



## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформаціїКафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних системРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 171 Електроніка  
(код і повна назва)Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)Освітня програма Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУстудентові Логвінову Олексію Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи
- Мультимедійний стрілецький тренажер з інтерактивним анімаційним сюжетом

затверджена наказом по університету від " 08 " 11 2021 р. № 1675 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії
- 08.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Розглянути засоби формування динамічної обстановки на екрані мультимедійного стрілецького комплексу у вигляді інтерактивного анімаційного сюжету. Здійснити аргументований вибір програмного середовища, яке має необхідні якості для вирішення завдання. Розробити інтерактивний анімаційний сюжет для існуючого на кафедрі МІРЕС мультимедійного стрілецького тренажеру, який дозволить розширити функціональні можливості комплексу.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Вступ1. Огляд літературних джерел. Стрілецькі тренажери. Загальні відомості і постановка завдання2. Вибір технології та програмного забезпечення для розробки сюжету3. Створення анімаційного сюжетуВисновкиПерелік посиланьДодатки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій \_\_\_\_\_

Стрілецькі тренажери – 2 арк. \_\_\_\_\_

Зовнішня балістика – 1 арк. \_\_\_\_\_

Ігрові движки – 1 арк. \_\_\_\_\_

Програми для 3Д моделювання – 2 арк. \_\_\_\_\_

Імпортування ассетів – 1 арк. \_\_\_\_\_

Налаштування анімацій – 1 арк. \_\_\_\_\_

Розробка анімаційного сюжету – 3 арк. \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд літератури	06.11.21–07.11.21	
2	Аналіз методів дослідження	08.11.21–08.11.21	
3	Розробка математичних моделей	09.11.21–10.11.21	
4	Розробка алгоритму моделювання	11.11.21–14.11.21	
5	Розробка програмної частини	15.11.21–19.11.21	
6	Комп'ютерне моделювання	20.11.21–21.11.21	
7	Розробка пояснювальної записки	22.11.21–02.12.21	
8	Графічна частина роботи	30.11.21–02.12.21	
9	Перевірка керівником	03.12.21–04.12.21	
10	Перевірка нормоконтролю	05.12.21–06.12.21	
	Перевірка на академічний плагіат	07.12.21	
11	Перевірка зав. кафедрою, рецензування	08.12.21	

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 06.11.2021 р. \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ проф. Карташов В.М.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: 85 сторінок, 61 рисунок, 1 таблиця, 23 джерела.

Анімаційний сюжет, 3Д моделювання, анімація, движок мультимедійних комп'ютерних ігор, UNREAL ENGINE, мультимедійний стрілецький тренажер, стрілецька підготовка

Об'єкт дослідження – різноманітні методи створення і розробки сюжетів для мультимедійних стрілецьких комплексів.

Метою роботи є розробка інтерактивного анімаційного сюжету для мультимедійного стрілецького тренажера.

Метод дослідження базується на використанні комп'ютерних засобів 3Д моделювання, анімації та движків мультимедійних комп'ютерних ігор для створення тренувальних сюжетів, найбільш наближених до реальних бойових дій у мультимедійних комплексах стрілецької підготовки.

Розглянуто і проаналізовано різні аналоги стрілецьких тренажерів та комп'ютерних засобів 3д моделювання, анімації і ігрових движків. З використанням ігрового движка Unreal Engine створений проект анімаційного сюжету для мультимедійного стрілецького тренажера. В роботі досліджена практична і економічна ефективність використання комп'ютерних засобів 3д моделювання, анімації та движків мультимедійних комп'ютерних ігор для створення тренувальних сюжетів найбільш наближених до реальних бойових дій у мультимедійних комплексах стрілецької підготовки. Отримані результати демонструють високу ефективність використаного методу створення анімаційних сюжетів.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе: 85 страниц, 61 рисунок, 1 таблица, 23 источника.

АНИМАЦИОННЫЙ СЮЖЕТ, 3Д МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНИМАЦИЯ, ДВИЖОК МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР, UNREAL ENGINE, МУЛЬТИМЕДИЙНЫЙ СТРЕЛКОВЫЙ ТРЕНАЖЕР, СТРЕЛКОВАЯ ПОДГОТОВКА

Объект исследования – разные методы создания и разработки сюжетов для мультимедийных стрелковых комплексов.

Целью работы является разработка интерактивного анимационного сюжета для мультимедийного стрелкового тренажера.

Метод исследования основан на использовании компьютерных средств 3Д моделирования, анимации и движков мультимедийных компьютерных игр для создания тренировочных сюжетов, наиболее приближенных к реальным боевым действиям в мультимедийных комплексах стрелковой подготовки.

Рассмотрены и проанализированы различные аналоги стрелковых тренажеров и компьютерных средств 3д моделирования, анимации и игровых движков. При использовании игрового движка Unreal Engine создан проект анимационного сюжета для мультимедийного стрелкового тренажера. В работе исследована практическая и экономическая эффективность использования компьютерных средств 3д моделирования, анимации и движков мультимедийных игр для создания тренировочных сюжетов наиболее приближенных к реальным боевым действиям в мультимедийных комплексах стрелковой подготовки. Полученные результаты показывают высокую эффективность использованного метода создания анимационных сюжетов.

## ABSTRACT

Explanatory note to the graduation qualification work: 85 pages, 61 figures, 1 table, 23 sources.

ANIMATION PLOT, 3D MODELING, ANIMATION, MULTIMEDIA COMPUTER GAME ENGINE, UNREAL ENGINE, MULTIMEDIA SHOOTING SIMULATOR, SHOOTING TRAINING

The object of the research is different methods of creating and developing plots for multimedia shooting complexes.

The aim of the work is to develop an interactive animation plot for a multimedia shooting simulator.

