URL: <https://salo.li/4FeF86e> (дата звернення: 02.06.2025).
2. Azuma Ronald T. "Augmented reality: Approaches and technical challenges". Fundamentals of wearable computers and augmented reality. CRC Press, 2020. P.43-80. URL: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780585383590-7/augmented-reality-approaches-technical-challenges-ronald-azuma>
3. Baggs Edward, Paweł Grabarczyk, Zuzanna Rucińska. "The visual information available in virtual reality". Ecological Psychology. 2024. P.24-38. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10407413.2024.2322992>
4. Ivan K., Alexander N. "Future of the Electrical Engineering Education on the AR and VR Basis". International conference on Video, Signal and image processing, 2019. P.113-117. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3369318.3369337>
5. Iqbal Zahid, Eleni Mangina, G. Campbell. "Current challenges and future research directions in augmented reality for education". Multimodal Technologies and Interaction. 2022. 75 p. URL: <https://www.mdpi.com/2414-4088/6/9/75>
6. Linowes, J., Babilinski K. "Augmented reality for developers: Build practical augmented reality applications with unity, ARCore, ARKit, and Vuforia". Packt Publishing Ltd, 2017, P.40-150. URL: <https://surl.li/wkjqfb>
7. Денисенко С.М. Вітчизняний та закордонний досвід використання імерсивних технологій у друкованих періодичних виданнях / Сучасні міжнародні відносини: актуальні проблеми теорії і практики: матеріали міжнародної науково-практичної конференції / Факультет міжнародних відносин НАУ; за загальною редакцією Ю.О. Волошина – Київ: НАУ, 2024. – 654 с. С. 548
8. Волинець Вікторія Олексіївна "Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність понять та специфіка відповідних комп'ютерних систем". Питання культурології. 2021. С. 231-243. URL: <http://issues-culture-knukim.pp.ua/article/download/237322/236031>

9. Паршукова Леся Миколаївна, Сергій Васильович Паршуков "Доповнена реальність як спосіб урізноманітнення освітнього процесу". *Věda a perspektivy* №1(20) 2023. С.74-83. URL: <https://salo.li/dE1A133>
10. Матвійчук-Юдіна О. Світові тенденції розвитку освітніх систем / Пеліова Я., Несторенко Т., Самойленко О. *Наукові записки БДПУ*. 2022 Вип.3 С.60-69 URL: <https://dspace.bdpu.org.ua/items/2de25d75-c9fb-4577-ba52-873406236ca3>
11. Концепція цифрової трансформації освіти і науки. [mon.gov.ua](http://mon.gov.ua). URL: <https://mon.gov.ua/news/kontseptsiya-tsifrovoi-transformatsii-osviti-i-nauki-mon-zapros hue-do-gromadskogo-obgovorenn ya> (дата звернення: 01.06.2025).
12. Al Ansi, Abdullah M. "Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education". *Social Sciences & Humanities Open* 8.1. 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590291123001377>
13. Hands-on Augmented Reality for Education. Merge. URL: <https://mergeedu.com/?cr=3533> (дата звернення: 02.06.2025).
14. Aschehoug App. Aschehoug.no URL: <https://skole.aschehoug.no/artikler/ar-i-laerebokene> (дата звернення: 02.06.2025).
15. AR Products Virtual Reality VR Education Software & Augmented Reality Learning – VictoryXR. URL: <https://www.victoryxr.com/ar-products/> (дата звернення: 02.06.2025).
16. Follow Your Curiosity. Curiscope. URL: <https://www.curiscope.com/> (дата звернення: 02.06.2025).
17. Solar System AR. Blend4Web. URL: <https://www.blend4web.com/en/demo/solar-system-augmented-reality/> (дата звернення: 02.06.2025).
18. Physics Lab AR. PennState. URL: <https://imex.psu.edu/project/physics-lab-ar/> (дата звернення: 01.06.2025).
19. How can AR technology enhance children to learn new things with MEL Kids sets? MEL Science. URL: <https://melscience.com/US-en/articles/how-can-ar-technology-enhance-children-learn-new-t/> (дата звернення: 08.04.2025).

20. Yildirim Fatih Serdar "The effect of the augmented reality applications in science class on students' cognitive and affective learning". Journal of Education in Science Environment and Health, 2020, P. 259-267. URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1145803>

21. Faria António, Miranda Guilhermina "Effects of using augmented reality on students' learning". Trends in Computer Science and Information Technology. 2023. 58 p. URL: <https://www.engineegroup.com/tcsit/article/view/TCSIT-8-161/1846>

22. Біологія Шаламов книжка для 9 класу. Шкільні підручники онлайн. URL: <https://pidruchnyk.com.ua/1044-biologiya-shalamov-9-klas.html> (дата звернення: 02.06.2025).

