

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему «РОЗРОБКА МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ
ПРИСТРОЇВ ТА ЇХ ІНТЕГРАЦІЯ В ОТОЧУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ
ЗА ДОПОМОГОЮ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ»

«DEVELOPMENT OF METHODS FOR CREATING 3D MODELS
OF DEVICES AND THEIR INTEGRATION INTO THE ENVIRONMENT
USING AUGMENTED REALITY»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТ-519м
Спеціальності 172 Радіотехніка та
телекомунікації

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки

Костяной П.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фурманова Н.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Воскобойник В.О.

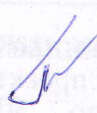
(прізвище та ініціали)

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки,
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра інформаційних технологій електронних засобів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Інтелектуальні технології мікросистемної
радіоелектронної техніки
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Завідувач кафедри Шило Г.М.,
 д-р. техн. наук, доцент
 « » 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Костяного Павла Андрійовича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка методики створення 3d-моделей пристроїв та їх
інтеграція в оточуюче середовище за допомогою доповненої реальності

керівник проєкту (роботи) Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» листопада 2020 року №325

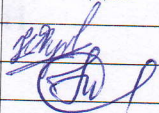
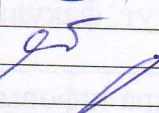
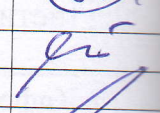
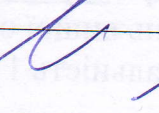
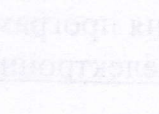
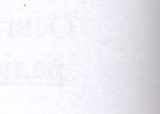
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 16 грудня 2020
року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) роботизована платформа «Скорпіон»,
мобільна платформа Android, технологія доповненої реальності, система
створення 3D-моделей, система створення
текстур.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 розробити) 1 Застосування доповненої реальності; 2 Вибір платформи та
інструментів для створення додатку ДР; 3 Методика створення додатку ДР та
практична реалізація; 4. Економічне обґрунтування дипломної роботи 5. Охорона
праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
9 рисунків; 7 таблиць; презентація
роботи

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

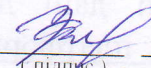
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-3 Основна частина	Фурманова Н.І., доцент		
4 Економіко-організаційна частина	Левченко Н.М., професор		
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Якімцов Ю.В., доцент		
Нормоконтролер	Поспеева І.Є., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання “01” вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

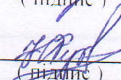
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Визначення тематики роботи	1 тиждень	
2	Аналіз особливостей сучасних додатків ДР	2 тиждень	
3	Постановка задачі дослідження	3 тиждень	
4	Аналіз ігрових рушіїв	4 тиждень	
5	Аналіз засобів для створення 3Д-моделей та додатків ДР	5 тиждень	
6	Створення 3Д-моделі об'єкта	6-7 тижні	
7	Розробка додатка ДР	8-9 тижні	
8	Розробка методичних рекомендацій для створення додатків ДР	10 тиждень	
9	Виконання економіко-організаційної частини	11 тиждень	
10	Розробка заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	12 тиждень	
11	Оформлення пояснювальної записки	13 тиждень	
12	Оформлення супровідної документації	14 тиждень	
13	Нормоконтроль та рецензування	15 тиждень	
14	Захист роботи	16 тиждень	

Студент(ка)


(підпис)

Костяной П.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Фурманова Н.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 105с., 9 рис., 7 табл., 74 джерела, 2 додатка.

Об'єктом дослідження в даному дипломному проєкті є методологія створення додатків доповненої реальності з можливістю реалістично відображати віртуальні об'єкти та взаємодіяти з ними.

Мета роботи – методика побудова тривимірної моделі із застосуванням фізично коректних матеріалів та створення додатку доповненої реальності для відображення та взаємодії з моделлю у просторі, на який буде реагувати модель (освітлення, напрям тіней та відбиття).

Основними задачами дипломного проєктування є аналіз існуючих платформ та інструментів для створення додатку ДР, огляд методів проєктування тривимірних моделей та фізично коректних матеріалів, що дають можливість підвищити рівень реалістичності віртуальної моделі, впровадженної у реальне середовище за допомогою додатку доповненої реальності, а також надання можливості взаємодіяти з цією моделлю.

Актуальність проведення дослідження обумовлена широким розповсюдженням додатків доповненої реальності в різних галузях в тому числі на промислових підприємствах з метою надання замовникам або потенційним клієнтам можливості перегляду розроблюваного або створеного об'єкту в натуральну величину у тому просторі, де вони знаходяться, що може підвищити їх рівень зацікавленості.

3D-МОДЕЛЬ, МОДЕЛЮВАННЯ, ІГРОВИЙ РУШІЙ, ТЕКСТУРА, ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ, ДОДАТОК, ПОЛІГОН, КАРТА НОРМАЛЕЙ, ІНТЕРАКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ.....	9
1 Застосування доповненої реальності	10
1.1 Доповнена реальність та області її застосування	10
1.2 Стан досліджень доповненої реальності	15
1.3 Напрямки покращення додатків ДР	17
1.3.1 Інженерно-технічні рішення	17
1.3.2 Оптимізація робочого процесу та управління даними	20
1.3.3 Новітні технічні можливості.....	23
1.4 Проблема реалістичності доповненої реальності	25
1.5 Постановка задачі дослідження магістерської роботи.....	27
2 Вибір платформи та інструментів для створення додатку ДР	30
2.1 Аналіз інструментів для 3D-моделювання та текстурування	30
2.2 Огляд ігрових рушіїв	32
2.2.1 Unity3D.....	33
2.2.2 Unreal Engine	34
2.3 Огляд засобів для створення додатків ДР	36
2.3.1 Vuforia	36
2.3.2 ARKit	37
2.3.3 ARCore	39
2.3.4 AR Foundation.....	41

	6
3.1 Реалізація проєкту	44
3.2 Алгоритм побудови 3D-моделі та створення додатку ДР	48
3.3 Практичне застосування запропонованого алгоритму для створення додатку ДР	55
3.4 Висновки та рекомендації щодо розробки додатків ДР	63
4 Економічне обґрунтування дипломного проєкту	65
4.1 Визначення трудомісткості та тривалості	65
4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати	68
4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати	68
4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок	69
4.2.4 Визначення затрат на матеріали	69
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	70
4.2.6 Інші прямі витрати	74
4.2.7 Розрахунок загальновиробничих витрат	75
4.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності моделі	76
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	79
5.1 Аналіз потенційних небезпек	79
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	80
5.3 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці	82
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	89
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки	89
5.4.2 Заходи з цивільного захисту	91
Висновки	95
Перелік посилань	98

Додаток А.....	7
Додаток Б	107
Додаток Б	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

2D, 2Д	двовимірний
3D, 3Д	тривимірний
API (Application Programming Interface)	інтерфейс програмування застосунків, інтерфейс прикладного програмування
AR (Augmented reality)	доповнена реальність
GPS (Global Positioning System)	система глобального позиціонування
SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)	диспетчерське управління і збір даних
VR (Virtual reality)	віртуальна реальність
ДР	доповнена реальність
ВР	віртуальна реальність
ПК	персональний комп'ютер
ПУЕ	правила улаштування електроустановок
САПР	система автоматизації проектувальних робіт

ВСТУП

Доповнена реальність (ДР) - це інноваційна технологія, здатна доповнити реальне середовище об'єктами створеними за допомогою комп'ютера. Ці віртуальні компоненти, здається, співіснують з реальними в одному просторі, покращуючи сприйняття реальності користувачем та збагачуючи наданий інформаційний вміст. Завдяки значному поліпшенню якості та ефективності взаємодії людина-машина, використання цієї технології переходить від лабораторій та академічних установ по всьому світу до різних промислових застосувань та споживчих ринків.

Перші дослідження в цій галузі були проведені в 60-х роках Айваном Сазерлендом з Гарвардського університету, а в 90-ті роки ДР досягла конкретних експериментальних результатів, застосовних у великих масштабах. В даний час існує багато областей застосування ДР, починаючи від інженерної галузі та закінчуючи різними аспектами повсякденного життя.

ДР може бути описана як сукупність трьох ключових особливостей:

- поєднання реальних та віртуальних об'єктів на екрані мобільного пристрою;
- взаємодія в режимі реального часу з системою, що здатна реагувати на дії користувача;
- геометричне вирівнювання віртуальних об'єктів щодо реальних у реальному світі.

Характеристики додатків ДР можуть мати різні показники в залежності від інструментів, що використовується для реалізації ДР. Тому питання дослідження систем моделювання, інструментів текстурування, ігрових рушіїв та спеціальних засобів для створення додатків ДР є актуальним.

1 ЗАСТОСУВАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Доповнена реальність та області її застосування

Доповнена реальність (ДР, або AR – Augmented reality) – це комп'ютерна технологія, у якій віртуальні об'єкти змішуються з реальним оточуючим середовищем в єдиному просторі, зображення що отримує користувач не замінює реальність, а лише доповнює, це підвищує сприйняття користувачем цих віртуальних об'єктів [1]. На відміну від віртуальної реальності, яка створює абсолютно штучне середовище, ДР використовує існуюче оточення і накладає на нього нову інформацію. Останні розробки зробили цю технологію доступною для реалізації на смартфоні, що призвело до розробки різноманітних додатків ДР.

Технічні засоби, які застосовуються в ДР, включають мультимедіа, тривимірне (3D) моделювання, відстеження та реєстрацію в реальному часі, інтелектуальну взаємодію, застосування датчиків тощо. Принцип технології ДР полягає у застосуванні віртуальної інформації, що генерується комп'ютером, такої як текст, зображення, тривимірні моделі, музика, відео тощо, до реального світу після моделювання. Таким чином, два типи інформації доповнюють один одного, досягаючи тим самим вдосконалення реального світу.

Технологія доповненої реальності доказала свою ефективність, та має великий потенціал у багатьох різноманітних галузях, таких як освіта, розваги, медицина, інженерія, або мистецтво.

Більш вичерпним визначенням AR може бути система, що має такі характеристики: поєднує реальний і віртуальний світ, інтерактивність в реальному часі і відображення в 3D.

Доповнена реальність покращує сприйняття та взаємодію користувача з реальним світом. Віртуальні об'єкти відображають інформацію, яку користувачі не можуть безпосередньо виявити власними почуттями. Інформація, яку передають віртуальні об'єкти, допомагає користувачу виконувати реальні завдання.

Доповнена реальність може стосуватися всіх органів чуття, а не лише зору. Наразі дослідники зосереджувались на поєднанні реальних та віртуальних зображень та графіки. Однак AR можна розширити, включивши звук, запах або тактильну взаємодію.

У цій роботі основна увага приділяється лише зору як людському чуттю, яке потрібно доповнити віртуальними 3D-моделями. І застосування доповненої реальності в різних галузях техніки.

Застосування доповненої реальності для презентації 3d-моделі може бути використано у всіх галузях техніки, де ми використовуємо віртуальні тривимірні моделі в процесі проєктування. Однак найбільш часто AR застосовується в галузі машинобудування, цивільного будівництва, архітектури та з метою інженерної освіти.

В останні роки було опубліковано багато статей щодо ДР, значна кількість підприємств інвестує у розвиток цього напрямку. Результати досліджень демонструють доцільність та інноваційність ДР як технології людино-машинної взаємодії. З удосконаленням обчислювальної потужності комп'ютерного програмного та апаратного забезпечення технологія AR поступово перейшла від теоретичного етапу лабораторних досліджень до етапу масового та промислового застосування. Ряд авторитетних організацій, зокрема, American Times Weekly [2], внесли ДР до десятка найбільш перспективних технологій у майбутньому.

Основними перевагами застосування технології ДР в проєктуванні технічних об'єктів та їх демонстрації є доступна та наочна візуалізація цих об'єктів, здатність переглядати об'єкт без безпосередньої присутності поряд із ним. Але можливості взаємодії із об'єктами, представленими в додатках ДР, є обмеженими. Тому задача розробки методики моделювання конструкцій з урахуванням задачі реалізації взаємодії із об'єктом або його частинами є актуальною.

Однією з областей, якій піддається ДР, є монтаж машини. Замість того, щоб працювати з посібниками, віртуальними середовищами або фіксованими

екранами, що може бути відносно статичним способом роботи, AR можна транспортувати по фабриці через планшет або смартфон.

У промисловості AR може бути використаний як рішення для технічної візуалізації, яке забезпечить робітників покроковим візуальним посібником для визначення та доступу до обладнання.

Доповнена реальність використовується у презентації різних типів 3D-об'єктів у цивільному будівництві. Спроектвану за допомогою САПР модель можна встановити як об'єкт доповненої реальності у необхідному середовищі та розглянути цю модель під різними кутами у реальному часі та реальному оточуючому середовищі.

Доповнена реальність в архітектурі використовується для презентації існуючого архітектурного об'єкта. Найчастіше це робиться через його історичне значення або проєктні цінності представлених будівель. Презентація доповненої реальності існуючих засобів передбачає використання відповідного обладнання (комп'ютер, планшет, смартфон), програмне забезпечення (Augmented, AR Media) та маркери (2D-графіка). Він пропонує можливість переглядати 3D-моделі в реалістичному середовищі, як це робить масштабна модель. Це забезпечує інтуїтивний огляд 3D-моделі об'єкта, і це більше підходить для користувачів, які не мають досвіду в маніпуляціях тривимірними цифровими об'єктами.

В архітектурі AR можна використовувати для презентації незбережених будівель. Дослідження показало, що реконструкції вже неіснуючих історичних споруд найчастіше використовують для презентацій чи досліджень великих будівель чи міських моделей. Цей підхід може бути використаний для створення неінвазивної презентації об'єкта. Використання AR-презентації, яка забезпечує генерування гібридного середовища, тобто є суміш реального та віртуального середовища, що впливає на враження глядача. Потенційний користувач AR-презентації може бачити об'єкт, що вже не дійшов, у його реальному розмірі, і він може шукати його зв'язок як з реальним часом, так і з простором.

Доповнену реальність можна використовувати для презентації проєкту будівлі на реальному місці. Презентація AR-проєкту будівлі Ця функція дозволяє користувачам використовувати GPS-координати для знаходження 3D-моделі на земній поверхні. Потім програмне забезпечення відстежує координати 3D-моделі в реальному просторі за допомогою відповідної техніки злиття датчиків. Це дозволяє відображати віртуальні моделі в реальному світі без будь-якого маркера. Функція геолокалізації розширює спектр можливостей візуалізації для користувачів AR у багатьох областях програм, включаючи архітектуру, техніку та культурну спадщину.

Доповнену реальність можна використовувати для поліпшення просторових здібностей студентів-інженерів. AR може забезпечити віртуальні 3D-моделі, які допомагають студентам виконувати завдання візуалізації, щоб сприяти розвитку їх просторових здібностей під час дослідження. Однією з найвідоміших освітніх програм для AR є «MagicBook». Інтерфейс «MagicBook» використовує звичайні книги з маркерами AR як основні об'єкти інтерфейсу. Люди можуть перегортати сторінки книги, розглядати фотографії та читати текст без будь-яких додаткових технологій. Однак, якщо вони дивляться на сторінки через AR-дисплей, вони бачать 3D-віртуальні моделі, що з'являються зі сторінок, таким чином, представляючи цікавий спосіб плавного переміщення користувачів між реальністю та віртуальністю за допомогою фізичного об'єкта.

З бурхливим розвитком апаратного та програмного забезпечення використання доповненої реальності в техніці стає все більш прийнятим. У цьому розділі розглядаються сучасні тенденції використання додатків AR. Програми AR пропонують численні можливості для інтеграції та вдосконалення традиційних методів, що використовуються в галузях машинобудування, цивільного будівництва, архітектури та з метою навчання в галузі техніки. Основним недоліком доповненої реальності в техніці все ще залишається відсутність можливостей для фотореалістичної презентації складних 3D-моделей через апаратні обмеження та складність розрахунків, виконаних для того, щоб вона

могла працювати. Розширена реальність – це, безумовно, майбутнє візуалізації в техніці. Принципи його функціонування та застосування в області проєктування та презентації 3D-моделей на вищому рівні, ніж традиційні. Подальший розвиток та вдосконалення технології, безсумнівно, сприятиме кращій якості та функціональності AR-програми.

Можливості, які пропонує технологія AR для накладання цифрової інформації на погляд користувачів на реальний світ, вже були використані в декількох областях, таких як освіта [3], медицина [4] або розваги [5]. Протягом останніх кількох років технологія AR стала більш точною і зменшила затримку, що виникає в результаті обробки зображень, значно покращивши занурення користувача в доповнений світ. Крім того, AR-окуляри тепер доступні для широкої громадськості, збільшуючи можливості більш широкого впровадження цієї технології.

На думку дослідників, у користувачів ідеальної AR-системи повинно скластися враження, що реальні та віртуальні об'єкти співіснують в одному просторі. Однак більшість додатків AR ще далекі від забезпечення такого типу досвіду, оскільки не вдається досягти безперебійної інтеграції між елементами реального та віртуального середовищ. Згенеровані комп'ютером зображення зазвичай перекривають бачення користувача. Хоча такий підхід може бути адекватним у певних випадках, наприклад, при збільшенні реального об'єкта додатковою інформацією, результати, отримані для ігор AR або реконструкцій AR історичних пам'яток, можуть бути незадовільними.

Окрім того, розробка та впровадження AR-досвіду все ще не досяжні непрофесійним користувачам. В роботі [6] вважається, що весь потенціал цієї технології буде розкритий лише тоді, коли кінцеві користувачі застосують її та почнуть створювати власні AR-об'єкти.

1.2 Стан досліджень доповненої реальності

В останні роки технології доповненої реальності досліджуються в багатьох країнах світу, про що свідчить значна кількість відповідних семінарів та публікацій в академічних журналах. Міжнародні конференції надають дослідникам повний простір для спілкування. Фокус дослідження полягає в переході від простої системної системи, апаратної технології відстеження до поточної інтерактивної оцінки продуктивності.

В даний час академічні установи, які займаються дослідженнями технологій доповненої реальності, включають Університет Північної Кароліни, Массачусетський технологічний інститут, Колумбійський університет, компанію Boeing та лабораторію інформатики SONY, ряд університетів та дослідницьких установ, що займаються технологіями ДР у Китаї. Іноземні університети та науково-дослідні установи, які приділяють увагу технологіям ДР, як правило, зосереджуються на алгоритмах, методах взаємодії людина-комп'ютер, програмних та апаратних платформах інфраструктури в основі технології.

Значне зростання кількості публікацій з результатами досліджень відмічено в 2015 р., що зумовлено зростанням фінансових вливань у дослідження та новими технологіями. Хоча технологія ДР досягла значного прогресу за останні 20 років, все ще існує багато технічних проблем. Серед іноземні компаній-виробників обладнання для ДР можна назвати Microsoft, Google та деякі інші, а програмне забезпечення пропонують Metaio, Vuforia, Wikitude та ін. Вітчизняні наукові дослідження все ще перебувають на лабораторній стадії.

В роботі [7] представлено масштабне дослідження що до можливостей використання ДР в архітектурі, інженерії та будівництві. Виділено 6 напрямків використання ДР, зокрема:

- залучення зацікавлених сторін (ДР може бути використана для взаємодії з потенційними клієнтами або з громадськістю, щоб забезпечити більш реалістичне відображення побудованого об'єкту та отримати більш релевантні або

інформативні відгуки. Представлення ДР може надати споживачам можливість краще вивчити запропоновані об'єкти в реальному масштабі, в навколишньому середовищі та забезпечити краще розуміння, ніж фотографії та відео [8]. Наприклад, краще розуміння кінцевого продукту сприятиме узгодженню очікувань зацікавлених сторін із фактичним дизайном. На сьогоднішній день порівняно легко розробити мобільний додаток AR, який візуалізує віртуальну модель вбудованого об'єкта на поверхні або покрокове керівництво вбудованим об'єктом, використовуючи лише мобільний телефон [9]);

- підтримка проєктування (ДР може допомогти конструкторам визначити наслідки своїх проєктних рішень та краще зрозуміти кінцеві результати, наприклад, завдяки спільній роботі над віртуальною моделлю замість використання фізичних макетів [10, 11]);

- огляд проєкту (в роботі [12] представлена система ДР для спільного перегляду проєктів та планування операцій у громадських інженерних програмах; в роботі [13] запропонована система підтримки прийняття рішень на основі ДР для огляду проблеми міського проєктування);

- підтримка будівництва (використання ДР може здійснюватися для планування будівництва, відстеження прогресу [14], поліпшення безпеки будівництва [15] та оперативної підтримки [16]);

- супровід експлуатації та управління (системи ДР можуть підтримувати завдання з технічного обслуговування, ремонту та інспекції, направляючи робітників до конкретного обладнання, показуючи завдання, яке потрібно виконати, та надаючи технічну інформацію в контексті [17, 18]);

- навчання (системи ДР можуть бути використані для викладання структурного аналізу шляхом представлення об'єктів у 3-вимірному контексті [19, 20]).