The research method is based on the use of computer tools 3D modeling, animation and engines of multimedia computer games to create training plots that are closest to real combat operations in multimedia complexes of shooting training.

Various analogues of shooting simulators and computer tools for 3D modeling, animation and game engines are considered and analyzed. Using the game engine Unreal Engine, an animation project was created for a multimedia shooting simulator. The paper investigates the practical and economic efficiency of using computer tools for 3D modeling, animation and multimedia game engines to create training plots that are closest to real combat in multimedia complexes of shooting training. The results obtained show the high efficiency of the used method for creating animation plots.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ. СТРІЛЕЦЬКІ ТРЕНАЖЕРИ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	11
1.1 Види стрілецьких тренажерів. Постановка завдання .....	11
1.2 Механічні та електронні стрілецькі тренажери .....	16
1.3 Використання електронних стрілецьких тренажерів .....	21
1.4 Параметри деяких лазерних стрілецьких тренажерів .....	24
1.5 Основи зовнішньої балістики .....	27
1.6 Використання мультимедійних стрілецьких тренажерів .....	35
2 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ СЮЖЕТУ .....	37
2.1 Ігрові движки.....	37
2.1.1 Графічні можливості .....	37
2.1.2 Програмування логіки і механік роботи проекту .....	39
2.1.3 Кількість і доступність додаткових інструментів і матеріалів для розробки.....	41
2.1.4 Економічна складова .....	44
2.1.5 Висновки .....	44
2.2 Створення 3Д моделей і анімацій.....	46
2.2.1 Моделювання.....	47
2.2.2 Текстурування.....	48
2.2.3 Ріггінг .....	49
2.2.4 Анімація .....	51
2.2.5 Інтерфейс.....	51
2.2.6 Візуалізація .....	53
2.2.7 Плагіни .....	54
2.2.8 Робочий процес.....	56
2.2.9 Ціноутворення .....	56
2.2.10 Підтримка.....	58
2.2.11 Висновок .....	59
3 СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЙНОГО СЮЖЕТУ.....	62
3.1 Створення проекту в Unreal Engine .....	62
3.2 Імпорт ассетів до проекту .....	62
3.3 Налаштування анімацій персонажа .....	64

3.4 Додавання зброї персонажу .....	68
3.5 Розташування персонажів на сцені .....	69
3.6 Будування логіки роботи сюжету .....	74
3.7 Запис анімаційного сюжету у формат відео .....	80
ВИСНОВКИ .....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	83
ДОДАТОК А .....	86
ДОДАТОК Б .....	98

## ВСТУП

Практика дій в надзвичайних ситуаціях показує, що співробітники силових структур повинні точно оцінювати обстановку, що швидко змінюється, і приймати рішення щодо застосування зброї за короткий проміжок часу. Засоби розвиненої механізації, що застосовуються в даний час в бойових тирах, вже не відповідають вимогам гнучкості та ефективності стрілецької підготовки. З метою набуття навичок стрільби в умовах, наближених до бойових, в ряді країн (США, Німеччина, Україна, Росія) були розроблені мультимедійні тири, в яких використані найсильніші сторони ігрового і комп'ютерного кіно, мультимедійних комп'ютерних ігор, враховані досвід і правила стрільби в тирах з вогнепальної зброї, побажання співробітників поліції, міліції, служб безпеки і охорони, спецпідрозділів по боротьбі з тероризмом.

Найбільш прийнятними за ціною є тири українського та російського виробництва: «Інгул» (ТОВ «Герц» м. Кіровоград), Айсберг С-300 (ICEBERG м. Москва), «Тир» («Антаріс» м. Москва) [1]. Однак у них є і ряд недоліків. В якості екрану в них використовується зварена з листів спеціального сплаву металева плита розміром до 2, 5х5 метрів і масою до 3000 кг, по кутах якої розміщені акустичні датчики. На екрані за допомогою відеопроєктора відтворюються збережені в пам'яті керуючого комп'ютера стандартні нерухомі, що з'являються або переміщуються мішені, або різні сюжети, по яким здійснюється стрільба з бойової зброї. Точка попадання кулі визначається за різницею часу приходу акустичних хвиль до датчиків з цієї точки. Неможливість створення однорідної металевої плити призводить до істотних похибок визначення координат точки попадання (до 4 см). При виконанні декількох пострілів з інтервалом часу менше 0,5 с, система дає неправильні показання, так як під час пострілу в металевій плиті ще існують незатихлі акустичні хвилі від попереднього пострілу. Крім того, застосування дорогої металевої плити викликає обмеження використовуваної зброї по калібру і дулової енергії, а також призводить до рикошетів, що не дозволяє здійснювати

тренування на малих відстанях від екрану. Також, використання застарілих засобів створення анімаційних сюжетів не дозволяє в достатній мірі забезпечити тренуванням стрільби в тирі відповідність до реальних бойових умов. А запис сюжетів за допомогою засобів відеозображення не є економічно доцільним з причини того, що вимагає занадто великих витрат грошових коштів на обладнання, акторів, декорації та інше.

Тому, дуже важливим є завдання знизити вартість сучасних мультимедійних тирів і поліпшити їх технічні та експлуатаційні характеристики, щоб забезпечити стрільбу з бойової, пневматичної та лазерної зброї, при незмінних комплектації тиру і методі вимірювання координат точки попадання кулі. А також, знайти нові засоби та інструменти створення анімаційних сюжетів з високоякісної візуальної складовою для забезпечення більшого наближення тренування до бойових умов.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі за допомогою комп'ютерних засобів 3д моделювання, анімації та движка мультимедійних комп'ютерних ігор було створено анімаційний сюжет для застосування в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері (УМСТ). Були розглянуті різні комп'ютерні засоби та інструменти для виконання завдання та обґрунтовано вибір конкретних варіантів, що доводить їх практичну та економічну ефективність у порівнянні з існуючими аналогами.