23. Wyss Corinne "The impact of student characteristics for working with AR technologies in higher education – Findings from an exploratory study with Microsoft HoloLens". Information 13.3. 2022. 112 p. URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/13/3/112>

24. Матвійчук-Юдіна О.В., Сіренко С.О. Інтеграція доповненої реальності в підручники з біології як засіб розвитку просторового мислення учнів. V Міжнародна науково-практична конференція «Імерсивні технології в освіті», 29 квітня 2025 р.

25. Сіренко С. О. Світовий досвід використання доповненої реальності у сучасних підручниках. Тези доповідей XXV Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки», Київ, 1-4 квітня 2025 р.

26. Arena Fabio "An overview of augmented reality". Computers 11.2. 2022. 28 p. URL: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/2/28/pdf>

27. Гончарова Наталія Олександрівна. Візуалізація навчальної інформації через використання технології доповненої реальності. Технології візуалізації інформації. 2019. С. 226-228. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/716246/>

28. Biology Cells Pack 3D. Unity Asset Store. URL: <https://salo.li/b8b3483> (дата звернення: 02.06.2025).

29. 3D-візуалізація – Посібник – Adobe Substance 3D. Adobe: Creative, marketing and document management solutions. URL: <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/3d-visualizations.html> (дата звернення: 02.06.2025).

30. Доповнена реальність (AR) – що це таке, визначення, суть, види та приклади застосування на практиці. Termin.in.ua. URL: <https://termin.in.ua/dopovnena-realnist-ar/> (дата звернення: 02.06.2025).

31. STEM-освіта. Інститут модернізації змісту освіти. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/> (дата звернення: 02.06.2025).