1.3 Напрямки покращення додатків ДР

Система ДР досі є незрілою технологією, і потрібно вирішити різні проблеми, включаючи поле зору, якість зображення, оклюзію, можливості корекції куту огляду тощо. В цьому пункті увагу зосереджено на представленні основних напрямків, за якими технологія ДР може бути покращена для застосування в інженерних задачах.

Запропоновані шляхи оптимізації можна розділити на три категорії:

- інженерно-технічні рішення (оптимізація пристроїв);
- оптимізація робочого процесу та управління даними;
- нові потенційні можливості.

1.3.1 Інженерно-технічні рішення

У цій категорії зібрані технічні вимоги щодо використання пристроїв ДР для визначених у п.1.2 випадків використання.

1.3.1.1 Комфорт та надійність.

Пристрої ДР повинні бути надійними, щоб вони могли витримувати складні виробничі умови, а також вони не повинні створювати загрози для користувача або оточуючих. Пристрої ДР не повинні перешкоджати іншому обладнанню або обмежувати нормальну роботу органів чуття користувача. Рекомендовано проводити дослідження з метою перевірки використання ДР-пристроїв, що застосовуються у поєднанні з іншим обладнанням в різних середовищах та ситуаціях. Необхідно проводити оцінку ризиків, розробляти методи пом'якшення наслідків, порівняння переваг та ризиків. Іншою потенційною проблемою є те, що погано розроблені ДР-інтерфейси можуть відволікати працівників. Користувальницькі інтерфейси ДР повинні мінімізувати когнітивні та фізичні вимоги, оптимізувати подання даних та надавати розумні попередження щодо здоров'я та безпеки. Для цього можуть бути використані дані що до відстеження

руху очей, оскільки вони надають інформацію про те, як розподіляється зорова увага та визначаються рівні когнітивних навантажень.

1.3.1.2 Високоточне відстеження

Відстеження об'єктів у режимі реального часу – це дуже важливий інструмент для ДР, оскільки після відстеження об'єкта його положення можна використовувати для накладання віртуальних об'єктів та анотацій. Існують різні способи відстеження об'єктів у реальному середовищі, більшість із них являють собою три підходи:

- комбінація маркерів з реальним об'єктом, в яких для вирівнювання існуючої 3D-моделі використовуються зображення на маркері, дані геометрії або положення реального об'єкта [21];
- застосування лише маркерів;
- використання лише особливостей геометрії та текстури об'єкта (маркери не потрібні) [22, 23].

Відстеження на основі маркерів є більш надійним і послідовним, але вимагає розміщення відстежувачів на об'єктах і сценах до того, як можна буде відображати об'єкт ДР. З іншого боку, відстеження без маркерів можна використовувати без початкової підготовки, але точність, як правило, нижча і сильно залежить від характеристик об'єкта, який слід відстежувати. Для інженерних застосувань тривимірні моделі, як правило, дуже детальні, і вони потребуватимуть відстеження з високою точністю.

1.3.1.3 Покращені системи локалізації в приміщенні

Інколи точна локалізація в приміщенні необхідна для додатків ДР, оскільки програми вимагають точного розташування людей та предметів, щоб генерувати правильні об'єкти ДР (наприклад, визначення найкоротших шляхів евакуації робітників та обладнання). Однак не існує достатньо надійних систем локалізації приміщень, які працюють у складних плануваннях та відрізняють різні, але схожі кімнати. Застосування систем на основі датчиків (акселерометри, гіроскопи та магнітометри) визначає точність конкретизації положення [24]. Подальші

дослідження повинні бути зосереджені на використанні комбінації методів, наприклад, за допомогою сигналів WiFi, маяків Bluetooth та магнітних полів.

1.3.1.4 Динамічне 3D-відображення змін середовища

Потенційно, карти постійно мінливих середовищ є важливими для застосування ДР. Точне динамічне відображення середовища необхідно, наприклад, для вказівки розташування встановлюваних компонентів, пропонування альтернативних варіантів у режимі реального часу, підтвердження того, що компоненти були встановлені в потрібному місці, та демонстрації того, які компоненти необхідні для встановлення наступних [25]. Потрібна система відображення, яка постійно фіксує та оновлює фізичний світ, щоб забезпечити збільшення та віртуалізацію динамічних середовищ.

1.3.1.5 Явне зазначення точності

Для збільшення довіри користувачів до додатків ДР вони повинні мати об'єктивну оцінку достовірності даних, які вони презентують. Це призведе до зменшення помилок, викликаних надмірною впевненістю користувачів у точності запропонованих додатком ДР даних. Особливо ця вимога стосується умов роботи додатку ДР в режимі реального часу.

1.3.1.6 Більша місткість моделі

Важливим фактором існуючих ДР пристроїв є обмежена здатність завантажувати великі та складні моделі. Тривимірні моделі, які зазвичай використовуються в інженерії, дуже складні, містять велику кількість деталізованих елементів, що вимагає значних об'ємів пам'яті та обробної потужності для належної презентації у режимі реального часу. Окрім сучасних досягнень мобільної пам'яті та процесорів, ці обмеження можна вирішити за допомогою різноманітних підходів, зокрема:

- динамічне завантаження лише невеликої частини моделі, яка знаходиться в полі зору [26];

- використання рівнів деталізації для відображення деталізованих моделей компонентів лише тоді, коли вони близькі до зору користувача, і низькодеталізованої моделі, коли вони далеко [27];
- використання особливих підходів до кодування, упаковки та потокового передавання для зменшення обсягу даних, що обробляються [28, 29].

13.1.7 Більший термін служби акумулятора

Одним з основних обмежень використання ДР на місці є недостатня ємність акумуляторів пристроїв. Досвід практичного застосування свідчить про те, що інтенсивне використання додатків ДР триває лише близько 1 год, що недостатньо для більшості робіт, що виконуються на місці. Ця проблема може бути в незначній мірі вирішена використанням додаткових переносних джерел живлення та виконанням обробки на зовнішньому обчислювальному пристрої та передача лише візуальної інформації на пристрої ДР.

1.3.2 Оптимізація робочого процесу та управління даними

Ця категорія групує рекомендації, необхідні для ефективного управління даними та процесами у робочих процесах ДР.

1.3.2.1 Архівування контенту та досвіду, отриманого в ДР

Постійно створюється велика кількість додатків ДР. Однак не існує жодних підходів до легкого захоплення цього контенту для збереження, навчання та роз'яснення. Доступ до контенту ДР зазвичай можна отримати лише через скопійовані програми або спеціалізоване авторське програмне забезпечення. Що ще важливіше, немає можливості легко записати та архівувати досвід, який користувачі отримують під час взаємодії з програмами ДР. Наприклад, коли слухач проходить тренінг, використані 3D-моделі та додаток ДР можуть зберігатися, але немає надійного способу записати його досвід. Інші користувачі не можуть зазнати такої ж ситуації. Наявність досвіду інших користувачів може надати надзвичайно цінну інформацію [30]. Обов'язково потрібно розробити

методи запису досвіду ДР, щоб вони могли ділитися з іншими користувачами. Сучасні технології здатні забезпечити лише відеозапис від першої особи, який не передає всієї повноти вражень.

1.3.2.2 Візуалізація даних у тривимірному просторовому та часовому контексті

Візуалізація та аналіз даних зазвичай проводяться на двовимірних комп'ютерних дисплеях без будь-якого просторового контексту або посилання на фізичний світ, з якого вони походять. Однак багато завдань аналізу даних можна значно збагатити, візуалізуючи дані, що мають відношення до завдання, у його початковому контексті. Середовища ДР дають основу для візуалізації даних таким чином, що покращує їх значення та полегшує їх використання та інтерпретацію [31]. На жаль, сучасні підходи до візуалізації даних AR та VR - це лише розширення традиційних методів візуалізації робочого столу, які використовують «парадигму вікна», в якій дані візуалізуються та організовуються на певних прямокутних областях. Потрібні нові інноваційні підходи до візуалізації, які дозволяють візуалізувати дані, як просторово, так і часово, що виходять за рамки парадигми вікна, яка зазвичай використовується у папері та планшетах. Дослідницькі зусилля повинні бути спрямовані на вивчення найкращих підходів до візуалізації базових та метаданих, пов'язаних із реальними об'єктами, віртуальними доповненнями та даними. Не вистачає інтеграції серед візуалізації 3D-моделей, даних датчиків, даних часових рядів, просторових зв'язків, ієрархій об'єктів тощо [32].

1.3.2.3 Розробка стандартів обміну даними

Не існує стандартизованого підходу для обміну даними, що стосуються інформації про об'єкти, матеріалів та текстур, рівні деталізації, метадані тощо. Що стосується стандартів ДР та ВР з відкритим кодом, то група Khronos випустила OpenXR 1.0 у 2019 році [33]. OpenXR – це стандарт із відкритим кодом для вирішення питання фрагментації платформ розробки ДР та ВР та апаратних пристроїв, який складатиметься з двох компонентів – інтерфейсу програмування

програм (API) та інтерфейсу плагіна пристрою, що дозволить додаткам ДР та ВР працювати в будь-якій системі, що використовує цей стандарт. Дослідження в цій галузі, крім розширення існуючих стандартів, повинні також зосередитись на забезпеченні надійного обміну даними між різними стандартами.

1.3.2.4 Системна інтеграція з іншими системами побудованих середовищ

Системи ДР повинні бути легко інтегровані з іншими програмними системами, що використовуються в інженерії, такими як управління об'єктами, корпоративні бази даних, хмарні рішення, системи SCADA тощо. Необхідність програмного втручання відкриє нові випадки використання між залученими сторонами; що створить надійну технологічну екосистему [34]. Такий підхід сприятиме співпраці багатьох зацікавлених сторін з різними інтересами та відповідальністю. Необхідні дослідження підходів до об'єднання різних систем ДР та побудованих середовищ для розвитку надійної технологічної екосистеми [35].

1.3.2.5 Можливості для кількох користувачів та декількох пристроїв

Можливості багатокористувацьких пристроїв та пристроїв мають важливе значення для ефективного використання систем ДР у певних випадках використання. Наприклад, багатокористувальницькі додатки, що взаємодіють на одній і тій же моделі з кількома вікнами перегляду, можуть полегшити взаємодію з клієнтами, дизайнерами та зацікавленими сторонами. Двостороння багатокористувацька комунікація між офісними працівниками та працівниками майданчика зменшить час на виявлення помилок та впровадження ефективних дій. Системи ДР повинні забезпечувати можливості мультикомунікації, включаючи:

- різні пристрої одного типу та різних марок (наприклад, багато пристроїв ДР);
- різні пристрої різних типів та різних марок (наприклад, багато пристроїв ДР, ВР та планшети);
- різні пристрої різних типів, різних марок та в різних місцях (наприклад, багато пристроїв ДР на підприємстві, пристрої ВР в головному офісі та планшети в іншому офісі зацікавлених сторін.).

1.3.2.6 Вирішення питань безпеки, конфіденційності та власності даних

Набори інструментів ДР та програмні додатки, як правило, не вирішують проблеми інформаційної безпеки та конфіденційності нестандартно. Як і у випадку з будь-якою іншою новою технологією, нові технології мають властиві саме їм нові питання безпеки та конфіденційності. Наприклад, потрібно встановити право власності на віртуальні об'єкти та віртуальні простори, а також контролювати доступ до особистих віртуальних об'єктів, запобігати небажаному вмісту від інших користувачів або сторін, узгоджувати доступ до вмісту інших користувачів та здійснювати навігацію частково спільними середовищами ДР та ВР, серед інших. Необхідні загальні рамки та рекомендації для розробників ДР та ВР, щоб врахувати вже визначені проблеми безпеки та конфіденційності [36].

1.3.2.7 Розробка дорожньої карти підвищення кваліфікації працівників для роботи з додатками ДР

Кваліфікована робоча сила в інженерії є вирішальним фактором для успішного прийняття ДР. Співробітникам необхідно пройти навчання щодо використання нових систем ДР. Отже, важливо:

- визначити необхідні навички для кожного з випадків використання;
- зібрати дані про кваліфікацію існуючої робочої сили;
- виявити прогалини;
- запропонувати дорожню карту підвищити кваліфікацію робочої сили.

1.3.3 Новітні технічні можливості

Для реалізації нових технічних можливостей в наукових роботах пропонуються наступні напрямки досліджень для:

- розпізнавання об'єктів та жестів (в ідеалі система ДР повинна розпізнавати кожен об'єкт в оточенні користувачів без необхідності розпізнавання вже існуючих 3D моделей або маркерів [37]);

- модифікації моделей в режимі реального часу (система ДР повинна мати можливість модифікувати віртуальні моделі у працюючому додатку [38]);
- змінена реальність та оклюзія в режимі реального часу (вони є необхідними можливостями майбутніх систем ДР, оскільки фізичні об'єкти часто перешкоджають представленню об'єкта [39]);
- автоматичне захоплення середовища (система ДР вимагає точного відображення оточення для правильного накладання віртуальних об'єктів. Автоматичне захоплення середовища має важливе значення для ситуацій, в яких середовище постійно змінюється, наприклад на будівельних майданчиках, і вимагає постійного сканування. Ця можливість може бути забезпечена поєднанням результатів з вищенаведеними напрямками, а також із відстеженням високої точності, системою локалізації приміщень та динамічним 3D відображенням);
- інтеграція з пристроями інтернету речей (інтеграція апаратних та програмних систем з даними у реальному часі від пристроїв інтернету речей надає можливість для підвищення операційної ефективності та підтримки прийняття рішень. Рішення інтернету речей мають різні застосування такі як розумні будівлі, моніторинг конструкцій та профілактичне обслуговування [40]. Для цього потрібні інтеграція систем вбудованого середовища з реляційними базами даних, нова схема даних, нова мова запитів, використання семантичних веб-технологій та розробка та гібридний підхід до інтеграції даних [41]);
- фізичне моделювання, прогнозована та директивна аналітика (візуалізація моделювання майбутніх ситуацій, прогнозів результатів дій, сценарій необхідних дій і оптимальних планів дій в доповненій реальності зможе краще та ефективніше приймати рішення [42]);
- мультимодальна людино-машинна взаємодія (зокрема, в роботі [43] описана ДР-планшетна система, що забезпечує стимулювання дотику, смаку та запаху для збагачення досвіду відвідування музейної виставки. Вентилятори,

вібраційні двигуни, випаровувачі та теплові насоси використовуються для забезпечення різноманітних подразників. Автори відзначають, що в інтерфейсах потрібно зробити ще багато вдосконалень, і що обмеження розміру та ваги залишаються значною проблемою для включення мультисенсорних можливостей до систем ДР).

1.4 Проблема реалістичності доповненої реальності

Для підвищення реалістичності в ДР було запропоновано різноманітні методи. Серед них проблема оклюзії (перекривання одних об'єктів іншими) була ретельно досліджена в ряді досліджень, зокрема, в [44], оскільки помилки оклюзії значною мірою сприяють знищенню відчуття співіснування об'єктів ДР у реальному світі [45]. Проблема виникає через те, що об'єкти ДР повинні виглядати частково або повністю прихованими за реальними об'єктами, коли вони блокують пряму видимість між спостерігачем та об'єктом ДР. Реалізація ефектів оклюзії вимагає механізму виявлення перешкод та відповідного відтворення зображень, щоб приховані частини об'єктів ДР не відображалися.

Необхідно зазначити, що вирішення проблеми може бути різним залежно від типу використовуваної системи відображення ДР. У будь-якому випадку більшість рішень базуються на використанні карт глибини, 3D-моделей середовищ або контурних моделей. Карти глибини присвоюють значення відстані кожному пікселю зображення і можуть бути автоматично створені за допомогою камер глибини або стереокамер. Ця інформація дозволяє програмному забезпеченню визначити, чи знаходиться віртуальний об'єкт перед реальним або позаду, не вимагаючи попередньої підготовки середовища для виявлення оклюзій. Тим не менше, ця техніка не є адекватною для збільшення великих просторів, оскільки область глибинних камер обмежена, а точність стереокамер швидко зменшується на великі відстані. Цю проблему можна подолати за допомогою методів оклюзії на основі математичних моделей [46], які використовують 3D-

модель реального середовища, щоб визначити, які віртуальні елементи слід закрити. У цьому випадку недоліком є те, що необхідно створити модель середовища і вирівняти її з реальними об'єктами перед використанням додатка. Нарешті, можливо також реалізувати ефекти оклюзії, використовуючи контури об'єктів у навколишньому середовищі.

Реалістичність також зменшиться, якщо об'єкти ДР рухатимуться в навколишньому середовищі, стикаючись із реальними тілами. Ця проблема подібна до тієї, яку ставить ефект оклюзії: щоб виявити зіткнення, необхідно спочатку визначити контур об'єкта в реальному світі та визначити його відстань до віртуального об'єкта. Як і в попередньому випадку, більшість рішень проблеми використовують карти глибин або віртуальні моделі середовищ. Однак у цьому випадку карти глибини працюють гірше, ніж віртуальні моделі, оскільки вони не дозволяють глядачеві ідентифікувати зіткнення, заблоковані реальними об'єктами.

Третій підхід для створення у користувача враження, що віртуальні та реальні об'єкти співіснують в одному просторі, полягає в тому, що перші повинні відчувати вплив сили тяжіння. Наприклад, якщо віртуальний об'єкт скидається з висоти, він повинен падати, поки не вдариться об підлогу або горизонтальну поверхню, описуючи траєкторію, аналогічну тій, якою слідував би подібний реальний об'єкт. Автори [47] пропонують вирішити проблему для смартфонів, які використовують інерційні датчики в приладі, такі як акселерометри, для обчислення вектору гравітації.

Тіні та освітлення відіграють важливу роль у реалістичності переживання [48]. Об'єкти ДР повинні відображати світло і створювати тіні так само, як і реальні об'єкти, розміщені в доповненому середовищі. Реалістичність може також зменшитися, якщо віртуальні об'єкти не поведуться і не реагують на атмосферні умови так, як це роблять реальні об'єкти. Системи ДР, представлені в роботі [49], здатні представляти та імітувати вплив потоку вітру на віртуальні об'єкти сцени.

Ще одним кроком для забезпечення цілісної інтеграції віртуальних та реальних елементів є звук віртуальних 3D-реплік, якщо він відповідає звуку

об'єктів. Використання просторового звуку в ДР сприяє сприйняттю глибини та положення [50].

Всі згадані раніше роботи мають на меті підсилити реалістичність досвіду AR шляхом модифікації характеристик та властивостей віртуальних об'єктів на сцені. Автори [51] підходять до проблеми з іншої точки зору. У цих випадках метою є модифікація та коригування уявлення користувачів про реальне середовище, щоб створити відчуття, що воно реалістично реагує на присутність об'єкта або дії, що виконуються віртуальними елементами на сцені. У будь-якому випадку, узгодженість створеної сцени ДР значно посилюється, що ускладнює для глядача розрізнення реальних та віртуальних об'єктів. З іншого боку, алгоритми аналізу зображень можуть використовуватися для створення фізично правдоподібної анімації об'єктів у відео, знятому камерою. Це може бути використано для створення у глядача враження, що предмети вібрують або деформуються у відповідь на сили чи дії, що здійснюються віртуальними елементами.