Отримані результати можуть бути використані на практиці при створенні комерційних анімаційних сюжетів для мультимедійних комплексів стрілецької підготовки.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ. СТРІЛЕЦЬКІ ТРЕНАЖЕРИ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

## 1.1 Види стрілецьких тренажерів. Постановка завдання

Оперативні дії в надзвичайних ситуаціях показують, що співробітники силових структур повинні швидко і правильно оцінювати мінливі обставини і приймати рішення на застосування зброї в умовах дефіциту часу. З ціллю придбання необхідних навичок стрільби та оцінки ситуації використовуються різноманітні стрілецькі тренажери.

Для того, щоб сформулювати мету та завдання дослідження, необхідно проаналізувати існуючі тренажери, щоб визначити об'єкт дослідження, в даному випадку - які виміри проводяться для визначення результату стрільби, яка необхідна точність вимірювання, які значення діапазону вимірювань та який стандарт оцінки результату. Так як за допомогою тренажерів моделюються реальні об'єкти і процеси, то для розуміння принципів роботи тренажерів (моделей) і їх класифікації необхідно почати з реальних об'єктів і процесів. Розуміння того факту, що тренажер є моделлю реальних об'єктів і процесів призводить до думки про адекватність моделі, що, в свою чергу, - до думки про використання тих же самих критеріїв оцінки, аналогічних вимог до допустимої похибки вимірювань і т.д. це перенесення з реального об'єкта на модель, з іншого боку, не повинен бути механістичним. Необхідно, за умови збереження адекватності, враховувати відмінність наслідків від дій в бойовій обстановці і на моделі, наприклад, наслідки від ураження (попадання) або не ураження (промаху) цілі.

Стрілецькі тренажери можна розділити на три основні групи [1]:

- тренажери, що не визначають точку попадання в мішень;
- тренажери, умовно визначають точку попадання в мішень;
- тренажери, що визначають точку попадання в мішень.

Дамо коротку характеристику тренажерів кожної групи.

Тренажери, що не визначають точку попадання в мішень є найпростішими тренувальними системами, що визначають стан «влучив - не влучив» і мають наступну типову схему (рис. 1.1):

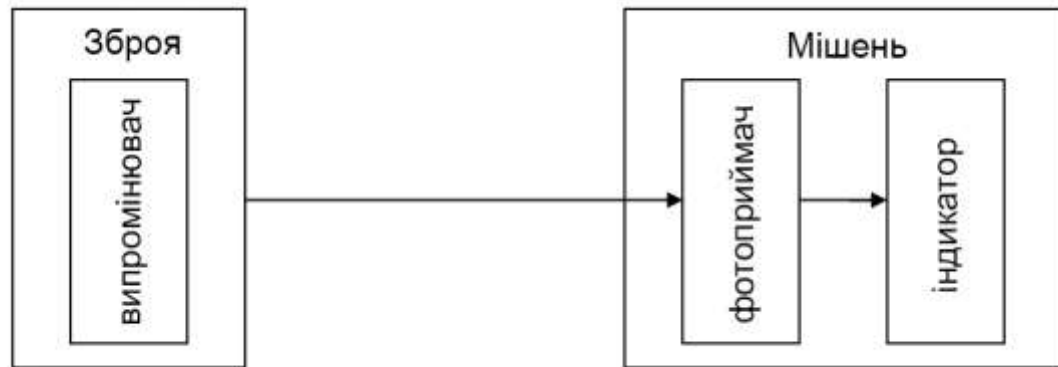


Рисунок 1.1 – Схема тренажерів, що не визначають місце влучання

Зброя при цьому забезпечена лазерним або оптико-електронним випромінювачем. Випромінювач за допомогою спеціальних перехідників (каліброваних вставок) монтується в стовбурі зброї [2,3]. Можливий варіант установки випромінювача із застосуванням універсального кронштейна під стволом зброї. При попаданні в мішень фотоприймач вловлює випромінювання і мішень вважається ураженою. Індикація влучання в мішень в таких тренажерах відображається світловим (світлодіодний індикатор) або звуковим сигналом. У деяких моделях тренажерів може проводитися підрахунок загальної кількості влучень в мішень і встановлюватися обмеження часу на стрільбу [4]. До їх переваг слід віднести невисоку вартість, простоту конструкції і можливість роботи при відсутності напруги живлення. Основний недолік – низька інформативність (відсутність вказівки реальної точки попадання).

Тренажери, що умовно визначають точку влучання в мішень, дають стрілку лише приблизну інформацію про точку попадання [5]. Ці тренажери є як би перехідною моделлю від стрілецьких тренажерів "влучив – не влучив" до тренажерів, що дозволяють визначати точку влучання в мішень. Пояснимо, в чому ж полягає умовність визначення точки попадання в мішень.

Індикація точки попадання здійснюється наступним чином: при попаданні імпульсу лазерного випромінювання в електронну мішень на її табло з'являється результат попадання (наприклад, «вісімка») і вказується напрямок відхилення від центру мішені. Таким чином, дана форма подання результатів стрільби не дає стрілку візуальної інформації про точне місце попадання "кулі" в мішень. Він отримує лише приблизну інформацію про точку попадання в мішень.

Вирішити цю проблему дозволило використання в складі стрілецьких тренажерів сучасних персональних комп'ютерів. Тренажери цієї групи найдоцільніше застосовувати при навчанні бойовій стрільбі.