# ДОДАТКИ

Додаток А

## Результати реалізації навчального видання з доповненою реальністю

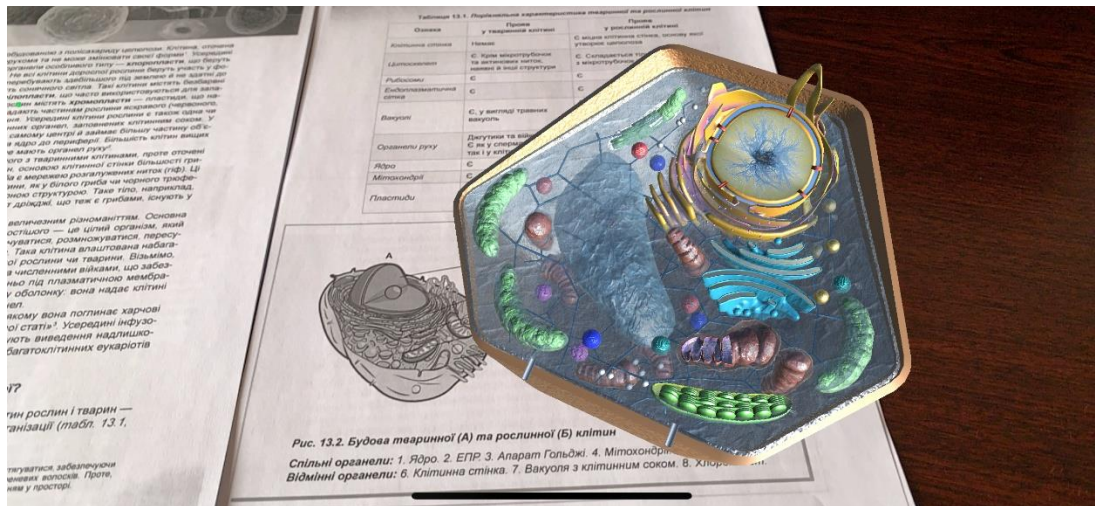


Рис. А.1. Вигляд AR-сцени у додатку

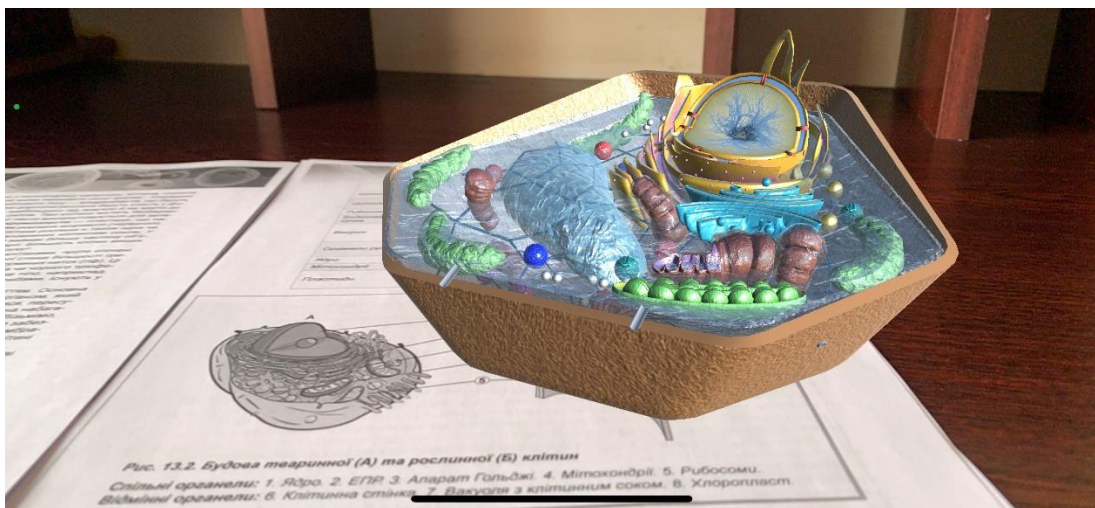


Рис. А.2. Вигляд AR-сцени у додатку при наближенні



Рис. А.3. Вигляд AR-сцени у додатку

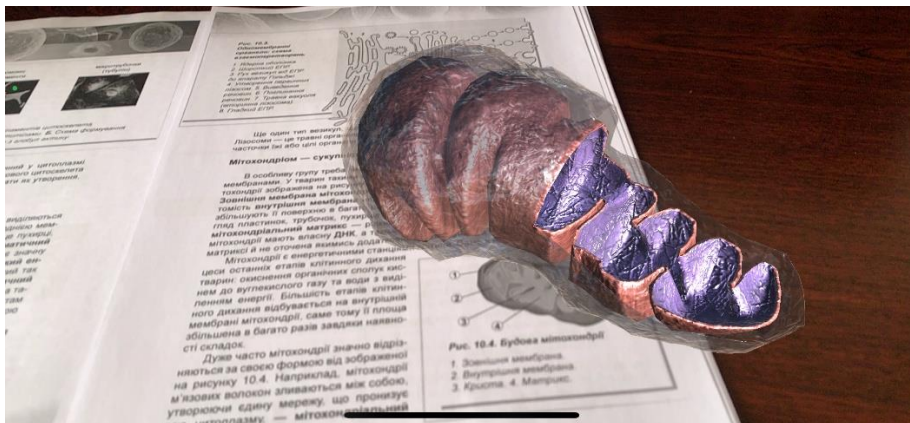


Рис. А.4. Вигляд AR-сцени у додатку

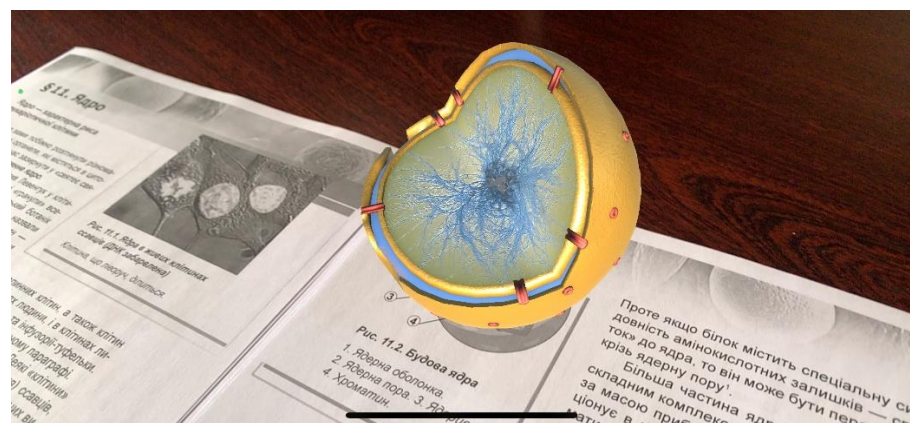


Рис. А.5. Вигляд AR-сцени у додатку

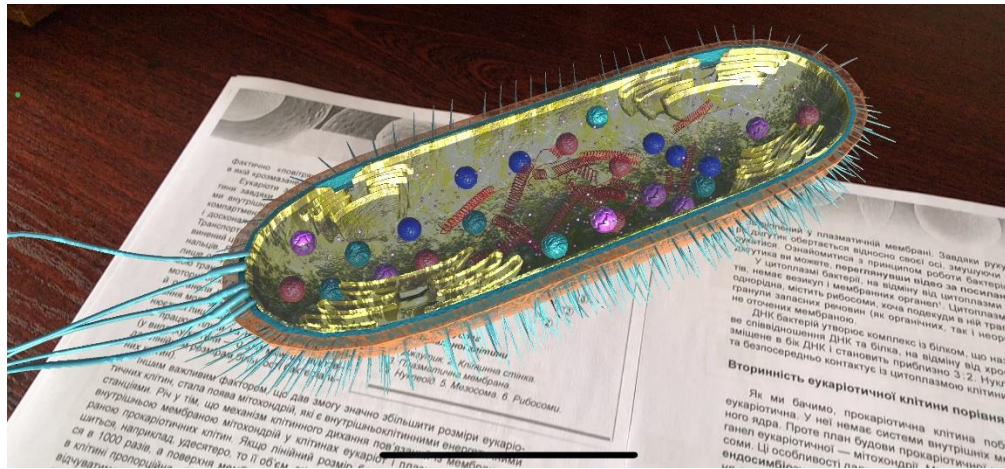


Рис. А.6. Вигляд AR-сцени у додатку



Рис. А.7. Вигляд AR-сцени у додатку