1.5 Постановка задачі дослідження магістерської роботи

Основною метою цієї роботи є підтримка розробки та впровадження реалістичного та інтерактивного досвіду ДР. Слідуючи цій меті, ми пропонуємо поєднати методи, засновані на 3Д-моделях, з можливостями сучасних ігрових рушіїв для реалізації інтерактивних тривимірних віртуальних просторів. Цей тип програмного забезпечення пропонує різні компоненти для підтримки реалістичного дизайну:

- віртуальні сцени;
- виявлення оклюзій;
- текстури;
- освітлення та затінення.

Крім того, вони також надають засоби для визначення способу поведінки віртуальних елементів та їх реагування на команди користувачів, а також стан інших елементів сцени. Тому ми пропонуємо створити сцени ДР як віртуальні сцени, що відбуваються в тривимірній віртуальній копії середовища. Цю копію слід узгоджувати з баченням користувача середовища, щоб віртуальні елементи виглядали як накладені на відповідні елементи в реальному світі. Після вирівнювання двох світів фонові віртуальні елементи, такі як двері або стіни, стануть невидимими. Як результат, інші віртуальні елементи будуть виглядати інтегрованими в реальний світ. Наприклад, чим далі вони знаходяться, тим меншими вони будуть виглядати для користувачів. Оскільки віртуальні фонові елементи невидимі і вирівняні з реальними об'єктами, коли віртуальний об'єкт стикається або проходить позаду одного з них, у користувача створюється враження, що він натикається або приховується за відповідним реальним об'єктом, відповідно. Завдання, необхідні для створення додатків ДР з урахуванням цього підходу, можна організувати у п'ять наступних кроків:

- створення 3D моделі так, щоб вона виглядала деталізованою, але при цьому займала не великий обсяг пам'яті;
- створення фізично коректних текстур для забезпечення реалістичного відображення у середовищі ДР;
- композиція сцени доповненої реальності, яка включає вирівнювання 3D-об'єкту з кутом погляду користувачів на навколишнє середовище;
- моделювання умов навколишнього середовища, в якому сцена ДР покращена реалістичними ефектами, щоб нагадувати освітленість та атмосферу реальної обстановки;
- визначення анімації сцени та взаємодії з користувачем, у якій віртуальні об'єкти анімовані, та встановлені правила, що регулюють взаємодію між ними та користувачами.

Наукова новизна роботи полягає у розробці методики створення додатків доповненої реальності з використанням сучасних методів проєктування ігрових

3D-моделей для інтеграції їх у сцени ігрових рушіїв з метою досягнення високої реалістичності та покращення сприйняття об'єкта користувачем в режимі реального часу.

Практична цінність даної роботи полягає у розробці додатку доповненої реальності, що надасть можливість презентувати інженерні об'єкти, досліджувати їх, оцінювати в умовах реального навколишнього середовища та взаємодіяти з ними через екран мобільного пристрою зручним для користувача способом без застосування спеціального обладнання.

2 ВИБІР ПЛАТФОРМИ ТА ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ДОДАТКУ ДР

2.1 Аналіз інструментів для 3D-моделювання та текстуровання

Для реалізації задач, що поставлені у п. 1.5, необхідно визначити інструменти, які будуть застосовуватися для:

- створення 3D-моделей;
- створення текстур;
- створення додатку доповненої реальності.

3D-моделювання може бути здійснено в широкому ряді систем автоматизованого проєктування, але для створення ігрової моделі треба використовувати програми з можливістю прямого моделювання (Direction modeling). Цю змогу надають такі програми, як Blender, 3Ds Max, Maya, Modo, Cinema4D та інші. Для виконання завдань цієї магістерської роботи нами було обрано програмне забезпечення Modo у зв'язку із наявним власним багаторічним досвідом роботи.

Розглянемо основні можливості системи Modo.

За допомогою набору інструментів для моделювання Modo пропонує художникам:

- швидке пряме моделювання;
- гнучке процедурне моделювання;
- MeshFusion Boolean набір інструментів;
- вбудовані інструменти для ліплення

Набір інструментів прямого моделювання Modo спрямований на робочий процес та технічні інновації. В Modo реалізовано найпоширеніший підхід до моделювання з наявністю багатьох інструментів для маніпулювання геометрією безпосередньо у вікні тривимірного перегляду.

Введені в Modo 10 набори інструментального процедурного моделювання забезпечили Modo системою, побудованою для майбутнього моделювання. Переважна більшість функцій прямого моделювання також доступні як потужні процедурні варіанти. З кожним оновленням продукту процедурне моделювання продовжує ставати потужнішим.

UV Розгортка моделі за допомогою високоефективного вбудованого набору інструментів, який пропонує безліч автоматизованих опцій, підтримує робочі процеси UDIM і, на відміну від деяких інших інструментів створення 3D-вмісту, повністю інтегрується з робочими процесами моделювання.

Modo має інструменти ліплення для інтуїтивної побудови фігур та швидкого додавання декількох рівнів деталізації, що дозволяє прискорити процес.

Modo пропонує швидкий та потужний рендер, що дозволяють художникам легко починати створювати високоякісні, фотореалістичні та фізично обґрунтовані рендери.

Процес створення та налаштування матеріалів в Modo швидкий та гнучкий, реалізований на основі шарів та вузлових систем. Програми перетягування дозволяють швидко створювати потрібний вигляд або просто вибирати високореалістичні матеріалів на фізичній основі з величезної бібліотеки.

Користувальницький інтерфейс Modo складається з “форм”, які можна змінювати або вмикати та вимикати для подальшої оптимізації користувальницького інтерфейсу.

Створення текстур для 3D-моделі на сьогодні здійснюється у таких програмах, як Substance Painter, Mari, Photoshop та інші. Substance Painter та Mari – це програми, що дозволяють створювати текстури прямо на поверхні 3D-моделі. Це значно прискорює процес для творців та є наочним, бо усі зміни відбуваються у реальному часі. Photoshop та подібні програми використовувалися до появи Substance Painter, але і в теперішній час ці програми є незамінними, бо дозволяють швидко вносити зміни до існуючих текстур.

Substance Painter - це еталонний додаток для текстурвання для професіоналів та любителів 3D. Індустрія використовує Substance Painter для реалізації різних проєктів завдяки високій швидкості, гнучкості та якості зображення.

Substance Painter використовує Smart матеріали, дає змогу легко додати ефекти вивітрювання за допомогою вбудованого фізичного механізму або намалювати точні мікродеталі на складних об'єктах, що охоплюють десятки наборів текстур або UDIM.

Substance Painter дає змогу створити текстури для будь-якого цільового візуалізатора або ігрового механізму. Substance Painter сумісний з Unity, Unreal, Amazon Lumberyard, Adobe Dimension, V-Ray, Arnold, Renderman тощо. Незалежно від того, якою є остаточна платформа, Substance Painter може перетворити текстури в потрібний формат і дати результати якомога ближче до того, що відображається у вікні перегляду.

Для створення додатку ДР та взаємодії з 3D-моделлю і написання базової логіки програми пропонується використовувати ігрові рушії, що мають можливість роботи з ДР. Їх огляд наведено далі.

2.2 Огляд ігрових рушіїв

Ігровий рушій, також відомий як ігрова архітектура, ігровий фреймворк, - це середовище розробки програмного забезпечення, призначене для людей що створюють відеоігри. Розробники використовують ігрові рушії для побудови ігор для консолей, мобільних пристроїв та персональних комп'ютерів. Основна функціональність, яку зазвичай надає ігровий движок, включає в себе механізм візуалізації ("візуалізатор") для 2D або 3D графіки, фізичний механізм або виявлення зіткнень (і відповідь на зіткнення), звук, сценарії, анімацію, штучний інтелект, мережу, потокове передавання, пам'ять управління, створення потоків, підтримка локалізації, графік сцени та може включати підтримку відео для

кінематографічних сцен. Реалізатори часто економлять на процесі розробки ігор, повторно використовуючи / адаптуючи, значною мірою, один і той же ігровий движок для створення різних ігор або для допомоги в перенесенні ігор на кілька платформ [52].

Найбільш широко застосовуваними ігровими рушіями, що вільно розповсюджуються, є Unity3D та Unreal Engine.

2.2.1 Unity3D

Unity3D – це крос-платформенний ігровий рушій, розроблений Unity Technologies, який в основному використовується для розробки відеоігор та моделювання для комп'ютерів, консолей та мобільних пристроїв.

Unity3D є інструментом для розробки 2D- та 3D-додатків та ігор. Створені за допомогою Unity додатки працюють під операційними системами Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux, а також на ігрових приставках Wii, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One та MotionParallax3D дисплеї (пристрої для запуску віртуальних голограм), наприклад, Nettlebox. Є можливість створити додатки для запуску в браузері за допомогою спеціально підключеного модуля Unity (Unity Web Player), а також за допомогою реалізації технологій WebGL.

Unity3D охоплює весь вид навколишнього середовища, підходить для прокладки рівнів, розробки меню, створення анімації, написання сценаріїв та організацій проєктів. Користувачський інтерфейс добре організований, панелі можуть бути повністю налаштовані за допомогою переміщення. Панель Сцена представляє собою 3D-вікно перегляду, де можна фізично організувати активи, переміщуючи їх у тривимірному просторі.

Unity використовує велику кількість ресурсів. Вони включають у себе 3D-моделі, матеріали, текстури, звук, скрипти та шрифти і так далі. За винятком декількох простих об'єктів (куб, сфера, капсула), Unity не може фактично

створити більшу частину цих активів. Натомість вони повинні бути створені за допомогою 3D-програм моделювання та інструментів створення 2D-графіки, а потім імпортовані в Unity.

При цьому імпорт активів в Unity надійний і зрозумілий. Доступний імпорт файлів популярних 3D-форматів, включаючи створені в 3D Maya, 3D Studio Max, матеріали та текстури залишаються без змін. Unity також підтримує всі розповсюджені формати файлів зображень, включаючи PNG, JPEG, TIFF та навіть шаруваті PSD-файли безпосередньо з Photoshop. Що стосується аудіоінформації, Unity підтримує WAV та AIF, що підходять для звукових ефектів, а також MP3 та OGG для музики.

Unity має магазин активів, де можна придбати 3D-моделі, персонажі, текстури, звукові ефекти, музику, інструменти та сценарії [53, 54].

2.2.2 Unreal Engine

Unreal Engine - ігровий рушій, що розробляється і підтримується компанією Epic Games.

Він являє собою повний набір засобів розробки для праці з технологіями в режимі реального часу: від візуалізації дизайну та кінематографічного досвіду до високоякісних ігор на ПК, консолі, мобільному пристрої, VR та AR.

Написаний на мові C++, рушій дозволяє створювати ігри для більшості операційних систем і платформ: Microsoft Windows, Linux, Mac OS і Mac OS X; ігрових консолях, а також на різних мобільних пристроях Android та iOS.

Unreal Engine включає Unreal Editor – інтегроване середовище розробки, доступне в Linux, MacOS та Windows для створення контенту. Завдяки підтримці багатокористувацького редагування, художники, дизайнери та розробники можуть одночасно вносити зміни в один і той же проєкт Unreal Engine безпечним та надійним способом.

Unreal Engine пропонує рішення для створення віртуальної реальності, доповненої реальності та змішаної реальності завдяки власній інтеграції з найпопулярнішими платформами, включаючи Oculus VR, SteamVR, Google VR, HoloLens 2, Magic Leap, Windows Mixed Reality, ARKit та ARCore.

Unreal Engine включає велику кількість інструментів, які допомагають скласти профіль, проаналізувати та оптимізувати проєкт для роботи в режимі реального часу шляхом виявлення та усунення вузьких місць. Найновішим доповненням є система Unreal Insights, яка збирає, аналізує та візуалізує дані про поведінку UE4, допомагаючи зрозуміти продуктивність рушія або в реальному часі, або з попередньо записаних сеансів.

У рушії можна писати ігрову логіку на C++, а так само за допомогою візуальної системи програмування - Blueprint.

Для розробки додатка ДР, що застосовуватиметься на мобільних пристроях, нами було обрано ігровий рушій Unity з наступних міркувань:

- велика кількість інтегрованих засобів для створення ДР;
- низький поріг входження для освоєння можливостей рушія розробником;
- відносно низькі системні вимоги до ПК, на якому виконуватиметься розробка додатка ДР;
- зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- широка спільнота користувачів, що дозволяє отримувати підтримку у питання розробки додатків;
- невеликий розмір зкомпільованого додатку, що зменшує вимоги до мобільного пристрою користувача;
- гнучке налаштування відтворення графіки в залежності від потужності мобільного пристрою.

2.3 Огляд засобів для створення додатків ДР

Для створення додатків доповненої реальності можуть використовуватися різні інструменти та платформи, що застосовуються для впровадження віртуальних 2D- та 3D-моделей у реальне оточуюче середовище, яке відображається на екрані пристрою [55, 56].

Розглянемо можливості наступних найпопулярніших серед розробників комплексів для створення додатків ДР:

- Vuforia;
- ARKit;
- ARCore;
- Unity AR Foundation.

2.3.1 Vuforia

Vuforia SDK - це програмний комплекс, який включає в себе платформу доповненої реальності і інструментарій розробника програмного забезпечення доповненої реальності (SDK - Software Development Kit) для використання AR на мобільних пристроях: планшетах, смартфонах і окулярах AR під iOS, Android і UWP (Windows) [57]. Vuforia SDK інтегрована з «ігровим рушієм» Unity 3D (вільно розповсюджуване - програмне забезпечення, наймасовіший «ігровий рушій» на сьогоднішній день), що значно полегшує розробку AR-додатків.

Vuforia SDK забезпечує [58]:

- простоту створення сценаріїв роботи з об'єктами AR на базі найпопулярнішого і вільно-розповсюджуваного «рушія» AR;
- необмежене повторне використання 3D-даних;
- можливість використання «Цифрового Порадника» і «Цифрового Двійника»;

– використання широкої номенклатури призначених для користувача пристроїв (iOS, Android, UWP).

Особливості Vuforia Engine:

- цілі у вигляді моделей дозволяють розпізнавати об'єкти за формою, використовуючи вже існуючі 3D-моделі;
- цілі у вигляді об'єктів використовують тривимірне сканування розташування і призначені для роботи у великих приміщеннях;
- цілі у вигляді зображень – являють собою найпростіший спосіб розмістити контент AR на плоских об'єктах;
- мульти-цілі призначені для об'єктів з плоскими поверхнями і декількома сторонами або містять кілька зображень;
- циліндричні цілі дозволяють розміщувати вміст AR на об'єктах циліндричної і конічної форми;
- об'єктні цілі створюються шляхом сканування об'єкта з багатьма деталями поверхні і сталою формою;
- мітки VuMarks дозволяють ідентифікувати і додавати контент в серії об'єктів;
- фонові ефекти;
- програвання відео;
- віртуальні кнопки;
- управління оклюзією дозволяє відстежує цілі, навіть якщо вони частково приховані.

2.3.2 ARKit

ARKit - це мобільна AR-платформа для розробки додатків доповненої реальності на iOS. Це API високого рівня, що забезпечує простий інтерфейс для потужного набору функцій. Для того, щоб отримати повний набір функцій для

ARKit, потрібен процесор A9 або новіші версії, що мають більшість пристроїв iOS 1, включаючи iPhone 6S [59].

Особливості ARKit можна розділити на три напрямки:

- можливість відстежувати пристрій у режимі реального часу. Завдяки використанню візуальної інерційної одометрії, яка використовує зображення камери, а також дані руху з пристроєм, можна отримати точне розташування пристрою та його орієнтацію

- розуміння сцени - це здатність визначати атрибути або властивості середовища навколо пристрою. Для цього здійснюється виявлення площини - це здатність визначати поверхні чи площини у фізичному середовищі, щоб розмістити віртуальні об'єкти, об'єднуючи їх з топологією реального світу. Також використовується оцінка світла для візуалізації або коректного освітлення віртуальної геометрії відповідно до фізичного світу. Використовуючи все це разом, можна легко інтегрувати віртуальний вміст у конкретне фізичне середовище.

- рендеринг: в ARKit забезпечена легка інтеграція в будь-який візуалізатор. Використовується постійний потік зображень з камери, інформація про відстеження, а також розуміння сцени, які можна ввести у візуалізатор.

Серед останніх розробок можна виділити взаємодію з лідаром, що встановлений у iPad Pro 2020 для створення 3D-карти простору, для розмежування підлоги, стіни, стелі, вікна, двері, і стільці. Це дозволяє робити оклюзію віртуальних об'єктів більш реалістичною, миттєво розміщувати цифрові об'єкти та безперервно поєднувати їх з фізичним оточенням.

Також можна одночасно фіксувати відстеження обличчя та світу за допомогою передньої та задньої камер пристроїв та співпрацювати між кількома людьми для створення карти простору ДР [60].

2.3.3 ARCore

ARCore - це платформа Google для створення додатків ДР. Використовуючи різні API, ARCore дозволяє телефону відчувати навколишнє середовище, оцінювати світ та взаємодіяти з інформацією. Деякі API доступні на Android та iOS, що дозволяє забезпечити спільні розробку і використання додатків AR [61].

ARCore використовує наступні ключові можливості для інтеграції віртуального вмісту з реальним світом, що видно через камеру телефону.

2.3.3.1 Відстеження руху

Коли телефон рухається у просторі, ARCore використовує процес, який називається одночасною локалізацією та відображенням, або SLAM, щоб визначити, де телефон знаходиться відносно об'єктів навколишнього світу. ARCore виявляє візуально відмінні риси у захопленому зображенні камери, які називаються точками об'єктів, і використовує ці точки для обчислення зміни місця його розташування. Візуальна інформація поєднується з вимірюваннями з інерційного вимірювального модуля пристрою для оцінки пози (положення та орієнтації) камери щодо об'єктів фізичного світу у часі.

Вирівнюючи положення віртуальної камери, яка відображає 3D-вміст, з позою камери пристрою, наданої ARCore, розробники можуть відображати віртуальний вміст з правильної точки зору.

2.3.3.2 Оцінювання довкілля

ARCore визначає скупчення точок об'єктів, які лежать на загальних горизонтальних або вертикальних поверхнях, таких як столи або стіни, визначає їх межі, і робить ці поверхні доступними у розробленому додатку як площини для розташування віртуальних об'єктів. Оскільки ARCore використовує функціональні точки для виявлення площин, плоскі поверхні без текстури, такі як біла стіна, можуть бути не виявлені належним чином.

2.3.3.3 Визначення глибини

ARCore може створювати карти глибини, зображення, що містять дані про відстань між поверхнями від заданої точки, використовуючи основну RGB-камеру з підтримуваного пристрою. Використовуючи ці карти, можна зробити віртуальні об'єкти точним зіткненням із спостережуваними поверхнями або зробити так, щоб вони з'являлися перед об'єктами реального світу чи позаду них.

2.3.3.4 Оцінка освітленості

ARCore може виявляти інформацію про освітлення навколишнього середовища та надавати середню інтенсивність та корекцію кольорів даного зображення камери. Ця інформація дозволяє освітлювати віртуальні об'єкти в тих самих умовах, що і навколишнє середовище, посилюючи відчуття реалізму.

2.3.3.5 Взаємодія з користувачем

ARCore використовує тест на потрапляння, щоб визначити координати X та Y, що відповідає екрану телефону (забезпечується натисканням або якою-небудь іншою взаємодією), і проєктує промінь в правильному напрямку, повертаючи будь-які площини або функціональні точки, які промінь перетинає, разом із розташуванням цього перетину у просторі. Це дозволяє користувачам вибирати або іншим чином взаємодіяти з об'єктами в навколишньому середовищі.

2.3.3.6 Орієнтовані точки

Орієнтовані точки дозволяють розміщувати віртуальні об'єкти на кутових поверхнях. Коли виконується тест на потрапляння, який повертає точку об'єкта, ARCore буде розглядати сусідні точки об'єкта і використовувати їх для спроби оцінити кут поверхні в даній точці об'єкта. Потім ARCore поверне позу, яка враховує цей кут.