Тренажери, що визначають точку влучання в мішень, в даний час є найкращими для навчання стрільбі і практично всі їх моделі призначені для роботи спільно з персональними комп'ютерами. На екрані монітора комп'ютера відображається зменшене зображення мішені, на яку після «пострілу» накладається зображення точки влучання. Координати точки попадання Електронної кулі повністю відповідають координатам точки попадання кулі, випущеної з бойової зброї, внаслідок чого такий спосіб подання інформації найкращий. Крім того, використання персональних комп'ютерів дозволяє істотно розширити можливості тренажерів, зокрема, імітувати звук пострілу, створювати і редагувати бази даних результатів стрільби, оперативно змінювати вид мішені і т.д [6].

За способом формування мішенної обстановки тренажери цієї групи можуть бути класифіковані наступним чином (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Класифікація тренажерів за способом формування мішенної обстановки

Тренажери з нерухомими мішенями в даний час найбільш поширені. Найчастіше стрільба з використанням цих тренажерів ведеться за стандартними мішенями: грудним, ростовим, спортивним і т.д. є моделі тренажерів, в яких стрільба ведеться по декількох нерухомим мішенях [7].

Забезпечення дійсної дальності стрільби до мішені здійснюється двома способами:

- установкою мішені реальних розмірів на реальній дальності стрільби. Наприклад, грудна мішень №4 розмірами 500x500 мм встановлюється на відстані 25 метрів від лінії вогню, що відповідає умовам виконання першої вправи навчальних стрільб з пістолета Макарова. Такий спосіб найбільш застосуємо при установці тренажера в приміщенні (стрілецькому тирі), де проводяться бойові стрільби;
- установкою мішені зменшених розмірів на скороченій дальності стрільби. Типова відстань до мішені в цьому випадку дорівнює 10 (рідше 5) метрам. Цей найбільш поширений в даний час спосіб використовується при установці тренажерів в приміщеннях обмежених розмірів, спеціальним чином не пристосованих для проведення бойових стрільб.

Тренажери з рухомими мішенями застосовуються при навчанні стрільбі по рухомих цілях (наприклад, у виконанні вправи у стрільбі з гвинтівки по мішені «біжить кабан»). Електронна мішень в цьому випадку встановлюється на рухому підставку і протягом певного часу демонструється стрілку в рухомому вигляді.

Тренажери з мішенями, що з'являються найчастіше використовуються при відпрацюванні вправ в швидкісній стрільбі (стрільба по п'яти фігурних мішенях). Мішені можуть бути як піднімаються, так і повертаються і з'являються в полі зору стрілка на нетривалий час.

Тренажери з комбінованою мішенною обстановкою використовують комбінацію з нерухомих, рухливих і мішеней, що з'являються для поживлення мішенної обстановки і наближення її до реальних умов.

Передумовою до появи інтерактивних тренажерів послужила та обставина, що моделювання необхідної стрілецької обстановки за допомогою комбінації мішеней призводить до надмірного ускладнення як всієї системи, так і методів її управління [6]. Крім того, стрілець, що тривалий час тренувався в умовах тир з певною мішенною обстановкою, може припустити, коли і в якому місці з'явиться мішень. Тим самим виключається тренування реакції стрілка на несподівану появу мішені.

Існує кілька типів стрільби:

- в реальних умовах (бойова обстановка, тир, тир) із визначенням факту влучання;
- в умовах виробництва, щоб зброя перейшла в нормальний бойовий стан, і для контролю точності стрільби, вимірюючи координати точки влучання, і подальшого корегування положення мушки;
- тренування шаблону стрільби по цілям на відкритому чи закритому тирі та визначення рахунку;
- виконання спортивної стрільби по шаблону-мішені та розрахунок балів.

Ці чотири види стрільби не передбачають наступні види вимірювань:

- вимір-фіксація факту попадання в фігурну мішень;
- вимір-фіксація факту попадання або промаху в зони трафаретного мішені, що оцінюється відповідною кількістю очок;
- вимір координат точок попадання з подальшим обчисленням координат середньої точки влучення (оцінка влучності стрільби), кіл 100 мм, 80 мм, 50 мм щодо контрольної точки (оцінки точності стрільби, тобто інтегральні оцінки влучності і купчастості стрільби).

За типом стрільби можна виділити такі види тренажерів [8]:

- тренажери для вогневої і тактичної підготовки в польових умовах (полігону, відкритого тиру);
- тренажери для вогневої і тактичної підготовки в класних умовах з імітацією місцевості, місцевих предметів і цілей на екранах відеопроєкторів, моніторів комп'ютерів, телевізорів і т.д.;
- тренажери для навчання навичкам початкової стрілецької підготовки в класі;
- спортивні тренажери.

У першому типі тренажеру передбачено встановлення факту влучання-промаху, другий тип - також, але шляхом вимірювання координат точки влучання, третій і четвертий типи - вимірювання координат. Одночасно з цим для навчання технікам стрільби використовуються зображення місцевості та мішеней, а також зображення шаблонів цілей. Габарити мішеней у спортивних тренажерах значно і мають підвищені стандарти точності вимірювання координат точок влучання (або влучання у відповідні балам зони).

Було прийнято рішення зупинитися на тренажерах з визначенням координат точки попадання, відповідно до теми завдання.

## 1.2 Механічні та електронні стрілецькі тренажери

Проведено аналітичний огляд літературних джерел, що мають відношення до даної теми. У зв'язку з особливою специфікою предмета

дослідження, огляд літератури заснований на патентах на винаходи і корисних моделях; відсутність або ж недоступність книг з цієї конкретної теми обґрунтована її прикладної тенденцією, як сукупність механічних, акустичних і / або електрооптичних систем, а також її умовною новизною - перші механічні стрілецькі тренажери надійшли в використання три-чотири десятки років тому.

Існуючі стрілецькі тренажери можна поділити на 2 групи: механічні та електронні.