2.3.3.7 Якорі та відстежувані об'єкти

Пози можуть змінюватися, оскільки ARCore покращує розуміння власної позиції та навколишнього середовища. Щоб розмістити віртуальний об'єкт, потрібно визначити якорі, щоб ARCore відстежував положення об'єкта з часом.

Площини та точки - це особливий тип об'єктів, який називається відстежуваними. Це об'єкти, які ARCore буде відстежувати з часом. Можна

прив'язати віртуальні об'єкти до конкретних відстежуваних, щоб забезпечити стабільність зв'язку між віртуальним об'єктом та відстежуваним, навіть коли пристрій рухається.

2.3.3.8 Доповнені зображення

Доповнені зображення – це функція, яка дозволяє створювати додатки AR, які можуть реагувати на конкретні 2D-зображення. Користувачі можуть активувати AR-додаток, коли вони спрямовують камеру свого телефону на конкретні зображення. ARCore також відстежує рухомі зображення.

Зображення можна компілювати в автономному режимі, щоб створити базу даних зображень, або окремі зображення можна додавати в реальному часі з пристроєм. Після реєстрації ARCore виявить ці зображення, межі зображень і поверне відповідну позу.

2.3.3.9 Спільний доступ

API ARCore Cloud Anchor дозволяє створювати спільні або багатокористувацькі програми для пристроїв Android та iOS. За допомогою Cloud Anchors один пристрій надсилає прив'язку та сусідні точки функцій до хмари для розміщення. Цими якорями можна ділитися з іншими користувачами на пристроях Android або iOS у тому ж середовищі. Це дозволяє програмам відтворювати однакові 3D-об'єкти, прикріплені до цих прив'язок, дозволяючи користувачам одночасно отримувати однаковий досвід AR.

2.3.4 AR Foundation

AR Foundation дозволяє працювати з платформами доповненої реальності багатоплатформно в рамках Unity. Цей пакет представляє інтерфейс для використання розробниками Unity, але сам не реалізує жодних функцій ДР. Щоб використовувати AR Foundation на цільовому пристрої, також потрібні окремі пакети для цільових платформ, які офіційно підтримуються Unity:

- плагін ARCore XR на Android;

- плагін ARKit XR на iOS;
- плагін Magic Leap XR на Magic Leap;
- плагін Windows XR на HoloLens.

AR Foundation - це набір скриптів та API для роботи з пристроями, що підтримують такі концепції:

- відстеження положення та орієнтації пристрою у фізичному просторі;
- виявлення горизонтальних та вертикальних поверхонь;
- хмари точок, також відомі як точки об'єктів;
- довільне положення та орієнтація, які відстежує пристрій;
- оцінки середньої колірної температури та яскравості у фізичному просторі;
- засіб для створення кубічної карти, яка представляє певну область фізичного середовища;
- виявлення та відстеження людських обличчя;
- виявлення та відстеження 2D-зображень;
- виявлення 3D-об'єктів;
- створює трикутні сітки, які відповідають фізичному простору;
- 2D та 3D зображення людей, розпізнані у фізичному просторі;
- відстеження положення та орієнтації інших пристроїв у спільному досвіді ДР;
- застосування відстані до об'єктів у фізичному світі до відтвореного 3d-вмісту, що забезпечує реалістичне поєднання фізичних та віртуальних об'єктів;
- сканування фізичного оточення для виявлення площини та точок об'єктів;
- керування сеансом: автоматичне налаштування конфігурацією на рівні платформи при включенні або вимкненні функцій ДР;
- оклюзія.

AR Foundation сам не реалізує жодних функцій ДР, а натомість визначає мультиплатформенний API, що дозволяє працювати з функціональними можливостями, спільними для багатьох платформ [62].

Враховуючи вимоги до розроблюваного додатку ДР та необхідність реалізувати такі функції, як інтеграція 3D-моделі в оточуюче середовище з відтворенням освітлення та тіней, відображення та освітлення на основі даних, що отримані з камери мобільного пристрою, можливість взаємодіяти з віртуальним об'єктом, а також застосування ігрового рушія Unity, в якості засобу для створення додатку доповненої реальності нам було обрано AR Foundation.

3 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ДОДАТКУ ДР ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Реалізація проєкту

Застосування ДР в додатках дозволяє користувачам розміщувати 3D-моделі в натуральну величину у реальному навколишньому середовищі з використанням або без використання трекерів. Трекери – це прості зображення в реальному світі, що розпізнаються додатком ДР. Орієнтуючись на трекери, додаток ДР відображає прив'язані до трекерів 3D-моделі, доповнюючи ними відображення реального світу. Такий підхід застосовується, зокрема, на платформі Vuforia, яка дозволяє своїм користувачам бачити створену ними продукцію в 3D в реальному житті та в реальному часі за допомогою планшетів або смартфонів, щоб стимулювати продажі та покращити залучення користувачів. Додаток Vuforia також можна використовувати для роздрібної торгівлі, електронної комерції, архітектури та інших цілей. Клієнти можуть переглядати зображення у форматі 3D, обертаючи їх та переглядаючи весь доповнений вміст, перш ніж прийняти рішення про покупку.

Нами було розроблено додаток доповненої реальності для української компанії «Інфоком ЛТД», з якою кафедра інформаційних технологій електронних засобів НУ «Запорізька політехніка» співпрацює декілька років.

За основу було обрано багатофункціональну платформу «Скорпіон» (рис. 3.1). Спочатку «Скорпіон» розроблявся як роботизований безпілотний засіб вогневої підтримки та розвідки. Однак крім військового застосування, є варіанти його використання в цивільній сфері, наприклад, для гасіння пожеж. Найбільшу ефективність система демонструє при застосуванні трьох і більше одиниць. Саме завдяки широкому спектру потенціальних функцій виникла потреба створити додаток ДР, який зможе відобразити модель платформи в реальному середовищі користувача.

Особливістю запропонованого додатка є можливість взаємодії із елементами конструкції платформи з метою перегляду його окремих частин, що приховані за корпусними деталями [63].



Рисунок 3.1 – Фотографія реальної платформи «Скорпіон» в процесі виконання складальних операцій

На рис. 3.2 наведено зовнішній вигляд платформи «Скорпіон» у зібраному вигляді. Користувач може розглянути платформу з усіх сторін, при цьому реалістичність відображення досягається забезпеченням реальних розмірів об'єкта, наявністю тіней, освітленням, що відповідає оточуючому середовищу, деталізацією елементів та врахуванням ефекту оклюзії. Користувач має можливість взаємодії із 3D-моделлю платформи шляхом натискання на окремі області екрану, орієнтуючись на виникаючі підказки щодо зміни положення окремих частин.

На рис. 3.3 представлено вигляд платформи «Скорпіон» під тим же кутом, що і на рис. 3.2, але після відкривання задньої кришки, що відбулося в результаті натискання користувачем на цю кришку на екрані мобільного пристрою. При цьому зміна положення рухомої частини відбувається у режимі реального часу і за траєкторією, що відповідає руху кришки в реальній платформі.



Рисунок 3.2 – Вигляд моделі платформи «Скорпіон» у сцені Unity для додатку ДР із відображенням інтерактивної панелі для взаємодії користувача із об'єктом

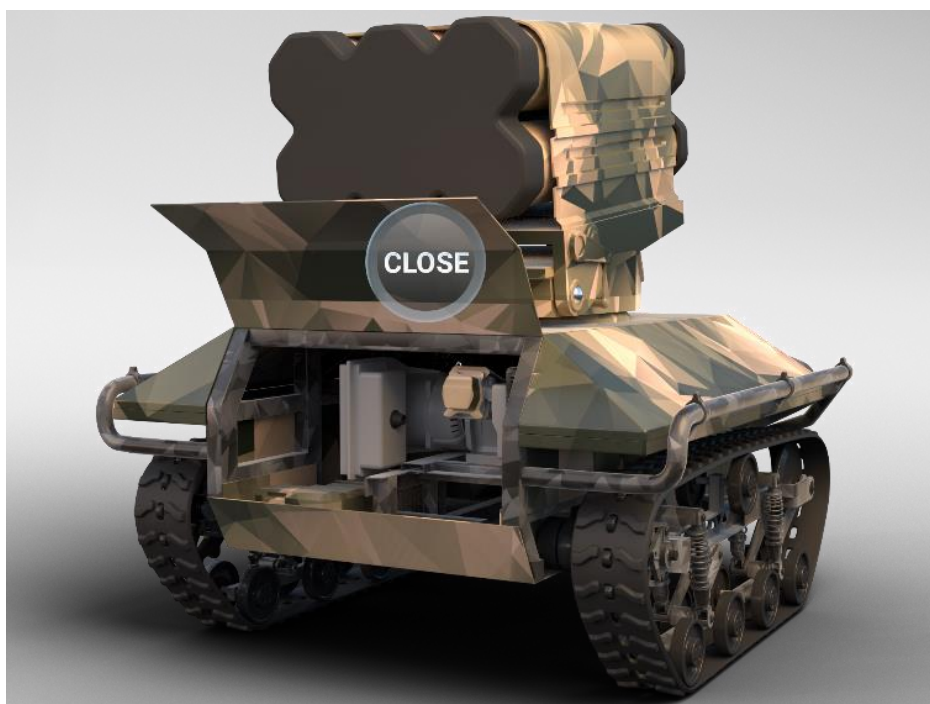


Рисунок 3.3 – Вигляд моделі платформи «Скорпіон» після натискання інтерактивної кнопки для взаємодії із об'єктом

Створення додатку ДР було реалізовано у графічному ігровому рушії Unity, оскільки він в повній мірі задовольняє вимогам щодо створення додатків для мобільних пристроїв на операційних системах Android та iOS, на яких планується демонстрація розробленого додатку ДР.

Висока реалістичність була досягнута рядом кроків на етапі створення 3D-моделі платформи «Скорпіон» та відтворення сцени в ігровому рушії Unity з її демонстрацією в додатку ДР. Перелічимо основні рекомендації.

1) Детальне пропрацювання елементів конструкції завдяки створенню не тільки силуетного конструктиву, але і середніх та малих форм, дозволяє відображати велику кількість інформації, якою володіє реальний об'єкт.

2) Створення UV-розгортки з великою текселерацією (відношення розмірів текстури в пікселях до габаритів 3D-моделі в сцені) забезпечує створення текстур із великою щільністю пікселей, що покращує деталізацію моделі навіть на малій відстані від моделі.

3) Створення фізично коректних текстур з метою відображення матеріалів таким чином, щоб вони виглядали максимально наближеними до матеріалів об'єктів у реальному світі.

4) Запікання текстурних карт має свої особливості. Так, карта нормалей Normal Map надає додаткову інформацію про деталі, які було вирішено перенести з геометричної моделі на карту нормалей, яка може імітувати деякі деталі. Це зменшує час, необхідний для розрахунку геометрії, і прискорює процес рендерингу у реальному часі. Також важливим є створення карти оточуючих перекриттів Ambient Occlusion, що відтворює непрямі тіні від джерел освітлення, що є занадто дрібними для детального відображення.

5) Налаштування світла і тіней, а також створення карти глобального освітлення Global Illumination необхідно здійснювати у відповідності із реальним місцем, де буде відображатися об'єкт. Функція, що реалізує ці потреби, реалізована за допомогою ARCore та ARKit. Це дозволить підвищити

реалістичність відображення об'єкта доповненої реальності, оскільки він буде відкидати тінь у тому ж напрямку, що і оточуючі його об'єкти реального світу.

Створення подібних додатків ДР є актуальним для підприємств, що розробляють складну та великогабаритну продукцію, оскільки дозволяють її демонстрацію без використання реальних продуктів виробництва.

3.2 Алгоритм побудови 3D-моделі та створення додатку ДР

Створення 3D моделі в системі Modo починається із побудови основного силуету об'єкту, що проєктується. Упродовж моделювання модель набуває середніх та малих форм що ускладнює та деталізує її.

Кожна з частин об'єкту складається з деталей та складальних одиниць, що моделюються з примітивних форм та ускладнюються на наступних ітераціях за допомогою безлічі інструментів та булевих операцій, що надають їм більш реальної форми та деталізації.

До процесу моделювання входить створення низькополігональної та високополігональної форми. Низькополігональна модель створюється для того, щоб знизити навантаження на процесор мобільного пристрою при розрахунку моделі, а високополігональна модель потрібна для збереження інформації багатьох несилуетоутворюючих деталей на карту нормалей. Цей процес називається запіканням текстур. Карта нормалей являє собою текстуру, що імітує деталі у тих місцях, де їх немає на низькополігональній моделі, але є на високополігональній моделі. Це відбувається завдяки тому, що карта нормалей відбиває світло у тому напрямку, куди потрібно, згідно з інформацією, що зберігається у карті нормалей, доповнюючи нормалі тривимірної моделі.

Щоб створити будь-які текстури, у тому числі карту нормалей, треба зробити розгортку моделі, інакше кажучи, представити тривимірну модель у двовимірній площині. Цей процес називається UV розгортка, де UV означає

координати, замість яких більш звично бачити X та Y, але вони вже зайняті у програмах тривимірного моделювання.

Тривимірна модель розгортається за певними правилами. Кожен елемент моделі розділяється на частини таким чином, щоб вони займали на площині квадратної форми менше місця. Усі кути на тривимірній моделі, що рівні 90° та більше, повинні бути розділені, щоб уникнути артефактів (спотворень) при запіканні деяких карт, у тому числі карти нормалей. При розгортці можна робити деякі припущення для спрощення та створення більш щільної UV розгортки, наприклад, розгорнути кільцеву форму у пряму лінію. Це в незначній мірі розтягне розгорнуте кільце, але ніяк не буде заважати створювати текстури, та не спотворить зовнішній вид фінальної моделі з текстурами.

Після виконання розгортки моделі її слід щільно запакувати у відносний квадрат. Для цього слід визначити роздільну здатність текстури, яка буде накладатися на розгортку. Це можна зробити за допомогою функції Texel density (щільність текселю, де тексель – це мінімальна одиниця текстури тривимірного об'єкту, піксель текстури). Наприклад, максимальна протяжність нашої моделі один метр, і нам необхідно, щоб на кожен сантиметр цієї моделі приходилось не менше 12 пікселів текстури, а очікувана роздільна здатність текстури становила 2048x2048. Після задання цих параметрів елементи UV розгортки змінять свій розмір. Якщо елементи неможливо розташувати у відносному квадраті, треба збільшувати розміри текстури (наприклад до 4096x4096), а якщо це можливо, то можна залишити як є або спробувати зменшити розмір текстури, що знизить навантаження на мобільний пристрій.

Також при пакуванні слід залишати простір між елементами розгортки так, щоб пікселі текстури, що відносяться до одного елемента не накладались на пікселі поруч розташованих елементів.

Коли UV розгортка вже запакована, слід розділити модель на різні шари таким чином, щоб елементи моделі, котрі знаходяться близько один від одного, були на різних шарах. Це потрібно для того, щоб при запіканні карт нормалей, які

будуть зачікатися також у окремих шарах, інформація з деталей, що знаходяться поруч, не перенеслась на інший об'єкт. Таким чином, ми отримуємо дві групи об'єктів – групу з низькополігональною моделлю та високополігональною, які далі переносимо у програму, в якій буде відбуватися зачікання. Для цього було вирішено застосувати програму Marmoset Toolbag – інструмент рендерингу у реальному часі, створення та зачікання текстур.

Перед експортом моделі слід впевнитися, що подальших змін у 3D-модель та UV розгортку вноситись не буде. Після цього треба повністю тріангулювати модель та впевнитися, що тріангуляція не внесла змін до форми моделі. Якщо модель не тріангулювати, то інша програма, до якої буде переноситись модель, виконає перерахунок автоматично, та з великою імовірністю змінить нормалі площин моделі, що призведе до неправильного відображення карти нормалей на початковій моделі та на подальших експортованих моделях.

У Marmoset Toolbag створюється головна група зачікання, та підгрупи, у які переносяться наші низькополігональна та високополігональна моделі, що розділені на шари. Далі відбувається налаштування деяких параметрів, щоб досягти задовільного результату. До цих параметрів належать: роздільна здатність текстури, кількість біт на канал та кількість вибірок (чим вища роздільна здатність та більша кількість вибірок, тим краща якість, але довше проходить процес зачікання). Також слід налаштувати відстань зачікання текстури: якщо вона буде надто великою, це може викривити карту, що зачікається, якщо низькою - деяка інформація може не перенестись на карту, тому потрібно шукати відстань, яка буде задовільною. Саме тому було обрано Marmoset Toolbag, бо в ньому після першого зачікання є можливість налаштовувати дистанцію зачікання та бачити зміни у реальному часі.

Також у Marmoset Toolbag слід запекти ще одну текстуру, яка називається Ambient Occlusion. Вона зачікає світлову оклюзію від високополігональної моделі та використовується в якості маски при текстуруванні. Вона може бути корисною при створенні ефектів пилу та бруду.

Коли є готова модель з UV розгорткою та запеченими картами Normal та Ambient occlusion, можна переходити до етапу текстуровання. Для цього було вирішено використовувати програму Substance Painter, у яку імпортується модель з картами, що були запечені.

У інтерфейсі Substance Painter перше, що можна побачити – це 2 вікна, у яких відображається тривимірна модель та UV розгортка, одне з вікон можна відключити для збільшення площини відображення іншого вікна на моніторі. Далі йде бібліотека матеріалів та інструментів, що будуть використовуватися при текстурованні, а також панель із шарами, на яких відображаються матеріали, що задіяні у проєкті для створення текстури.

Перед початком текстуровання слід налаштувати проєкт. Перш за все, необхідно підключити до каналів Normal та Ambient Occlusion відповідні карти, що були запечені заздалегідь, а також запекти прямо у Substance Painter інші карти, що відсутні. Це необхідно для правильного відображення заздалегідь створених смарт-матеріалів та тих матеріалів, що будуть створені самостійно впродовж проєкту з використанням смарт-масок та фільтрів. Перед запіканням інших карт слід зазначити їх роздільну здатність. Бажано, щоб вона була такою ж, як і на картах Normal та Ambient Occlusion. Якщо модель розділена на декілька об'єктів, то на кожен з цих об'єктів треба додати та запекти необхідні текстури. У кожного об'єкту є свої параметри, які можуть відрізнятися від параметрів інших об'єктів, наприклад, роздільна здатність текстур. Роздільну здатність текстур конкретного об'єкту можна змінити у будь-який момент, наприклад, при її зменшенні знизиться навантаження на ПК, що поліпшить роботу у дуже складних сценах. Перед експортом моделі роздільну здатність не обов'язково повертати до початкових параметрів, це можна зробити у вікні експорту моделі, де можна буде обрати інші налаштування для текстур, що імпортуються.

Після того, як всі налаштування здійснено, можна починати створювати текстуру, та бачити її вигляд на моделі у реальному часі. Для початку створення текстур у Substance Painter є достатньо велика бібліотека зі значною кількістю

різноманітних матеріалів. Їх можна брати за основу та змінювати їх параметри для досягнення бажаного результату. Можна змінювати такі параметри, як колір, ступінь металізації та відбиття, прозорість, емісію, карту нормалей, карту висот та інші.

Після створення базового шару з обраним матеріалом можна створювати наступні шари, де можуть бути відтворені подряпини та потертості на ребрах деталей, бруд та пил, які осідають на поверхнях як у реальному світі, та інше. Це реалізується за допомогою смарт-масок, що працюють завдяки інформації, що зберігається на запечених картах.

Коли вирішено, що текстура є задовільною, можна переходити до експорту її складових, які діляться на певні текстури в залежності від того, в яку подальшу програму їх буде імпортовано. Текстури будуть імпортуватися в ігровий рушій Unity, тому список імпортованих текстур буде стандартним. До списку входять такі текстури, як:

- Base Color – кольорова текстура (RGB), яка призначає основний колір моделі;
- Metallic – текстура з градацією від білого до чорного (grayscale), вказує, які частини повинні бути металевими;
- Roughness – grayscale текстура, яка вказує на шорсткість об'єкту, що може бути більш блискучим або більш матовим;
- Normal – карта нормалей;
- Ambient Occlusion – карта оточуючих перекриттів, що відтворює непрямі тіні від джерел освітлення;
- Transparent – карта, що вказує, де повинна бути прозорість;
- Emission – карта, що допомагає відтворити освітлення від частини об'єкту.

Тепер переходимо до створення проєкту в ігровому рушії Unity. Для цього треба відкрити Unity Hub та натиснути кнопку “NEW”, у наступному вікні нам

потрібно вибрати один із варіантів – це може бути або створення проєкту 3D, або Universal Render Pipeline (URP), інші варіанти не задовольняють вимогам. Їхня різниця у тому, що URP більш гнучкий при налаштуванні рівня графіки.

У створеному проєкті слід створити папки Textures, Model та Materials, та перенести у ці папки створену модель та текстури. У папці Materials слід створити матеріали, у канали яких будуть додані відповідні текстури. Потім ці матеріали накладаються на модель.

Далі переходимо до створення частини ДР. Для цього треба додати до проєкту необхідні плагіни, які можна знайти та скачати через Unity Package Manager. До цих плагінів відносяться XR Plugin Management, ARCore XR Plugin, XR Interaction Toolkit та AR Foundation.

Наступним кроком необхідно налаштувати проєкт для збірки під операційну систему Android, включаючи вимоги плагінів для ДР. Для цього переходимо до вікна Project Settings, що знаходиться у меню Edit, та у вкладці Player змінюємо наступні параметри:

- Graphics APIs – залишити OpenGL ES3 та видалити Vulkan API;
- Multithreaded Rendering – відключити (бо він може призвести до помилок);
- Minimum API Level – встановити на Android 7.0 “Nougat” (API level 24).

Далі у вкладці XR Plug-in Manager встановити позначку поруч з ARCore.

Після цього переходимо до вікна Build Settings у меню File та змінюємо платформу на Android. На цьому налаштування завершені.

У вікні ієрархії слід видалити базову камеру, вона використовуватись не буде. Додаємо до ієрархії наступні компоненти:

- AR Session Origin – батьківський об’єкт для налаштування ДР, містить AR Camera, та створює інші GameObject’s з виявлених об’єктів, таких як площини та хмари точок;

- AR session – керує життєвим циклом та параметрами конфігурації для сеансу ДР;

- AR Default Plane – представляє площини, виявлені пристроєм ДР.

AR Default Plane перенесемо з ієрархії до папки Prefabs, яку необхідно створити. Таким чином, ми створимо збірку з цього об'єкту. AR Default Plane у ієрархії вже не потрібен, тому видаляємо його звідти.

Далі у AR Session Origin слід додати компонент AR Plane Manager та перенести до нього у пункт Plane Prefab створену нами збірку AR Default Plane. Наступним кроком додаємо інші компоненти до об'єктів:

- AR Session Origin: AR Raycast Manager – перевірка потрапляння променя на площину чи хмару точок, що відтворені у ДР; AR Environment Probe Manager – захоплення зображення реального середовища та створення кубічної карти, яка дозволяє створювати реалістичне відображення та освітлення на віртуальних об'єктах;

- AR Camera: AR Gesture Interactor – перетворює доторкання до екрану у жести;

- AR Session: XR Interaction Manager – компонент, який оброблює взаємодію між interactors та interactable у сцені; AR Placement Interactable – об'єкт, з котрим користувач може взаємодіяти;

- Direction light: HDR Light Estimation – компонент, що детально та реалістично оцінює освітлення реального оточення, його напрям, дзеркальні відблиски та відбиття.

Далі слід перенести створену модель у вікно ієрархії сцени, таким чином вона відобразиться у вікні сцени. У компоненти моделі слід додати:

- AR Selection Interactable – компонент, що дає змогу виділити об'єкт;
- AR Scale Interactable – компонент, що дозволяє змінювати масштаб виділеного об'єкту;

- AR Rotation Interactable – компонент, що дозволяє обертати виділений об'єкт;
- AR Translation Interactable – компонент, що дозволяє переміщувати виділений об'єкт.

До компоненту AR Selection Interactable у пункт Selection Visualization слід додати копію моделі з матеріалом виразного кольору та без текстур, для візуалізації виділеної моделі.

Коли до моделі додані необхідні компоненти, модель слід перенести з ієрархії до папки Prefab для створення збірки, та потім видалити модель з ієрархії. Створену збірку моделі з підключеними компонентами необхідно додати до компоненту AR Placement Interactable у пункт Placement Prefab, що знаходиться у об'єкті AR Session.

Після усіх пунктів, що зазначені вище, можна переходити до складання проєкту, для цього переходимо до вікна Build Settings та натискаємо кнопку Build. Після виконання складання ми отримуємо додаток, що можна встановити на смартфон. У цьому додатку реалізовано визначення площин у реальному оточуючому середовищі та створення віртуальних площин для розміщення на них об'єкту, який можна переміщувати, обертати та масштабувати. Також реалізовано відбиття, освітлення та його напрям відповідно до реального оточуючого середовища.

3.3 Практичне застосування запропонованого алгоритму для створення додатку ДР

Відповідно до запропонованого алгоритму у пункті 3.2 виконуємо створення моделі роботизованого комплексу «Скорпіон» для подальшої демонстрації її у додатку ДР.

Модель платформи Скорпіон можна поділити на декілька складових частин:

- корпус (кожух корпусу, рама жорсткості, фари та відкидні кришки);

- шасі (основні елементи - рама, катки, амортизатори, гусениці);
- турель (поворотна конструкція з пусковою установкою).

У програмі Modo за допомогою інструментів моделювання створюємо низькополігональну модель. Далі на основі низькополігональної моделі створюємо високopolігональну модель з деталізацією малих форм, досягаючи результату, що робить модель більш реалістичною. Низькополігональна та високopolігональна модель зображена на рис. 3.4.

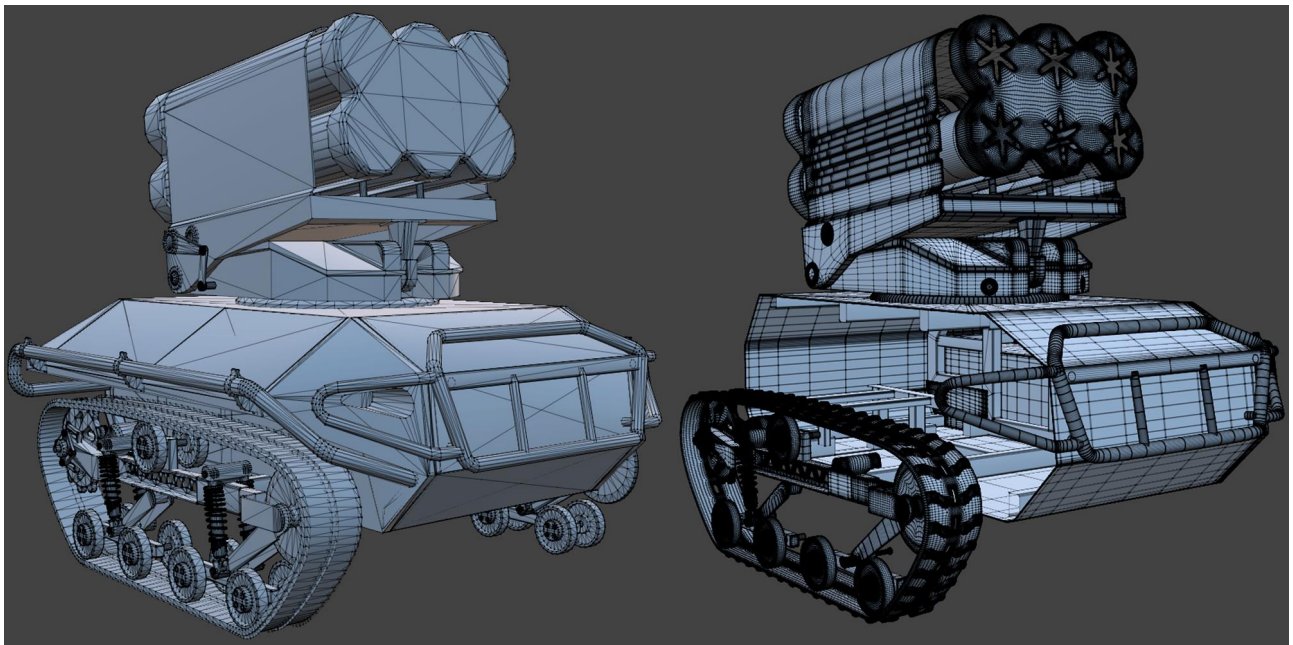


Рисунок 3.4 – Зображення низькополігональної та високopolігональної моделі

На рис. 3.4 можна побачити, що на високopolігональній моделі бракує багатьох силуетоутворюючих деталей. Це зроблено тому, що відсутні деталі є симетричними або однаковими з іншими, а тому інформація, що буде запікатися на карти Normal та Ambient occlusion, буде ідентичною. Тому було вирішено видалити деякі частини моделі та зробити UV розгортку таким чином, щоб симетричні та однакові об'єкти брали інформацію від дублюючих об'єктів. Це дозволяє зробити розгортку більш щільною. На рис. 3.5 представлено UV

розгортку шасі роботизованої платформи «Скорпіон» з елементами розгорнутих об'єктів. Також на рис. 3.5 можна побачити, що симетричні та однакові елементи розгорнуті та виглядають як дублюючі елементи, але вони зсунуті на одиницю або інше ціле число UV розгортки. Це зроблено для того, щоб при запіканні не отримати спотворень, які можуть з'явитися, якщо однакові елементи будуть знаходитись один на одному у єдиному квадраті UV розгортки, але при цьому інформація, що береться з текстур, буде дублюватись на кожен квадрат, де є елемент UV розгортки.

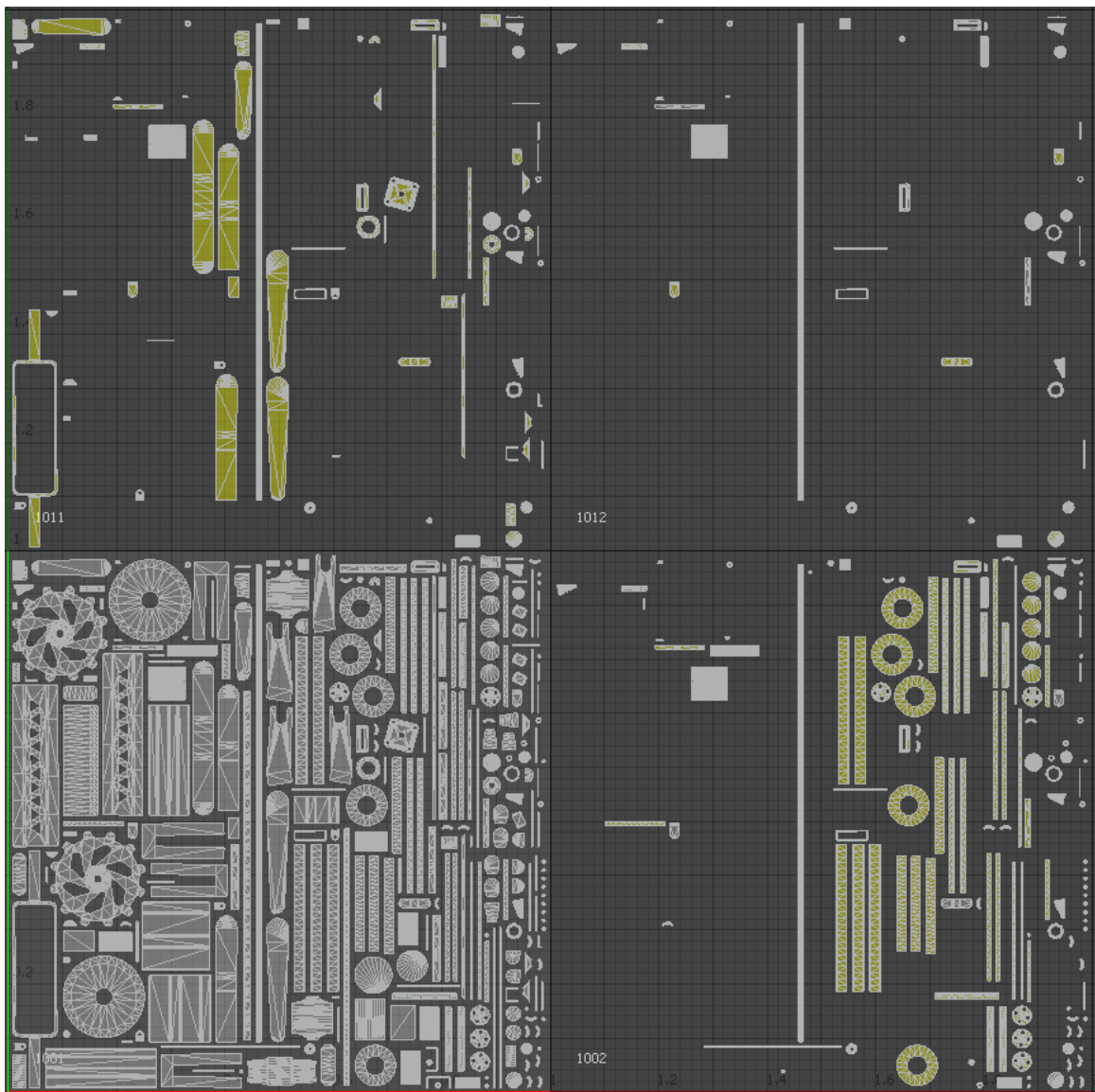


Рисунок 3.5 – Зображення UV розгортки шасі роботизованої платформи «Скорпіон»

Таким чином зроблено модель роботизованої платформи «Скорпіон», яку було вирішено поділити на п'ять частин, для яких було створено UV розгортки. Далі отримані п'ять частин було поділено ще на декілька частин таким чином, щоб об'єкти не перетинались та не знаходились дуже близько один від одного. Інакше це призведе до спотворень карти нормалі у цих місцях.

Далі отримані частини моделі слід іменувати та перемістити у групи. Таким чином буде отримано групи в яких зберігаються підгрупи з частинами вискогіполігональною та низькополігональною моделлю. Це допоможе краще орієнтуватися у отриманій ієрархії.

Після цього отримана модель імпортується у Marmoset Toolbag для запікання карт Normal та Ambient Occlusion. У Marmoset Toolbag створюються групи запічки для кожної з основних частин моделі, та підгрупи для частин що перетинаються, або знаходяться близько один від одного. У цих підгрупах розміщуються низькополігональна та вискогіполігональна модель. Після налаштування дистанції запікання та вибору якості та роздільної здатності текстури натискаємо на кнопку bake та отримаємо результат запікання – карти Normal та Ambient Occlusion. Представлення моделі роботизованої платформи «Скорпіон» у Marmoset Toolbag наведено на рис. 3.6.

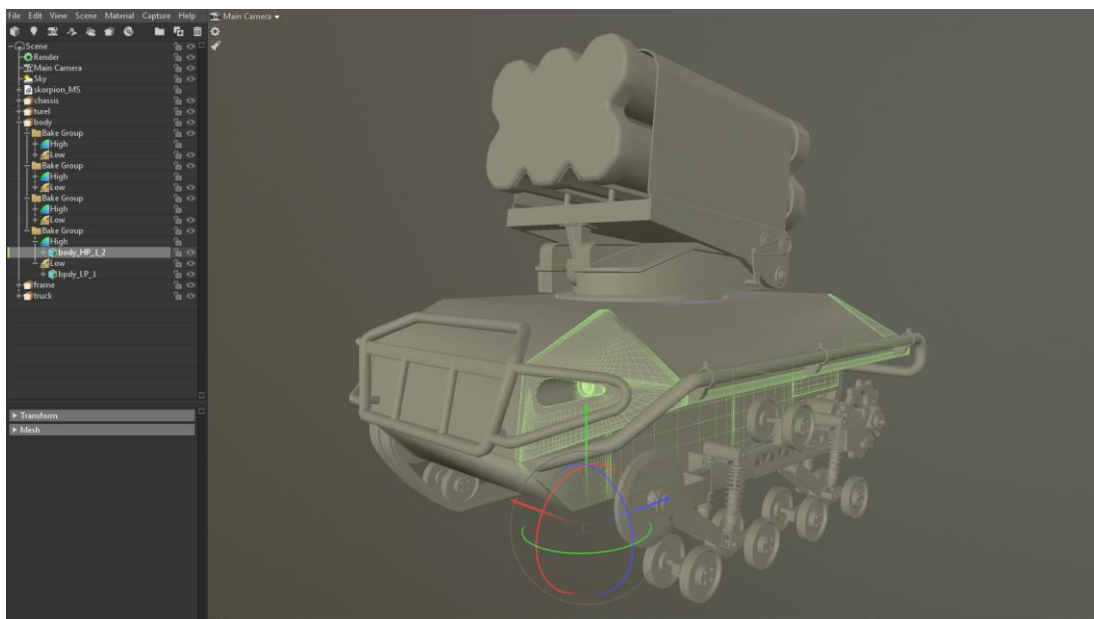


Рисунок 3.6 – Інтерфейс програми Marmoset Toolbag

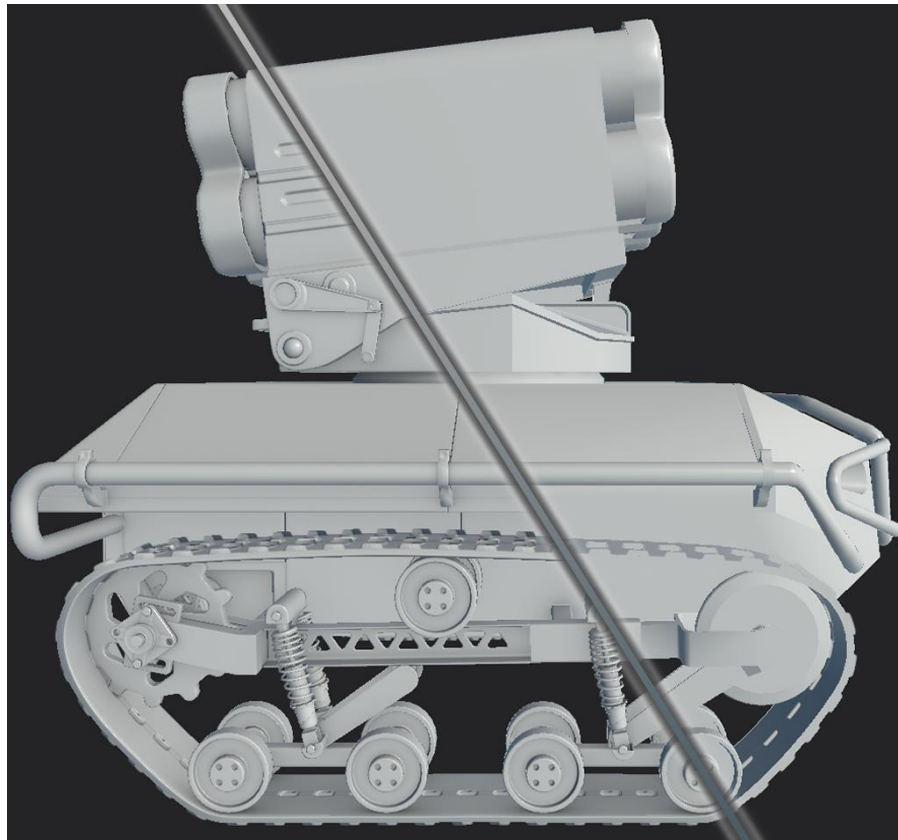


Рисунок 3.7 – Модель з відображенням карт Normal та Ambient Occlusion і без відображення

Наступним кроком переходимо до текстуровання у програмі Substance Painter, для цього імпортуємо до неї модель і отримані карти Normal та Ambient Occlusion. Карти підключаємо до відповідних каналів та одразу бачимо результат їх дії (модель з картами Normal та Ambient Occlusion і без них можна побачити на рис. 3.7).