На поточний момент тренажери пропонують часті і економічні тренування для представників самих різних сфер діяльності, в тому числі і для любителів стрільби. Це можуть бути як спортсмени, поліцейські, солдати, так і просто любителі. Проте, засоби розвиненої механізації, що застосовуються в даний час в бойових тирах, вже не відповідають вимогам варіативності та ефективності стрілецької підготовки, тому що:

- форма цілей, їх габарити, рух і місце розташування зобов'язані відповідати реальним умовам бою;
- розташування і рух цілей слід вибирати відповідно до типу стрілецької підготовки (польові операції, боротьба з терористами, зачистка приміщень, звільнення заручників і т. д.);
- під час тренування і протягом усього тренувального циклу навколишнє середовище і типи цілей повинні змінюватися випадковим чином, що виключає «звикання» до цілей і розвиває здатність точно оцінювати ситуацію і приймати рішення про використання зброї.

У стрілецьких комплексах, де використовуються механічні мішені, відсутнє тренування стрільби по короткострокових мішенях, автоматичне накопичення бази даних результатів стрільби не ведеться, тому їх подальший аналіз неможливий. І найголовніше, незважаючи на засоби і запобіжні заходи, прийняті під час тренувального процесу, механічна конструкція такого стрілецького комплексу не може забезпечити достатню безпеку на всіх етапах тренувальної стрільби [6].

З урахуванням всіх цих факторів в різних країнах світу розроблені і впроваджені стрілецькі комплекси, які можна класифікувати за способами стрільби:

- комплекси з бойовим озброєнням;
- комплекси з пневматичним озброєнням;
- комплекси з лазерними імітаторами стрілецького озброєння.

Крім стандартних паперових/тканинних/металевих механічних мішеней, де координати попадання кулі вимірюються візуально або по механічному перекиданню металевих пластин, до механічних можна віднести мішені на основі світловідбивних матеріалів. Прикладом такої мішені може послужити російський стрілецький тренажер «Рубін» від НТЦ «Лазерні Технології» [9]. Дані тренажери знаходяться на межі двох груп, використовуючи механічні мішені, але застосовуючи лазерні випромінювачі замість бойових патронів. Світловідбиваючі мішені призначені для показу на них лазерного плями і підвищення його яскравості при визначенні місця розташування лазерного імітаційного пострілу з тренажера. Мішені виготовляються на гнучкій (полістирол) або жорсткій (оргаліт) основі, зверху покриваються спеціальною світловідбиваючою плівкою, що володіє високим ступенем зносостійкості [2]. На рисунку 1.1 зображена мініатюрна світловідбиваюча мішень в комплекті з лазерною насадкою на робочий макет вогнепальної зброї.



Рисунок 1.3 – Мініатюрна світловідбиваюча мішень в комплекті з лазерною насадкою на робочий макет вогнепальної зброї

Ще одні мішені, що використовують в собі принципи і механічних і електронних, є мішені на основі акустичних датчиків, які вимірюють час приходу звукових хвиль, що поширюються по металевій плиті від попадання кулі на її поверхню [10]. По краях мішені розташовано чотири акустичних датчика, підключених до блоку обробки і індикації. Стрілець здійснює постріл з пневматичної або бойової зброї, потрапляє в робочу зону мішені. Від точки попадання поширюється акустична хвиля, що надходить на кожен з датчиків по краях металеві плити. Перший датчик, на який першим приходить звуковий сигнал запускає таймер, який зберігає час спрацьовування трьох наступних датчиків в пам'яті ЕОМ. Знаючи різницю часу приходу розраховуються координати точки попадання кулі [11]. Дана мішень зображена на малюнку 1.4.

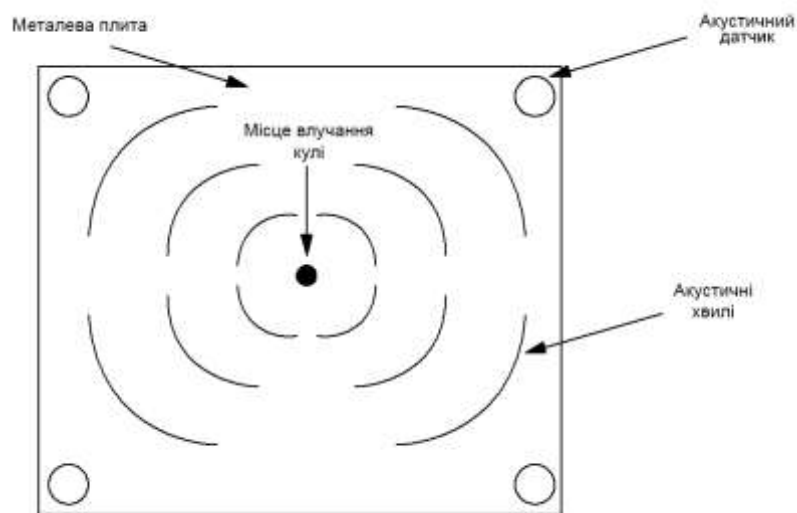


Рисунок 1.4 – Мішень на основі акустичних датчиків

Електронних стрілецьких тренажерів, в свою чергу, превелика безліч, кожен має під собою специфічну технічну і методичну основу. В основі всіх електронних стрілецьких тренажерів лежить застосування лазерного випромінювача і електронної мішені. Класифікувати їх можна за кількома ознаками.

За методом визначення координат:

- з вимірюванням амплітуди;
- з вимірюванням зсуву частот;

- з вимірюванням фазового зсуву.