Далі запікаємо відсутні карти з роздільною здатністю 2048x2048, так само як і на тих картах, що вже є. Створюємо текстури для моделі до стану коли вони будуть задовольняти зовнішнім виглядом. На початку текстуровання було обрано та використано метал у якості основного матеріалу, поверх якого накладався інший матеріал, який імітував фарбу, та у цей матеріал було додано текстуру у вигляді камуфляжу. Далі було використано смарт-маску для другого матеріалу, яка видаляє ділянки з фарбою, що розташовувалася на кутах геометричних форм,

створюючи при цьому ефект стертої, подряпаної та збитої фарби. Параметрами смарт-маски можна відрегулювати перераховані ефекти. Більшість елементів моделі складається з металевих частин, але є і не металеві, наприклад, гусениці. Вони не мають металевої основи, а виконані із гумового матеріалу. Для підвищення рівня достовірності моделі було додано бруд за допомогою смарт-маски, яка визначає розташування верху і низу у моделі та розпізнає місця, де потрібно створити більше або менше бруду. Також за допомогою смарт-маски на усю модель було додано шар пилу. На етапах текстурзування з використанням смарт-масок, що генерують різноманітні ефекти, треба відстежувати, щоб текстури на моделі не виглядали згенерованими, а тому слід відслідковувати ці етапи та замальовувати за допомогою різноманітних пензлів згенеровані ділянки таким чином, щоб уся текстура здавалась унікальною та неповторною. Зовнішній вигляд моделі з текстурами представлений на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Модель роботизованої платформи «Скорпіон» з текстурами

Після отримання задовільного результату текстури експортуються, та разом з моделлю імпортуються до ігрового рушія Unity.

У ігровому рушії було вирішено створювати проєкт з URP, що надає можливість покращити рівень графіки завдяки плагіну Post Processing, який може оброблювати зображення з камери завдяки різноманітним фільтрам, що допомагають гнучко налаштувати фінальний вид зображення. Наступним кроком створюємо матеріали, у канали яких підключаємо відповідні текстури, потім готові матеріали додаємо до моделі. Далі відповідно до пункту 3.2 налаштовуємо проєкт для побудови додатку під операційну систему Android та створюємо частину проєкту, що реалізує можливості доповненої реальності.

Також було вирішено реалізувати можливість не тільки переміщувати, масштабувати та обертати модель, а також взаємодіяти з деякими елементами моделі. Для цього було створено анімації для відкриття і закриття корпусних кришок та підіймання і опускання турелі. Керується цей процес завдяки скрипту, що за допомогою функції Raycast випускає промінь із центру камери та розпізнає об'єкти, до яких цей промінь доторкнувся. Скрипт має умову, яка дозволяє взаємодіяти тільки з тими об'єктами, які мають спеціальний тег. Для того, щоб користувач міг зрозуміти, коли ця умова виконується, у центрі екрану було додано приціл у виді білої крапки, що змінює свій колір на червоний, коли промінь доторкається до об'єктів зі спеціальним тегом. Коли приціл, наведений на об'єкт, стає червоним, треба натиснути на будь-яку частину екрану смартфона, після чого буде програна анімація, створена для цього об'єкту.

Після завершення усіх налаштувань проєкт складається у додаток для мобільного пристрою. Його роботу представлено на рис. 3.9 (а-в).

Результати дипломної роботи були впроваджені в практичну діяльність підприємства ТОВ «Інфоком ЛТД» для демонстрації продукції підприємства на різних заходах та в дистанційному режимі (Додаток Б).



а

б



в

а – модель встановлена на розпізнану площину; б – взаємодія з об'єктом за допомогою скрипта з функцією Raycast; в – вигляд моделі у масштабі 1:1

Рисунок 3.9 – Демонстрація роботи розробленого додатку ДР

3.4 Висновки та рекомендації щодо розробки додатків ДР

Технологія доповненої реальності змінила звичне представлення додатків для мобільних пристроїв. ДР додає цифрові зображення та інформації до зображення об'єктів реального світу. Цей крок виходить за межі віртуальної реальності, яка намагається імітувати реальність. Додатки ДР розростаються з надзвичайно швидкими темпами, оскільки вони надають бізнесу додаткових переваг, що приваблює клієнтів.

Значна частина продукції що виробляється на промислових підприємствах має значні габарити, що ускладнює її транспортування до виставкових залів до вони демонструються. Додатково з'являються можливості для розширення ринків продажу за рахунок територіально віддалених потенційних клієнтів та клієнтів, що хочуть заздалегідь ознайомитись із продукцією та її виглядом у середовищі, де вони бажають її розмістити та використовувати.

Створення реалістичних зображень об'єктів досягається дотриманням ряду рекомендацій, що описані вище та представлені у вигляді блок-схеми алгоритму, наведеного у Додатку А.

Наведено результати створення додатку ДР для багатофункціональної платформи «Скорпіон». Особливістю розробленого додатка ДР є реалістичне відображення об'єкта у оточуючому середовищі, в якій знаходиться користувач. Це досягається завдяки функціоналу платформи ARCore, використаного у ігровому рушії Unity, що автоматично розраховує освітлення оточуючого середовища, його напрям, а також віддзеркалення цього середовища на віртуальному об'єкті. Також можливість інтерактивної взаємодії із окремими частинами об'єкта за допомогою скрипту, що розпізнає ці частини та програє їх анімацію за необхідністю.

Можливість інтерактивної взаємодії дозволяє користувачу переглянути об'єкт не тільки зовні, а і приховані його елементи під бажаним кутом. Але додавання інтерактивних елементів призводить до збільшення часу розробки

додатку і в кожному конкретному випадку повинно бути обґрунтовано доцільністю створення цієї інтерактивності. Так, додаток призначений для представлення пристрою в рекламних цілях, матиме функціонал, що демонструє тільки основні можливості пристрою, у порівнянні з додатком, що дозволить замовнику взаємодіяти із об'єктом відповідно до його технічного завдання.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

Розроблена дипломна робота «Розробка методики створення 3D-моделей пристроїв та їх інтеграція в оточуюче середовище за допомогою доповненої реальності» присвячена розробці додатка доповненої реальності із можливістю інтерактивної взаємодії з об'єктом.

4.1 Визначення трудомісткості та тривалості

Весь комплекс створення додатку доповненої реальності можна розділити на етапи. Для кожного етапу вказуються трудомісткість, кількість виконавців і тривалість робіт. У розробці додатку ДР приймають участь програміст і 3D-дизайнер протягом 42 календарних днів. Розробка починається сьомого вересня і повинна бути виконана до дванадцятого жовтня 2020 року. Тривалість робіт визначають за формулою (4.1):

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R}, \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ - тривалість циклу, днів;

Q - трудомісткість, людино-днів;

R - кількість виконавців, чол.

$$T_{\text{ц}} = \frac{36}{2} = 18 \text{ (днів)}$$

Отримана інформація зведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Завдання та обов'язки зі створення додатка ДР

Найменування роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	людино- дні	% до підсумка		
1. Отримання технічного завдання	2	4,76	Програміст 3D-дизайнер	1 1
2. Огляд реального об'єкта	2	4,76	Програміст 3D-дизайнер	1 1
3. Огляд літературних джерел	8	19,06	Програміст 3D-дизайнер	4 4
4. Розробка 3D-моделей	14	33,33	3D-дизайнер	14
5. Розробка програмного забезпечення	14	33,33	Програміст	14
6. Тестування додатка ДР	2	4,76	Програміст	2
Разом	42	100		36

За даними табл. 4.1 складається зведений стрічковий графік планування розробки додатка ДР, який представляє собою таблицю, в першому стовпці якої розміщені всі види робіт у порядку збільшення термінів початку їх виконання, а в інших стовпцях - календарний період виконання. Даний графік наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Зведений стрічковий графік планування моделювання

Найменування робіт	Календарний період, дні					
	07.09.20	08.09.20	09.09.20- 12.09.20	13.09.20- 26.09.20	27.09.20- 10.10.20	11.10.20- 11.10.20
1. Отримання технічного завдання						
2. Огляд реального об'єкта						
3. Огляд літературних джерел						
4. Розробка 3D-моделей						
5. Розробка програмного забезпечення						
6. Тестування програмного забезпечення						



- 3D-дизайнер



- Програміст

4.2 Визначення витрат на моделювання елементів

Для визначення витрат на моделювання елементів складається калькуляція вартісної вартості робіт, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок (ЄСВ);
- витрати на спеціальне обладнання;
- матеріали і комплектуючі вироби;
- накладні витрати;
- податки.

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників, зайнятих в розробку додатка. Розрахунок зарплати ведеться на підставі даних щодо трудомісткості, представлених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, чол.	Місячний оклад, грн.	Кількість робочих місяців	Сума ЗП, грн.
Програміст	1	10000	1	10000
3D-дизайнер	1	10000	0.9	9000
Разом	2			19000

4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати працівників і розраховують за формулою (4.2):

$$ЗП_{дон} = ЗП_{осн} \cdot 0,1. \quad (4.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу (4.2), отримуємо:

$$ЗП_{\text{доп}} = 19000 \cdot 0,1 = 1900 \text{ грн}$$

4.2.3 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Вони становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати:

$$ОТ = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot 0,22 \quad (4.3)$$

$$ОТ = (19000 + 1900) \cdot 0,22 = 4598 \text{ грн.}$$

4.2.4 Визначення затрат на матеріали

У цю статтю включають вартість основних і допоміжних матеріалів, напівфабрикатів, що купуються, і комплектуючих виробів. Транспортно-заготовчі витрати приймають рівними 3-10% від вартості матеріалів. Використовується 1 найменування матеріалів: флеш-накопичувач – 250 грн.

Витрати на комплектуючі розраховують за формулою (4.4):

$$M = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{\text{м.з.}}) - C_{\text{іо}} \cdot N_{\text{іо}}), \quad (4.4)$$

де M - витрати на покупні напівфабрикати і комплектуючі вироби, грн.;

$K_{\text{м.з.}}$ - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати;

C_i - ціна i -го найменування напівфабрикату і комплектуючого, грн.;

N_i - потреба в i -му напівфабрикаті і комплектуючому;

$C_{\text{іо}}$ - вартість зворотних відходів i -го найменування комплектуючого, грн.;

$N_{\text{іо}}$ - кількість зворотних відходів i -го найменування;

n - кількість найменувань напівфабрикатів і комплектуючих.

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0; K_{m.з.} = 0,05;$$

$$M = (1 + 0,05) \cdot 250 = 262,5 \text{ грн.}$$

Разом, витрати на матеріали становлять 262,5 грн.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

У цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження нестандартного обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу ЕОМ для 3D-моделювання та програмування. Для цього необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування», виходячи з якого визначається вартість однієї машино-години роботи ПК, після множення якої на машинний час, витрачений на 3D-моделювання та програмування, отримаємо витрати на оплату машинного часу. У табл. 4.4 наведене обладнання, яке використовується в роботі.

Таблиця 4.4 – Спеціальне обладнання

Обладнання	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Загальна вартість, грн.
Acer Swift 3 SF314-42-R515	шт.	2	19600	39200
Стіл комп'ютерний	шт.	2	1000	2000
Крісло комп'ютерне	шт.	2	1500	3000
Смартфон	шт.	1	13000	13000
Транспортно-підготовчі роботи 5%				2860
Разом				60060

Амортизаційні відрахування визначають за формулою (4.5):

$$A = \Phi_{\phi} \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.5)$$

де Φ_{ϕ} - балансова вартість обчислювальної техніки, грн;

H_a - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки, для ПК 50%. Щодо розрахунку витрат з амортизації, варто зазначити, що з 23.05.20 р. стартували зміни до пп. 14.1.138 Податкового кодексу, згідно з якими вартісний критерій для основних засобів змінено з 6000 грн на 20000 грн. Тож, ті матеріальні цінності, строк корисного використання яких – більше року, але вартість менша чи дорівнює 20000 грн, визнаються малоцінними необоротними матеріальними активами (далі – МНМА). Для них у пп. 138.3.3 ПК передбачено групу 11 «Малоцінні необоротні матеріальні активи», термін використання для яких не визначено. Отже, нарахування амортизації здійснюється за принципом 50/50 (при надходженні - 50% і 50% - при списанні) або ж 100% при надходженні.

Балансова вартість обчислювальної техніки становить 60060 грн.

Отримуємо:

$$A = 60060 \cdot 0,5 = 30030 \text{ грн.}$$

Статтю «Експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні комплектуючі:

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зв} \cdot K_{зм} \cdot C_e, \quad (4.6)$$

де N_n - номінальна потужність ЕОМ, кВт;

Φ_{ef} - ефективний фонд часу роботи ЕОМ, машино/год;

$K_{зв}$ - середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зм}$ - коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e - ціна одного кВт/год електроенергії, грн./(кВт-ч).

Номінальна потужність ЕОМ - 0,5 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ становить 1750 годин, протягом виконання НДР ефективний фонд часу роботи ЕОМ становитиме 288 годин (36 днів по 8 годин на добу). Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0,9 і 0,6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2,68 грн.

Отримуємо:

$$C_e = 0,5 \cdot 288 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 2,68 = 208,40 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою (4.7):

$$ЗП_{обсл} = \Phi ЗП_{г} \cdot (1 + K_{отч}) \cdot \frac{t_{обсл}}{\Phi_{эф.обсл}}, \quad (4.7)$$

де $\Phi ЗП_{г}$ - річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{отч}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування і в інші фонди;

$t_{обсл}$ - час протягом року, необхідне на технічне обслуговування ЕОМ, ч/рік;

$\Phi_{эф.обсл}$ - річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, ч/рік.

ПК обслуговує один системний адміністратор 1 раз на тиждень, що відповідає 5 обслуговуванням за період виконання НДР по одній годині на кожне обслуговування.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 5500 грн, а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 66000 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год / рік.

$$ЗП_{обсл} = 66000 \cdot (1 + 0,22) \cdot 5 / 1750 = 230,06 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% річних від балансової вартості обладнання:

$$(60060 \cdot 0.03) \cdot 36/365 = 177,71 \text{ грн}$$

Стаття «Інші витрати» приймається рівною п'яти відсоткам від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію обладнання. Сума всіх попередніх статей дорівнює 30646,17 грн, 5% від суми складають 1532,31 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Кошторис витрат на утримання і експлуатацію устаткування

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Амортизація обладнання	30030
Експлуатація обладнання (крім витрат на поточний ремонт)	208,40
Заробітна плата основна і додаткова обслуговуючих робітників з ЄСВ	230,06
Поточний ремонт обладнання	177,71
Інші витрати	1532,31
Разом	32178,48

Витрати на оплату машинного часу ЕОМ для 3D-модельовання і програмування визначаються за формулою (4.8):

$$C_{mo} = P_{екс} \cdot t_{mo}, \quad (4.8)$$

де C_{mo} - витрати на оплату машинного часу, грн.;

$P_{екс}$ - експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї цифрової ЕОМ, грн. / машино-год.;

t_{mo} - машинний час цифрової ЕОМ для написання і налагодження даного програмного продукту, машино-год.

Експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу використовуваної ЕОМ розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання та експлуатацію обладнання (ЕОМ)» (табл. 5.4) на річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ. Річний ефективний фонд часу роботи ЕОМ дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу рівні:

$$P_{екс} = 32178,48/1750 = 18,39 \text{ грн./машино-год}$$

ЕОМ експлуатується 42 днів в одну зміну, що становить в сумі 336 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{mo} = 18,39 \cdot 288 = 5296,32 \text{ грн.}$$

4.2.6 Інші прямі витрати

В інші прямі витрати включаються витрати на комерційне програмне забезпечення, яке використовується при розробці системи:

- дольове ПЗ, що використовується постійно при роботі ПК (Windows 10) - 5000 грн. без НДС;
- цільове ПЗ, що купується для даного конкретного завдання (Modo) – 3500 грн. без НДС.

$$S_{\text{дол.ПЗ}} = \frac{Ц_{\text{ПЗWindows}} \cdot T_{\text{КТС}}}{\Phi_{\text{еф.КТС}} \cdot T_{\text{с.ПЗ}}} \quad (4.9)$$

$$S_{\text{ціль.ПЗ}} = Ц_{\text{ПЗ A}}$$

де $S_{\text{дол.ПЗ}}$ - витрати на дольове ПЗ при моделюванні розробляється в розрахунку ПЗ, грн .;

$S_{\text{цїл.ПЗ}}$ - витрати на цїльове ПЗ, що купується виключно для моделювання в розрахунку ПЗ, грн .;

$\text{Ц}_{\text{ПЗ Windows}}$ - ціна ПЗ Windows (без ПДВ), грн;

$\text{Ц}_{\text{ПЗ A}}$ - ціна ПЗ Modo (без ПДВ), грн;

$T_{\text{КТС}}$ - машинний час КТС, необхідне користувачеві для моделювання моделі, машино-год / рік;

$\Phi_{\text{еф.ктс}}$ - річний ефективний фонд часу роботи КТС, машино-год / рік;

$T_{\text{с.ПЗ}}$ - термін служби дольової ПЗ, років.

$$S_{\text{доп.ПЗ}} = \frac{2 \cdot 5000 \cdot 365}{1800 \cdot 5} = 405,5 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{цїл.ПЗ}} = 3500 \text{ грн.}$$

$$S_{\Sigma} = 405,5 + 3500 = 3905,5 \text{ грн.}$$

4.2.7 Розрахунок загальновиробничих витрат

До загальновиробничих витрат відносяться витрати на загальне управління і загальногосподарські потреби (заробітна плата апарату управління, канцелярські витрати і т.д.), утримання та експлуатацію будівель. Накладні витрати включаються до вартості моделювання непрямым шляхом - у відсотках до основної заробітної плати розробників. В даному випадку накладні витрати становлять 40% до основної заробітної плати розробників, що складає 19000 грн.

Результати визначення витрат на розробку додатка ДР у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Калькуляція кошторисної вартості робіт з розробки додатку ДР

№	Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
1	Основна заробітна плата	19000	19,52
2	Додаткова заробітна плата	1900	1,95
3	ЄСВ	4598	4,72
4	Матеріали	262,5	0,27
5	Витрати на спец. Обладнання	60060	61,71
6	Інші прямі витрати	3905,5	4,01
7	Загальновиробничі витрати	7600	7,82
8	Разом (S_{np})	97326	100

4.3 Розрахунок техніко-економічної ефективності моделі

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюємо як пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і ін.

Результативність НДР визначається по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає планованому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР і визначається за формулою (4.10):

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (4.10)$$

де $K_{\text{НДР}}$ - рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР):

J^n - важливість роботи;

R - результативність роботи;

T - технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}}$ - витрати на проведення НДР, років:

n - показник використання результатів НДР:

$n = 0$ - результати НДР не використовуються;

$n = 1$ - результати НДР використовуються частково;

$n = 2$ - результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах (ДКР);

$n = 3$ - результати НДР можуть бути використані без проведення ДКР.

Для НДР, у яких $B_{\text{НДР}} > 30$ тис. грн. і $t_{\text{НДР}} \leq 2$ років, можна застосовувати такі значення оцінних факторів наведених в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Значення оцінних факторів

Оцінні фактори	J	R	T	C	t_{ϕ}	n
Припустимі значення	2...5	1...4	1...3	-	-	1...8
Прийняті значення	5	2	3	-	-	5

Згідно значень з таблиці оцінних факторів, отримуємо такий вираз:

$$K_{\text{ндр}} = \frac{5^5 \cdot 2 \cdot 3}{97326 \cdot 0,1} = 1.93$$

Таким чином, так як коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР $K_{НДР} \geq 1$, в нашому випадку рівний $K_{НДР} = 1,93$, то дослідницька робота вважається ефективною.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

У ході виконання магістерської роботи розробляються методики створення 3D-моделей пристроїв та їх інтеграція в оточуюче середовище за допомогою доповненої реальності.

При роботі постійно або періодично діють наступні небезпечні і шкідливі чинники:

- підвищені статичні навантаження користувачів ПК, які пов'язані з тривалим перебуванням в однотипній позі та повторних однотипних рухів кистями рук. Порухення правил ергономіки може призвести до ураження рухового апарату та тунельного синдрому;

- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нерационального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату;

- небезпеки, пов'язані електростатичним випромінюванням, що може призвести до загальних захворювань;

- можливість враження електричним струмом внаслідок порушень правил електробезпеки або несправності електроприладів, що може призвести до електричних травм або летального випадку;

- незадовільні параметри мікроклімату в приміщенні внаслідок не ефективної роботи апаратури для опалювання та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

- перевищення рівнів вібрації застарілого обладнання, що може призвести до сильної втоми, незначних змін функцій організму (порушення серцевої діяльності, нервової системи);

- недостатнє освітлення робочої зони внаслідок несправності освітлювальних приладів, що може призвести до погіршення зору;

- можливість загорянь внаслідок порушень правил пожежної безпеки, що

може призвести до пожежі. Ймовірними причинами виникнення пожежу можуть бути несправність електрообладнання (кабелів, розеток), короткі замикання внаслідок виходу з ладу чи експлуатації несправного електроустаткування (ПЕОМ, периферійних пристроїв), порушення правил протипожежної безпеки тощо.

– неправильні дії персоналу під час надзвичайних ситуацій внаслідок відсутності управління та паніки, що може призвести до травм та летальних наслідків.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом, відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення конструкторського бюро відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Заходи по забезпеченню електробезпеки розроблено у відповідності до ПУЕ та ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». За способом захисту людини від ураження електричним струмом – відеотермінали, ПК, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК відповідають першому класу захисту та заземлені [64].

Для забезпечення електробезпеки у конструкторському бюро використано наступні технічні заходи та засоби електробезпеки:

- ізоляція струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних частин;
- захисне відключення;
- ізоляція струмопровідних частин;
- захисне заземлення;
- блокування, занулення;
- захисне розділення електричних мереж;

- компенсація ємнісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів тощо [64].

У конструкторському бюро передбачено використання тільки трьохполюсних розеток, один з полюсів яких підключено до шини захисного заземлення. З цим полюсом електрично з'єднані металеві частини обчислювальних машин, які можуть виявитися під напругою.

Кожний блок живлення комп'ютера або периферійного пристрою має сітьовий фільтр. Конденсатори цього фільтру призначені для шунтування високочастотних завад живильної мережі на землю через дріт «земля» трьохполюсної вилки та розетки. Цей дріт може бути з'єднаний з заземлюючим контуром і з «нулем» силової мережі.

Відповідно до ПУЕ опір захисного заземлення у приміщенні конструкторського бюро не перевищує 4 Ом.

Електрична ізоляція забезпечується конструкціями пристроїв і способами їхнього підключення. Відповідно до ПУЕ в електроустановках до 1000 В мінімальне значення опору ізоляції силових і освітлювальних електропроводок на ділянці між суміжними запобіжниками або за останніми запобіжниками між будь-яким проведенням і землею становить не менш 0,5 МОм [65].

Накопичена статична електрика, зокрема, на екрані монітора притягує пил, бруд та інші частини присутні в повітрі. Причому електризується не тільки екран, а і повітря на робочому місці, а також одяг користувача, особливо якщо він з синтетичного та шерстяного матеріалу.

В якості заходів захисту запропоновано:

- кілька разів на протязі робочого дня мити руки і обличчя водою, а після закінчення роботи вимити руки й лице з милом;
- щоденно протирати екран монітора, клавіатуру, пристрій «миша» та, якщо є, приєднаний фільтр антистатичною серветкою;
- щоденно в приміщенні з ПК проводити вологе прибирання;
- установити нейтралізатори статичної електрики;

- підтримувати у приміщенні вологість повітря зазначену в нормативних документах;
- користувачу ПК бажано носити одяг з природних (льняних) волокон, в т.ч. і шкарпетки.

5.3 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Для забезпечення ергономічності робочого місця згідно НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [66], де зазначена заборона зашарашеності робочого місця, дотримання нормативів щодо площини робочого місця на одного працівника. Також вимоги до організації робочого місця зазначені в ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги» [67].

Оснащення офісних приміщень повинно бути виконано раціонально з точки зору ергономіки. Зручне та раціональне розташування робочих місць визначається відстань між ними. Згідно з вимогами, щодо виробничих приміщень площа одного робочого місця $\geq 6 \text{ м}^2$, а об'єм $\geq 20 \text{ м}^3$.

Конструкція робочого столу відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Висота робочої поверхні робочого столу з візуальним дисплейним терміналом регулюються в межах 680...800 мм, а ширина і глибина - забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина – 800...1000 мм).

Робочий стіл має простір для ніг заввишки не менше ніж 700 мм, завширшки не менше ніж 600 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги – ніж 650 мм.

Робочий стілець підйомно-поворотний, регульований за висотою, з кутом

нахилу сидіння та спинки. Висота спинки стільця становить 300 ± 20 мм, ширина - не менше ніж 380 мм, радіус кривизни горизонтальної площини – 400 мм. Кут нахилу спинки має регулюватися в межах 1...300 від вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння має регулюватися в межах 260...400 мм.

Для запобігання статистичного навантаження при користуванні ПК рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години. Синдром зап'ястного каналу, або тунельний синдром зап'ястя, який може бути наслідком хронічної травми, трапляється у людей внаслідок тривалої роботи з мишею: постійні напруга і здавлювання приводить до мікротравм, здавлювання нерва прилеглими оточуючими тканинами, через що виникає набряк.

Для запобігання тунельного синдрому потрібно в першу чергу правильно підібрати робоче місце та встановити комп'ютер. Потрібно мати спеціальний стіл та стілець, рекомендується мати можливість регулювати висоту робочої поверхні від 655 до 740 мм. Важливим є простір для ніг користувача: висота – не менше 600мм, ширина – не менше 600 мм, глибина на рівні коліна – не менше 400 мм, на рівні підлоги – не менше 600 мм.

Також рекомендується мати на комп'ютерному робочому місці спеціальний стілець, який: зможе змінювати свою висоту, має можливість регулювати уклін опори для спини (від 0 до 200) , може повертатися, має опір для ліктів.

Не погано також мати підставку для ніг. Висоту стільця треба підбирати таким чином, щоб забезпечити перпендикулярність лінії зору користувача екрану монітора [65].

Щоб тунельний синдром вас не турбував, потрібно дотримуватися кількох правил організації робочого місця:

- оптимальна висота клавіатури від підлоги – 65-75 см;
- наявність ергономічних і зручних особисто для вас миші і клавіатури;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2°

до 15°);

- наявність у клавіатури підставки для рук;
- наявність килимка для миші з захистом від тунельного синдрому (спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті);
- наявність стільця або крісла з підлокітниками.

При роботі з мишкою і клавіатурою також слід дотримуватися певних правил. Коли ви набираєте текст, рука повинна бути зігнута в лікті під прямим кутом (90°), а при роботі з мишкою стежте, щоб кисть була прямою і лежала на столі якнайдалі від краю. До речі, час роботи з комп'ютером слід обмежити до дійсно необхідного.

Щоб попередити тунельний синдром потрібно робити спеціальні вправи для кистей. Комплекс вправ потрібно повторювати приблизно кожні 45 хвилин, тривалість однієї вправи – 1-2 хв.

У конструкторському бюро, згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення» [68] передбачене природне та штучне освітлення. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 300 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C ;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90 % номінальної.

Розрахуємо систему загального рівномірного штучного освітлення в конструкторському бюро [69].

Приймаємо розміри приміщення довжина $A = 12$ м, ширина $B = 8$ м, висота $H = 3,9$ м. Висота робочої поверхні складає $h = 0,7$ м. Коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення: $\rho_c=70\%$; $\rho_{ст}=50\%$; $\rho_{п}=30\%$.

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018. Природне та штучне освітлення рівень нормованого загального освітлення в приміщенні нормуються як $E_n = 300$ лк.

Обираємо світильник типу ЛВП, призначений для приміщень висотою до 4,5 м. IP=54 – ступінь захисту світильника від пилу та бризок води, $L = 1,3$ – числове значення коефіцієнта світильника.

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. Приймаємо $k_z = 1,4$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), для люмінесцентних ламп низького тиску, як правило дорівнює $z = 1,1$.

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * [L / h]} = \frac{8}{(3,9 - 0,7) * 1,3} = 1,92 \approx 2 \text{ ряди світильників.}$$

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p},$$

де B – ширина приміщення;

N_p – кількість рядів.

Розрахуємо:

$$L_{\max} = \frac{8}{2} = 4 \text{ м.}$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L / h]}.$$

Розрахуємо:

$$h = \frac{4}{1,3} = 3,1 \text{ м.}$$

Знайдемо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h,$$

де H – висота приміщення;

h_p – висота робочої поверхні;

h – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

Розрахуємо:

$$h_3 = 3,9 - 0,7 - 3,1 = 0,1 \text{ м.}$$

Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)},$$

де A – довжина приміщення, $м$;

B – ширина приміщення, $м$;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, $м$.

Розрахуємо:

$$i = \frac{12 \cdot 8}{3,1 \cdot (12 + 8)} = 1,55$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$) та індексу приміщення. В нашому випадку $\eta = 50 \%$.

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta},$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, $лм$;

E_n – нормоване значення освітленості, $лк$;

S – площа освітлюваної поверхні, m^2 ;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Розрахуємо:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,50} = 88704 \text{ лм.}$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = AB/L_{\max}^2.$$

Розрахуємо:

$$N^* = \frac{12 \cdot 8}{4 \cdot 4} = 6 \text{ шт.}$$

Кратне числу рядів $N_p = 2$.

Розрахуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}}, \text{ лм,}$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

$N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні,

Розрахуємо:

$$N_{\text{л}} = N^* n,$$

де n – кількість ламп у світильнику (в ЛВП світильнику знаходиться 2 лампи).

Розрахуємо:

$$N_{\text{л}} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ шт.,}$$

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{88704}{12} = 7392 \text{ лм.}$$

Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ і знайдемо коефіцієнт m (співвідношення між

розрахунковим світловим потоком лампи Φ_l^* та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи Φ_l):

Обираємо лампу ЛБ із $P_l=80$ Вт, $\Phi_l = 5400$ лм.

Метеорологічні умови в виробничих приміщеннях – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають вимогам Державних санітарних норм 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [70].

Роботи в конструкторському бюро, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється стомленість у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічною напругою, погіршується мовна комутація. Рівні звуку, рівні звукового тиску в октавних смугах частот, та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщенні конструкторського бюро нормуються згідно ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [71]. Оптимальний рів шуму в приміщення забезпечується за допомогою:

- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;
- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу.

Інтенсивне електромагнітне випромінювання постійно впливає на програміста в період роботи за дисплеєм, яке може стати причиною професійних захворювань. Комп'ютери потрапляють за визначенням в 5-й діапазон (низькі частоти). Для зниження потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання для роботи використовуються монітори з рідкокристалічними дисплеями [66].

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з протипожежної безпеки розроблені для виробничого приміщення, обладнаного ПК з ВДТ розроблені згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [72].

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні, обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [9] у приміщенні, обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класу – А та Е;

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [73], воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [72] воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого –

вхідні двері. Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення, обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [64], та мають ступінь захисту ізоляції обладнання IP44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

Для виявлення початкової стадії загоряння, швидкого й точного оповіщення служби пожежної охорони про час і місце виникнення пожежі встановлені системи автоматичної пожежної сигналізації (АПС). Вони можуть самостійно пускати в хід установки пожежогасіння, коли пожежа не досягла великих розмірів. Системи АПС складаються з пожежних сповіщувачів, ліній зв'язку й прийомних пультів (станцій). Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Фотон-ОФІС», яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика [65].

Оскільки приміщення що обладнане ПК з ВДТ має площу 96 м², тому відповідно до вимог п. 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги» [65] для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 5 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3,5 кг і більше, на 20 м² площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

5.4.2 Заходи з цивільного захисту

Єдина державна система цивільного захисту, її складові та режими функціонування

Небезпеки, що пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях, зокрема при ліквідації наслідків впливу НС техногенного або природного характеру єдиною державною системою цивільного захисту. Кодекс Цивільного Захисту України від 01.07.2013, а також ДСТУ 3891-99 «Безпека у надзвичайних ситуаціях», Постанова Кабінету Міністрів України від 03 серпня 1998 року № 1198 «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» визначають заходи ліквідації наслідків впливу НС техногенного або природного характеру єдиною державною системою цивільного захисту [74].

Загальне керівництво єдиною системою цивільного захисту здійснює Кабінет Міністрів України.

Начальником цивільного захисту України є Прем'єр-міністр України.

Безпосереднє керівництво діяльністю єдиної системи цивільного захисту покладається на спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань цивільного захисту — Міністерство з надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи — МНС. Керівник цього органу, тобто Міністр МНС, є заступником начальника цивільного захисту України.

Єдина система захисту може функціонувати у режимі: повсякденної діяльності; підвищеної готовності; надзвичайної ситуації; надзвичайного стану; воєнного стану.

У режимі повсякденної діяльності єдина система захисту функціонує за наявності нормальної виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної, сейсмічної, гідрогеологічної, гідрометеорологічної обстановки, за відсутності епідемій, епізоотій та епіфітотій.

У цьому режимі органи управління, сили і засоби єдиної системи захисту:

- забезпечують спостереження і контроль за обстановкою на потенційно небезпечних об'єктах і прилеглих до них територіях, а також чергування оперативного персоналу;

- розробляють і виконують цільові та науково-технічні програми запобігання НС і зменшення можливих втрат;

- здійснюють заходи, спрямовані на забезпечення безпеки і захисту населення під час НС;

- забезпечують підготовку органів управління до дій у НС, організовують навчання населення використання засобів захисту в таких ситуаціях;

- створюють і поновлюють резерви фінансових і матеріальних ресурсів для ліквідації наслідків НС;

- здійснюють постійне прогнозування обстановки щодо її погіршення, яке може призвести до виникнення НС.

Режим підвищеної готовності встановлюється при погіршенні виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної, сейсмічної, гідрогеологічної, гідрометеорологічної обстановки, загрозі виникнення НС.

Органи управління, сили і засоби єдиної системи захисту:

- здійснюють заходи, передбачені для режиму повсякденної діяльності, і допомагають при виникненні НС;

- формують комісії для виявлення причин погіршення обстановки безпосередньо в районі можливого виникнення НС;

- посилюють спостереження і контроль за обстановкою на потенційно небезпечних об'єктах і прилеглих до них територіях, здійснюють прогнозування виникнення НС та їх масштабів;

- розробляють заходи захисту населення, територій в умовах НС;

- здійснюють заходи запобігання виникненню НС;

— приводять у стан підвищеної готовності наявні сили і засоби реагування, залучають додаткові сили і засоби, уточнюють плани їх дій та направляють за потреби в район загрози виникнення НС.

Режим НС встановлюється при виникненні НС та під час ліквідації наслідків НС. Органи управління, сили і засоби єдиної системи захисту:

- організовують захист населення і територій;
- залучають необхідні сили і засоби;
- визначають межі території, на якій виникла НС;
- організовують роботи з локалізації або ліквідації наслідків НС;
- здійснюють безперервний контроль за станом у районі НС;
- оперативно доповідають вищим органам управління про розвиток НС та оповіщають населення.

Режим надзвичайного стану єдиної системи захисту встановлюється відповідно до Закону України "Про правовий режим надзвичайного стану".

Режим функціонування єдиної системи цивільного захисту в умовах воєнного стану, порядок підпорядкування її військовому командуванню визначається відповідно до Закону України "Про правовий режим надзвичайного стану".

ЄДС НС складається з постійно діючих функціональних і територіальних підсистем і має чотири рівні – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об’єктовий. Функціональні підсистеми (ФП) створюються міністерствами та іншими центральними органами виконавчої влади для організації роботи пов’язаної із запобіганням НС та захистом населення і територій від їх наслідків. У НС сили і засоби ФП регіонального, місцевого та об’єктового рівня підпорядковуються в межах, що не суперечать законодавству, органам управління відповідних територіальних підсистем ЄДС НС. Територіальні підсистеми (ТП) створюються в АР Крим, областях, м. Києві та Севастополь для запобігання і реагування на НС у межах відповідних регіонів. Організаційна структура та порядок діяльності ФП і ТП визначаються в положеннях про них.

Кожний рівень ЄДС НС має координуючі та постійні органи управління, систему повсякденного управління, сили і засоби, резерви матеріальних та фінансових ресурсів, системи зв'язку та інформаційного забезпечення. Координуючими органами ЄДС НС є:

- на загальнодержавному рівні – Державна комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій; Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення;

- на інших рівнях – відповідні комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій.

Головними етапами діяльності ЄДС НС є:

- запобігання виникненню надзвичайних ситуацій (підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення НС на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у НС або пом'якшення її можливих наслідків);

- реагування на НС (скоординовані дії підрозділів єдиної державної системи щодо реалізації планів дій (планів ліквідації МС);

- усунення загрози життю та здоров'ю людей, зменшення матеріальної шкоди і фінансових витрат; ліквідація наслідків НС;

- гострий період ліквідації НС; плановий і програмний періоди ліквідації НС.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було проаналізовано області застосування додатків доповненої реальності, визначено актуальність їх створення. У якості завдання дипломної роботи визначено розробку алгоритму побудови 3D-моделей та створення додатку доповненої реальності із використанням сучасних методів, що підвищують рівень реалістичності віртуального об'єкту, який впроваджено у навколишнє середовище.

Проведено аналіз інструментів для 3D-моделювання, ігрових рушіїв та засобів для створення додатків доповненої реальності. Модель було спроектовано у системі для тривимірного моделювання Modo з урахуванням її подальшого використання у додатку доповненої реальності, що демонструється на мобільному пристрої. Відповідно, її топологія повинна бути не надто складною для швидкого обчислення на мобільному пристрої, а тому деяка деталізація була перенесена на спеціальні карти, які відтворюють цю деталізацію та зменшують навантаження на пристрій. Також для моделі були створені фізично коректні текстури, що мають поведінку матеріалів реального світу та взаємодіють з інформацією, отриманою із оточуючого середовища, що підвищує рівень реалістичності об'єкту, відтвореного у додатку доповненої реальності.

Завдяки використаному функціоналу ARCore та ігровому рушії Unity камера мобільного пристрою отримує інформацію з реального середовища, що допомагає оцінити та налаштувати рівень освітленості, положення джерела освітлення та віддзеркалення простору. Також реалізована можливість інтерактивної взаємодії з об'єктом, що дає змогу більш детально розглянути об'єкт в додатку доповненої реальності.

Запропоновано методику зі створення 3D-моделей та розробки додатку доповненої реальності, що включає рекомендації, які стосуються створення високо- та низькополігональної моделі з подальшим перенесенням деталізації з високополігональної на низькополігональну модель завдяки запіканню карт

Normal та Ambient Occlusion та приклад їх створення. Також було наведено приклад створення фізично коректних текстур у програмі Substance Painter. Було наведено послідовність дій для налаштування проєкту в ігровому рушії Unity та створення необхідних компонентів для відтворення доповненої реальності.

В економічній частині було розраховано основну заробітну плату, додаткову заробітну плату, відрахування на єдиний соціальний внесок, затрати на матеріали, витрати на спеціальне обладнання та розрахунок техніко-економічної ефективності моделі. Розрахований коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР складає $K_{НДР} = 1,93$, тому дослідницька робота з розробки методики побудови 3D-моделі та створення додатку ДР вважається ефективною.

Запропоновано заходи з охорони праці. Наведено заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці, зокрема, наведено рекомендації для забезпечення ергономічності робочого місця та заходи з протипожежної безпеки для виробничого приміщення, обладнаного ПК. Розрахована система загального рівномірного штучного освітлення в конструкторському бюро. Проаналізовані заходи з пожежної безпеки та заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Наукова новизна роботи полягає у розробці методики створення додатків доповненої реальності з використанням сучасних методів проєктування ігрових 3D-моделей для інтеграції їх у сцени ігрових рушіїв з метою досягнення високої реалістичності та покращення сприйняття об'єкта користувачем в режимі реального часу.

Практична цінність даної роботи полягає у розробці додатку доповненої реальності, що надасть можливість презентувати інженерні об'єкти, досліджувати їх, оцінювати в умовах реального навколишнього середовища та взаємодіяти з ними через екран мобільного пристрою зручним для користувача способом без застосування спеціального обладнання.