Найпростішим і точним способом визначення координат є амплітудний метод. В якості вимірювача амплітуди в мішені може служити один або кілька фотоелементів, або відеокамера з подальшою обробкою зображення на ПК [12,13]. Це найпоширеніші методи, між собою відрізняються швидкістю і точністю вимірювань. Для фотоелементів це використання матричного розташування фотоприймачів після світлофільтру мішені або застосування матричних / секторних світлофільтрів перед одним фотоприймачем; пошук точки перетину радіус-амплітуд в чотирьохелементних мішенях; кореляційна обробка, узгоджена фільтрація, метод моментів при обробці зображення з відеокамери. Частотні і фазові методи зустрічаються в одиничних випадках: подвійне опромінення лазерним променем механічно коливаються координатних пластин і вимірювання відповідного зсуву частот в тренажері Клюкова А.П. і використання інтерферометра для визначення фазового зсуву в патенті Веркиенко А. Ю [8].

За приймальним фотоелементом:

- на основі одного фотоелемента;
- на основі чотирьох фотоелементів;
- на основі матриці фотоелементів;
- на основі відеокамери.

Залежно від необхідної швидкодії і точності визначення координат використовуються різні види фотоелементів і, відповідно, пристроїв обробки в комплекті з ними.

По розташуванню приймальних елементів:

- на стороні мішені;
- на стороні випромінювача.

Більшість приймальних елементів в лазерній системі стрілецького тренажера знаходиться за або перед мішенню, але є ряд патентів, в яких приймальний блок розміщений на стовбурі макета зброї. Використовується цей метод у разі повторного опромінення гвинтівки лазерним променем з боку

мішені і визначенням кута нахилу ствола для подальшого обчислення траєкторії польоту кулі, або в разі безпосереднього стеження за мішенню за допомогою відеокамери на макеті зброї і фіксації появи лазерної плями на дистанції стрільби [12,13,14].

По розміщенню:

- стаціонарний;
- переносний.

У свою чергу, в залежності від виконання, мішені можна розділити на стаціонарні і переносні. Стаціонарні стрілецькі комплекси відрізняються високою точністю і швидкодією, що добре, але часто потрібна можливість здійснювати тренування поза приміщеннями, поєднувати їх з фізичними тренуваннями (наприклад, біатлон).

### 1.3 Використання електронних стрілецьких тренажерів

Мисливці і стрілки-спортсмени кажуть: щоб стріляти добре, стріляти треба багато. Тут, як і в будь-якому іншому виді діяльності, необхідна практика. Однак важливо не просто багато тренуватися, а й зуміти правильно організувати тренувальний процес.

У багатьох західних державах культура поводження зі зброєю стала невід'ємною частиною загальної культури народу. Це послужило поштовхом до популяризації стрілецького спорту, будівництва численних тирів і стрільбищ, появи всіляких секцій, клубів, асоціацій, які, в свою чергу, продовжували пропагувати стрілянину як вид розважального дозвілля, проводячи видовищні змагання. Але головне – це призвело до стрімкого розвитку найрізноманітніших супутніх виробництв.

Одним з перспективних напрямків став випуск електронних стрілецьких тренажерів. Як правило, це імітатори зброї або випромінює насадка, яка встановлюється на бойовий зразок, плюс приймач імпульсу і комп'ютер, за допомогою якого обробляється результат.

На початку дев'яностих справжній фурор викликала поява системи «Бім хіт», яка дозволяла проводити безпечні тренування з використанням особистої зброї практично в будь-якому приміщенні [1]. Ця система була спеціально створена для стрілецької підготовки снайперів і груп антитерору. Сьогодні даний тренажер встановлений вже у всіх поліцейських підрозділах Австрії та Німеччини, що свідчить про широке його визнання серед професіоналів.

Великий інтерес до розробки стрілецьких тренажерів пояснюється тією обставиною, що при їх використанні в навчальному процесі різко зростає ефективність навчання, скорочуються терміни навчання, може бути досягнута значна економія матеріальних і грошових ресурсів, забезпечується безпека в процесі навчання без кульової стрільби. Перехід від кульової стрільби з викидом хімічних продуктів згоряння пороху і забрудненням навколишньої місцевості свинцем до її імітації повністю знімає проблеми екології та захисту навколишнього середовища.

Однак якщо зброя (або його макет, сама мішень) пов'язана з'єднувальним кабелем з персональним комп'ютером, то це виключає можливість проведення тренувань зі стрільбою з різних положень, з перебіжками, з витяганням, наприклад, пістолета з кобури або переведенням зброї з похідного положення в бойове. З цієї причини в даний час найбільш перспективними вважаються стрілецькі тренажери, в яких зброя не має ніяких сполучних кабелів, а сама мішень – переносна. Випромінювач при цьому розміщений в стволі, а електронна схема, і елементи живлення, найчастіше - всередині магазину [15]. Така схема дає стрілку повну свободу пересування на вогневій межі, не змінює габаритні і вагові характеристики зброї.

Електронні стрілецькі тренажери дозволяють об'єктивно оцінювати стійкість зброї, яка з об'єкта пильного спостереження стрілка і його суб'єктивних оцінок перетворюється в реальний предмет для вдосконалення.

Зазвичай мішень встановлюється на відстані 5-25 метрів від стрілка і може моделювати ціль, що знаходиться на дистанції до 100 м, а на деяких тренажерах і до 600-1000 м.

Стрілецькі тренажери призначені як для початкового навчання стрільбі з бойової та службової зброї, так і для подальших повсякденних тренувань в організаціях і фірмах, що мають справу зі зброєю і стрілецькою підготовкою (підрозділи служб безпеки України, митниці, інкасації, курси підготовки охоронців і охоронців і т.п.) з метою вдосконалення отриманих навичок. Вони дозволяють проводити відпрацювання хвата зброї, прицілювання і спуску курка в точності відповідного стрільбі з бойової зброї.