Основні положення дипломної роботи були обговорені на IV Міжнародній конференції «Виробництво & Мехатронні Системи 2020», опубліковано тези доповіді.

Результати дипломної роботи були впроваджені в практичну діяльність підприємства ТОВ «Інфоком ЛТД» для демонстрації продукції підприємства на різних заходах та в дистанційному режимі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Murru, G., Fratarcsngeli, M., Empler, T., Augmented Visualization on Handheld Devices for Cultural Heritage, Practical Augmented Visualization on Handheld Devices for Cultural heritage, in: V. Skala (Eds.), WSCG 2013 - Communication Papers Proceedings, University of West Bohemia, Plzen, Czech Republic, 2013, pp. 97-103.

2 Y. Chen, Q. Wang, H. Chen, X. Song, H. Tang, and M. Tian, "An overview of augmented reality technology", Journal of Physics: Conference Series, vol. 1237, no. 2, 2019.

3 Kaufmann, H., Schmalstieg, D.: Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. Comput. Graph. 27(3), 339–345 (2003)

4 Fuchs, H., Livingston, M.A., Raskar, R., Keller, K., Crawford, J.R., Rademacher, P., Drake, S.H., Meyer, A.A., et al.: Augmented reality visualization for laparoscopic surgery. In: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, pp. 934–943. Springer (1998)

5 Piekarski, W., Thomas, B.: Arquake: the outdoor augmented reality gaming system. Commun. ACM 45(1), 36–38 (2002)

6 Montero, Alvaro, Telmo Zarraonandia, P. Díaz and I. Aedo. “Designing and implementing interactive and realistic augmented reality experiences.” Universal Access in the Information Society 18 (2017): 49-61.

7 Davila-Delgado, J.M.; Oyedele, L.; Demian, P.; Beach, T. A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. Adv. Eng. Inform. 2020, 45, 101-122

8 F. Grudzewski, M. Awdziej, G. Mazurek, K. Piotrowska. Virtual Reality in Marketing Communication – the Impact on the Message, Technology and Offer Perception – Empirical Study Economics and Business Review, 4 (2018), pp. 36-50, 10.18559/ebr.2018.3.4

9 P. Pejic, M. Lakicevic, S. Krasic, S. Predrag Application of Augmented and Virtual Reality in Residential Complex Presentation, Case Study: Energoprojekt Sunnyville Journal of Industrial Design and Engineering Graphics, 12 (2017), pp. 127-132

10 A.Y.C. Nee, S.K. Ong, G. Chryssolouris, D. Mourtzis. Augmented reality applications in design and manufacturing. CIRP Ann., 61 (2012), pp. 657-679, 10.1016/J.CIRP.2012.05.010

11 C. Sandor, G. Klinker. A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality. Pers. Ubiquit. Comput., 9 (2005), pp. 169-185, 10.1007/s00779-004-0328-1

12 S. Dong, A.H. Behzadan, F. Chen, V.R. Kamat. Collaborative visualization of engineering processes using tabletop augmented reality. Adv. Eng. Softw., 55 (2013), pp. 45-55, 10.1016/J.ADVENGSOFT.2012.09.001

13 G. Schubert, D. Schattel, M. Tönnis, G. Klinker, F. Petzold. Tangible Mixed Reality On-Site: Interactive Augmented Visualisations from Architectural Working Models in Urban Design. Springer, Berlin, Heidelberg (2015), pp. 55-74

14 Y. Zhou, H. Luo, Y. Yang. Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction. Autom. Constr., 82 (2017), pp. 112-121, 10.1016/J.AUTCON.2017.02.007

15 H.F. Moore, M. Gheisari. A review of virtual and mixed reality applications in construction safety literature. Safety, 5 (2019), p. 51, 10.3390/safety5030051

16 A. Fazel, A. Izadi. An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces. Autom. Constr., 85 (2018), pp. 135-145, 10.1016/J.AUTCON.2017.10.015

17 M. Neges, C. Koch, Augmented reality supported work instructions for onsite facility maintenance, 2016.

18 N. Yabuki, M. Hosokawa, T. Fukuda, T. Michikawa, Visualization of Indoor Thermal Conditions Using Augmented Reality for Improving Thermal Environment, in: Computing in Civil Engineering 2015. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2015, pp. 339–346. Doi: 10.1061/9780784479247.042.

19 Фурманова, Н.І. Застосування технології доповненої реальності в освітньому процесі для навчання студентів радіотехнічних спеціальностей. [Текст]/ Н.І. Фурманова, І.Є. Поспєєва, П.А. Костяной // Міжнародна наукова інтернет-конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення". Збірник тез доповідей: випуск 30 (м. Тернопіль, 11 липня 2018 р.) - Тернопіль. - 2018. - с. 85-88

20 Shilo, G. Improving students' qualification level by introducing innovative educational and production technologies / G. Shilo, N. Furmanova, D. Romaniuk, A. Kalynychnenko, P. Kostianoi, O. Desyatnyuk// Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 18-21 September, 2019, Metz, France., pp. 1020-1024.

21 D. Wagner, D. Schmalstieg. First steps towards handheld augmented reality. Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers. (2003), pp. 127-135

22 J. Mooser, S. You, U. Neumann. Real-Time Object Tracking for Augmented Reality Combining Graph Cuts and Optical Flow. 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE (2007), pp. 1-8, 10.1109/ISMAR.2007.4538839

23 J. Paulo Lima, R. Roberto, F. Simões, M. Almeida, L. Figueiredo, J. Marcelo Teixeira, V. Teichrieb. Markerless tracking system for augmented reality in the automotive industry. Expert Syst. Appl., 82 (2017), pp. 100-114, 10.1016/J.ESWA.2017.03.060

24 Z. Yang, C. Wu, Z. Zhou, X. Zhang, X. Wang, Y. Liu. Mobility Increases Localizability: A Survey on Wireless Indoor Localization using Inertial Sensors. *ACM Comput. Surv.*, 47 (2015), pp. 1-34, 10.1145/2676430

25 P. Kim, J. Chen, Y.K. Cho. SLAM-driven robotic mapping and registration of 3D point clouds. *Autom. Constr.*, 89 (2018), pp. 38-48, 10.1016/J.AUTCON.2018.01.009

26 H.-L. Lu, J.-X. Wu, Y.-S. Liu, W.-Q. Wang. Dynamically loading IFC models on a web browser based on spatial semantic partitioning. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, 2 (2019), p. 4, 10.1186/s42492-019-0011-z

27 M. Johansson, M. Roupé, P. Bosch-Sijtsema. Real-time visualization of building information models (BIM). *Autom. Constr.*, 54 (2015), pp. 69-82, 10.1016/j.autcon.2015.03.018

28 M. Hosseini, V. Swaminathan, Adaptive 360 VR Video Streaming: Divide and Conquer, in: 2016 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM). IEEE, , 2016, pp. 107–110.

29 P. Stotko, S. Krumpen, M.B. Hullin, M. Weinmann, R. Klein. SLAMCast: large-scale, real-time 3D reconstruction and streaming for immersive multi-client live telepresence. *IEEE Trans. Visual Comput. Graphics*, 25 (2019), pp. 2102-2112, 10.1109/TVCG.2019.2899231

30 J. Hahn, D. Ward, E. Cabada, R. Wallace, E. Kurt, B. Mischo. Institutionalizing and Sustaining Virtual Reality Experiences, in: 2019 ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries (JCDL). IEEE, , 2019, pp. 325–326. Doi: 10.1109/JCDL.2019.00053.

31 A. Rowen, M. Grabowski, J.-P. Rancy, A. Crane. Impacts of Wearable Augmented Reality Displays on operator performance, Situation Awareness, and communication in safety-critical systems. *Appl. Ergon.*, 80 (2019), pp. 17-27, 10.1016/J.APERGO.2019.04.013

32 J.M. Davila Delgado, I. Brilakis, C.R. Middleton. Modelling, management, and visualisation of structural performance monitoring data on BIM. Transforming the Future of Infrastructure through Smarter Information, Proceedings of the International Conference on Smart Infrastructure and Construction (2016), pp. 543-549

33 G. Khronos. The OpenXR Specification, 2019.

34 K. Manikas, K.M. Hansen. Software ecosystems – A systematic literature review. *J. Syst. Softw.*, 86 (2013), pp. 1294-1306, 10.1016/J.JSS.2012.12.026

35 G. Valenca, C. Alves, V. Heimann, S. Jansen, S. Brinkkemper, Competition and collaboration in requirements engineering: a case study of an emerging software ecosystem, in: 2014 IEEE 22nd International Requirements Engineering Conference (RE). IEEE, 2014, pp. 84–393.

36 K. Lebeck, K. Ruth, T. Kohno, F. Roesner. Towards Security and Privacy for Multi-user Augmented Reality: Foundations with End Users. 2018 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). IEEE (2018), pp. 392-408, 10.1109/SP.2018.00051

37 A. Handa, V. Patraucean, V. Badrinarayanan, S. Stent, R. Cipolla. Understanding Real World Indoor Scenes With Synthetic Data, in: The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016 pp. 4077–4085.

38 J. Du, Z. Zou, Y. Shi, D. Zhao Zero latency: real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making *Autom. Constr.*, 85 (2018), pp. 51-64, 10.1016/J.AUTCON.2017.10.009

39 S. Mori, S. Ikeda, H. Saito. A survey of diminished reality: Techniques for visually concealing, eliminating, and seeing through real objects. *IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications*, 9 (2017), p. 17, 10.1186/s41074-017-0028-1

40 G.N. Sava, S. Pluteanu, V. Tanasiev, R. Patrascu, H. Necula, 2018. Integration of BIM Solutions and IoT in Smart Houses, in: 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial

Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). IEEE, pp. 1–4. Doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494628.

41 S. Tang, D.R. Shelden, C.M. Eastman, P. Pishdad-Bozorgi, X. Gao. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Autom. Constr.*, 101 (2019), pp. 127-139, 10.1016/J.AUTCON.2019.01.020

42 S. Sarkar, S. Vinay, R. Raj, J. Maiti, P. Mitra. Application of optimized machine learning techniques for prediction of occupational accidents. *Comput. Oper. Res.*, 106 (2019), pp. 210-224, 10.1016/j.cor.2018.02.021

43 J. Sardo, J. Pereira, R. Veiga, J. Semiao, P. Cardoso, J. Rodrigues. A Portable Device for Five Sense Augmented Reality Experiences in Museums. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 14 (2018), pp. 347-362

44 P.-A. Fortin, P. Hebert, "Handling occlusions in real-time augmented reality: dealing with movable real and virtual objects", *The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, IEEE, 2006.pp. 54.

45 E. Mendez, D. Schmalstieg, "Importance masks for revealing occluded objects in augmented reality", *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ACM, 2009, pp. 247–248.

46 Y. Tian, T. Guan, C. Wang, "Real-Time Occlusion Handling in Augmented Reality Based on an Object Tracking Approach", *Sensors*, 2010, vol. 10, pp. 2885–2900.

47 D. Kurz, S. Benhimane, "Gravity-aware handheld augmented reality", *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, IEEE, 2011, pp. 111–120.

48 F. Osti, G. M.Santi, G. Caligiana, "Real Time Shadow Mapping for Augmented Reality Photorealistic Rendering", *Applied Sciences*. (2019.Vol. 9, p. 2225.

49 C. Gavriluta, S. Spataru, I. Mosincat, C. Citro, I. Candela, P. Rodriguez, "Complete methodology on generating realistic wind speed profiles based on measurements", Renewable energy & power quality journal, 2012, vol.10, pp.828-829.

50 E. N. Giap Weng, Md. Abdullah-Al-Jubair, S. A. Zaidi Adruce, O. Y. Bee, "Graphics, Audio-visuals and Interaction (GAI) based handheld augmented reality system", Social and Behavioral Sciences, vol. 97, 2013, pp.745–752.

51 J. Fischer, D. Bartz, W. Straber, "Stylized augmented reality for improved immersion", Virtual Reality, 2005, Proceedings, VR 2005, IEEE, pp. 195–202.

52 What is a Game Engine [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game_.php

53 Unity Platform [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://unity.com/>

54 Разработка приложения для городского ориентирования с элементами дополненной реальности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nauchkor.ru/uploads/documents/5aafc3d07966e145c68bb6da.pdf>

55 6 платформ, облегчающих создание приложений в AR-формате [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ar-conf.ru/ru/news/6-platform-oblegchayushchih-sozdanie-prilogeniy-v-ar-formate-66289>

56 Топ 18 SDK для работы с AR [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vc.ru/design/125017-top-18-sdk-dlya-raboty-s-ar>

57 Vuforia Engine [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pts-russia.com/products/vuforia/item/227-vuforia-sdk.html>

58 Vuforia Engine [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.irisoft.ru/products/produkty-vuforia-dopolnennaya-realnost-dlya-promyshlennosti/vuforia-engine/>

59 Introducing ARKit. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2017/602/?time=224>

60 Apple's ARKit 4 introduces new depth capabilities and expands face tracking to more devices. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://venturebeat.com/2020/06/22/apples-arkit-4-0-introduces-new-depth-capabilities-and-expands-face-tracking-to-more-devices/>

61 ARCore overview [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developers.google.com/ar/discover>

62 About AR Foundation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html>

63 Фурманова, Н. Особливості створення 3D-моделей об'єктів для додатків доповненої реальності / Н. Фурманова, П. Костяной, О. Фарафонов, О. Малий // Виробництво & Мехатронні Системи 2020: Матеріали IV Міжнародної конференції, Харків, 22-23 жовтня 2020 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)]. – Харків: [електронний друк], 2020. - с. 131 - 135

64 ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту». Київ: Держспоживстандарт України, 2011. – 10 с.

65 Атаманчук П. Охорона праці в галузі. Навчальний посібник / П. Атаманчук, В. Мендерецький, О. Панчук, Р. Билык. К: Центр навчальної літератури, 2017. – 322 с.

66 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. НПАОП 0.00-7.15-18. Державні санітарні правила і норми. / Харків: Форт, 2018 – 48 с.

67 ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги». Наказ від 21.12.2015.

68 ДБН В.2.5-28:2018. Природне та штучне освітлення. Посібник: проблеми природного і штучного освітлення. / К: Етін, 2019. – 180 с.

69 Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с.

70 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. / Харків: Форт, 2000 – 24 с.

71 ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку / МОЗ України, 1999 – 24 с.

72 ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги». / Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 39 с.

73 ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с.

74 Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст] : навч. посіб. для вузів / М. І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013, - 487 с.

ДОДАТОК А

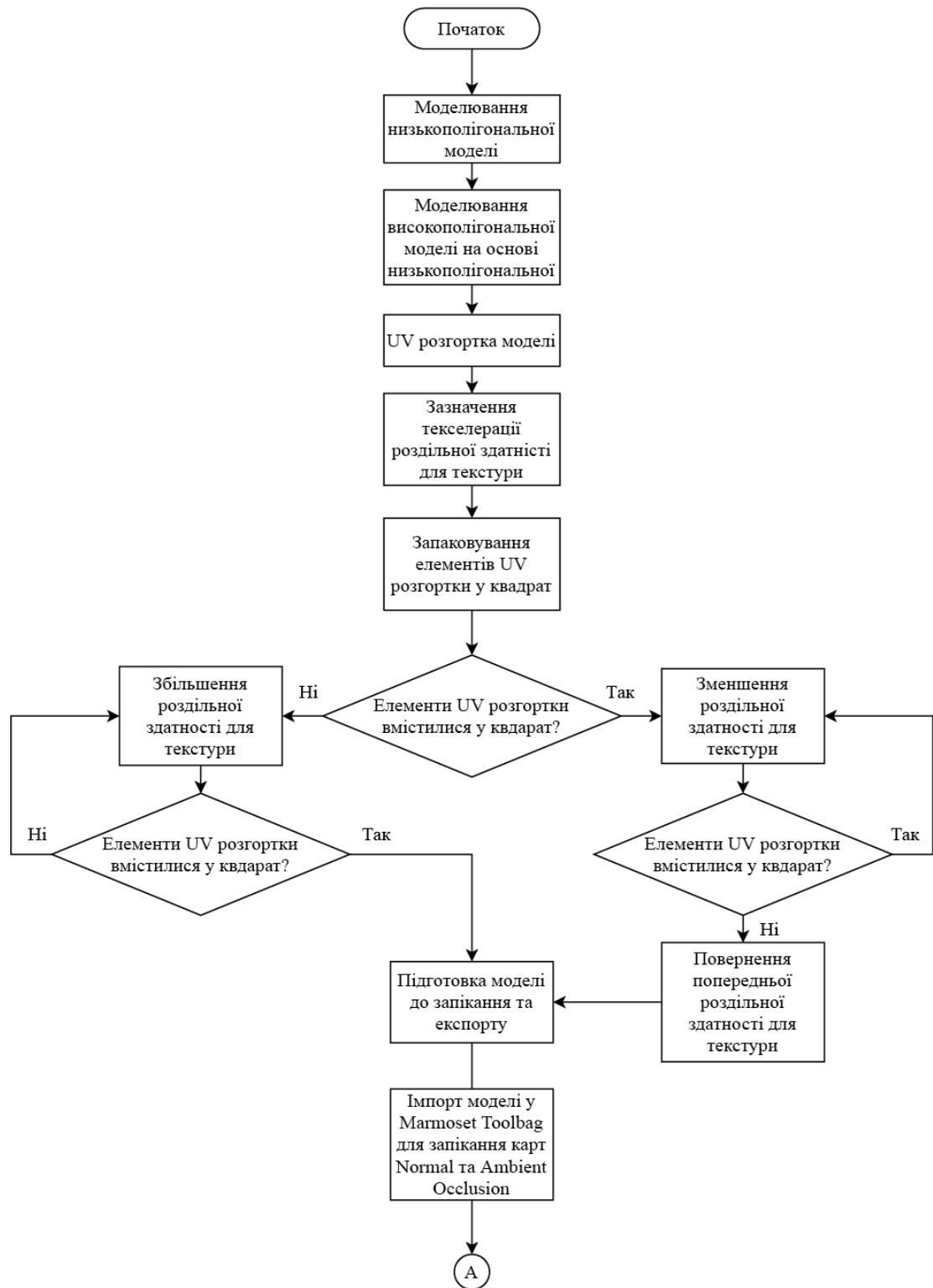


Рисунок А.1 (аркуш 1) – Блок-схема алгоритму побудови 3Д моделі та створення додатку ДР (початок)



Рисунок А.1 (аркуш 2) – Блок-схема алгоритму побудови 3Д моделі та створення додатку ДР (завершення)

ДОДАТОК Б



ТОВ «ІНФОКОМ ЛТД»



69001, Україна, м. Запоріжжя,
бул. Тараса Шевченка, 56
www.ia.ua

Тел.: +38 (061) 2137855
+38 (061) 2137955
E-mail: sales@ia.ua

Довідка про впровадження результатів наукових досліджень в практику діяльності ТОВ «Інфоком ЛТД»

У магістерській роботі студента групи РТ-519м факультету радіоелектроніки та телекомунікацій НУ «Запорізька політехніка» Костяного Павла Андрійовича на тему «Розробка методики створення 3D-моделей пристроїв та їх інтеграція в оточуюче середовище за допомогою доповненої реальності» запропоновано ряд заходів щодо удосконалення процесу проектування об'єктів для додатків доповненої реальності з метою підвищення їх реалістичності.

Практичну цінність має розроблений Костяним Павлом Андрійовичем додаток доповненої реальності, що буде використовуватись для демонстрації продукції підприємства на різних заходах та в дистанційному режимі.

Проведений аналіз та розроблені на його базі пропозиції щодо підвищення ефективності 3D-моделювання об'єктів для подальшого застосування у додатках доповненої реальності із забезпеченням інтерактивної взаємодії із об'єктами будуть використані в подальшій практичній діяльності ТОВ «Інфоком ЛТД».

Генеральний директор ТОВ «Інфоком ЛТД»



Е.А. Троценко

« 08 » грудня 2020 р.