Бойові патрони при цьому не витрачаються і, що особливо важливо, повністю виключена можливість нещасних випадків. До безперечних переваг тренажерів слід віднести їх низьку вартість і швидку окупність, можливість проведення тренувань з використанням практично будь-якого виду зброї, простоту установки і налаштування.

До складу типового стрілецького тренажера входять випромінювач, фотоприймач і, часто, персональний комп'ютер.

Випромінювач може бути, як лазерний, так і оптико-електронний. Лазерний випромінювач при "пострілі" формує короткий імпульс і дозволяє визначити точку попадання в мішень, однак є можливість стежити і за траєкторією руху променя, тим самим відпрацьовувати механізм прицілювання.

Об'єктивна картина переміщення точки прицілювання дає наступні переваги перед традиційними методиками:

- стійкість зброї з об'єкта пильного спостереження стрілка і його суб'єктивних оцінок перетворюється в реальний об'єкт для вдосконалення,
- при постійному порівнянні стрільцем інформації про точку прицілювання на пристрої індикації з його власними відчуттями, з'являється можливість більш точної оцінки якості окремих елементів виконаного пострілу (прицілювання, спуску курка і т.д.).

Особливо важливою властивістю лазерного електронного тренажера є можливість архівації результатів стрільби, що особливо необхідно при постійному навчанні великих груп стрільців, наприклад, у військово-навчальних закладах [8]. Викладач вогневої підготовки в будь-який момент

може побачити на екрані монітора результати стрільби того чи іншого стрілка, при цьому відображаються конкретні точки попадання, а не загальна сума очок.

#### 1.4 Параметри деяких лазерних стрілецьких тренажерів

Звертаючись до існуючих лазерних стрілецьких тренажерів, відзначимо основні чисельні параметри і особливості деяких з них.

Основними параметрами є:

- похибка вимірювання;
- швидкодія;
- кількість одночасно оброблюваних цілей.

Найпростіший, але від того не менш ефективний для тренувань, тренажер використовує мішень на основі одного фотоелемента. Він не здатний визначати координати точки попадання, за винятком його модифікацій, відповідно похибка вимірювань даного тренажера оцінювати недоцільно. Подібний тренажер описаний у патенті України № № 83387, від 10.09.2013 [4]. Його зовнішній вигляд представлений на малюнку 1.5.



Рисунок 1.5 – Лазерний стрілецький тренажер на основі одного фотоприймача

У його комплект входить макет зброї з вбудованим в нього лазерним випромінювачем і / або спеціальна насадка на бойову зброю, п'ятисекційна мішень, в кожній секції якої знаходиться по одному фотоелементу. Даний тренажер призначений для тренувань біатлоністів на дистанціях 50 м. При влучанні в світлофільтр активної зони мішені загоряється світлодіод, пов'язаний з пороговим пристроєм схеми обробки. На мішені встановлений інфрачервоний випромінювач зворотного каналу, призначений для активації макета зброї за допомогою встановленого на ньому інфрачервоного приймачі, тільки в разі наведення його на область мішені. Для запобігання впливу зовнішнього засвічення використовується модуляція лазерного променя. На рисунку 1.6 зображена структурна схема одного каналу прийому даного тренажера.



Рисунок 1.6 – Канал прийому стрілецького тренажера на основі одного фотоелемента

Характеристики тренажера:

- Тривалість лазерного імпульсу: 20 мс;
- Потужність випромінювання: 1 мВт;
- Довжина хвилі: 650 нм;
- Частота модуляції лазерного променя: 50 кГц;
- Кількість одночасно оброблюваних цілей: 5.

В якості ще одного прикладу хочеться відзначити лазерні тренажери «Рубін» ЛТ-ЕМ1..3. Електронний лазерний тренажер ЛТ-ЕМ забезпечує звукову і світлову індикацію при попаданні лазерного променя в мішень.

Тренажер виключає суб'єктивний фактор при фіксації пострілу. Тренажер ЛТ-ЕМ складається з лазерної насадки і електронної мішені. На рисунку 1.5 зображений комплект мішені і лазерної насадки.



Рисунок 1.7 – Лазерна насадка і мішень ЛТ-ЕМ, «Рубін»

Мішень являє собою матрицю з активних приймальних елементів, поруч з якими розташовані індикаторні світлодіоди. Подібна схема описана і в патенті РФ №2397423, 20.03.2009 [9].

Характеристики тренажера:

- Тривалість лазерного імпульсу: 60 мс;
- Потужність випромінювання: 1 мВт;
- Довжина хвилі: 650 нм;
- Частота модуляції лазерного променя: 6,2 кГц;
- Похибка: в залежності від кількості приймальних елементів.

У тому випадку, коли немає необхідності використовувати тренажер поза приміщеннями, краще використовувати стаціонарні мультимедійні стрілецькі тренажери.

## 1.5 Основи зовнішньої балістики

Для наближення умов тренування до реальних, зокрема для моделювання такого сильного подразника при стрільбі, як звук пострілу, кожен тренажер може бути укомплектований імітатором звуку пострілу. Високий ступінь наближення синтезованого звуку пострілу до реального досягається за допомогою мультимедійних або професійних звукових карт, звук з яких передається на акустичні системи. Щоб при тренуванні гучні звуки пострілів не заважали оточуючим, імітатор може бути виконаний в бездротовому варіанті. Звук пострілу при цьому по радіоканалу передається на головні телефони стрілка.

При подальшому наближенні тренувань з лазерними насадками до реальних, є можливість застосовувати додаткові пневматичні системи для імітації віддачі при стрільбі [6].

Як відомо кулі, дріб, картеч та інші снаряди літають по параболічній траєкторії, а лазерний промінь б'є строго по прямій. У цій невідповідності є деяка проблема, яку необхідно вирішувати при розробці лазерних тренажерів.

Лінія прицілювання проходить над стволом, і через це приціл повинен стояти під кутом до ствола, тобто ствол щодо лінії прицілювання дивись вгору.

Схематично зобразимо лінію прицілювання, промінь лазера і траєкторію польоту кулі на рисунку 1.8.

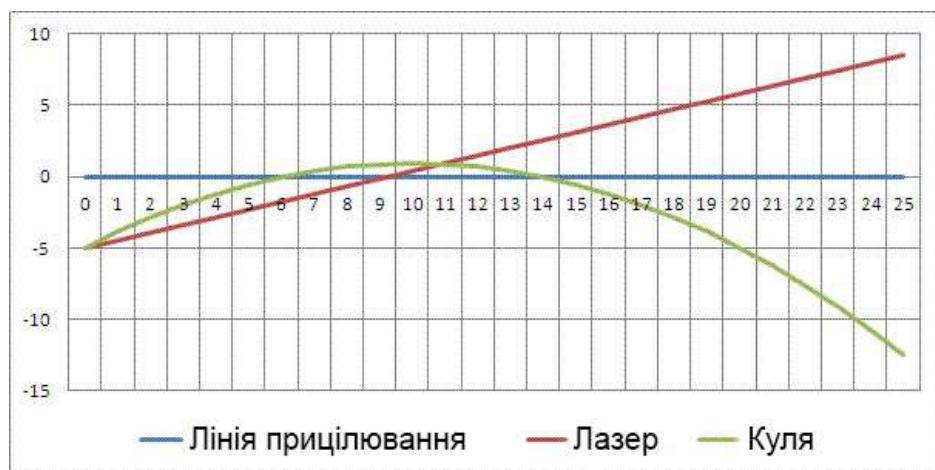


Рисунок 1.8 – Порівняння лінії прицілювання, траєкторії польоту кулі і напрямку променю лазера

Куля на початку свого польоту піднімається до лінії прицілювання, перетинає її, деякий час летить з над нею, проходячи по шляху точку найбільшого піднесення, потім знижуючись перетинає її ще раз і далі продовжує політ зі зниженням [16, 17].

Промінь лазера просто перетинає лінію прицілювання знизу-вгору під деяким кутом.

Якщо ви потрапляєте точно в ціль не вносячи поправок при прицілюванні, значить мета стоїть або в першій, або в другій точці перетину траєкторії польоту кулі з лінією прицілювання. При цьому зазвичай зі збільшенням відстані до мішені цілитися треба вище, так як куля більшу частину своєї траєкторії знижується. Для гвинтівок біатлоністів на дистанції 50 метрів куля знижується приблизно на два-три сантиметри. З лазером все відбувається навпаки, тобто чим далі відходиш від мішені, тим вище потрапить лазер і на цьому руйнується можливість виробити автоматизм правильного прицілювання при перенесенні вогню на різновіддалені мішені [2].

Варіанти вирішення цього завдання:

- ручне зміщення лазера в залежності від дистанції стрільби.
- облік необхідних поправок при обчисленні координат попадання.

Але для розрахунку необхідних і точних поправок необхідно звернутися до теорії зовнішньої балістики.

Балістика вивчає метання снаряда (кулі) зі ствольної зброї. Балістику поділяють на внутрішню, яка вивчає явища відбуваються в стовбурі в момент пострілу, і зовнішню, що пояснює поведінку кулі після вильоту зі стовбура.

Знання зовнішньої балістики (далі балістики) дозволяє стрілку ще до пострілу з достатньою для практичного застосування точністю знати, куди потрапить куля. На точність пострілу впливає маса взаємопов'язаних факторів: динамічна взаємодія деталей і частин зброї між собою і тілом стрілка, газу і кулі, кулі зі стінками каналу ствола, кулі з навколишнім середовищем після вильоту зі ствола і багато іншого.

Після вильоту зі ствола куля летить не по прямій, а по так званій балістичній траєкторії, близькій до параболи. Іноді на малих дистанціях стрільби відхиленням траєкторії від прямолінійної можна знехтувати, проте на великих і граничних дистанціях стрільби знання законів балістики абсолютно необхідно. Зауважимо, що пневматична зброя зазвичай надає легкій пулі невелику або середню швидкість (від 100 до 380 м/с), тому викривлення траєкторії польоту кулі від різних впливів значніше, ніж для вогнепальної зброї.

На кулю, що вилетіла зі стовбура з певною швидкістю, в польоті діють дві основні сили: сила тяжіння і сила опору повітря. Дія сили тяжіння направлено вниз, воно змушує кулю безперервно знижуватися. Дія сили опору повітря направлено назустріч руху кулі, воно змушує кулю безперервно знижувати швидкість польоту. Все це призводить до відхилення траєкторії вниз [16].

Для підвищення стійкості кулі в польоті на поверхні каналу ствола нарізної зброї є спіральні канавки (нарізи), які надають Пулі обертальний рух і тим самим запобігають її перекидання в польоті.

Внаслідок обертання кулі в польоті, сила опору повітря діє нерівномірно на різні частини кулі. В результаті куля зустрічає більший опір повітря однієї зі сторін і в польоті все більше і більше відхиляється від площини стрільби в бік свого обертання. Це явище називається деривацією. Дія деривації нерівномірна і посилюється до кінця траєкторії [17].

На траєкторію польоту кулі також впливають метеоумови-вітер, температура, вологість і тиск повітря.

Вітер вважається слабким при його швидкості 2 м/с, середнім (помірним) - при 4 м/с, сильним - при 8 м/с. бічний Помірний вітер, що діє під кутом  $90^\circ$  до траєкторії, вже досить значно впливає на кулю. Вплив вітру тієї ж сили, але дме під гострим кутом до траєкторії- $45^\circ$  і менше-викликає вдвічі менше відхилення кулі. Вітер, що дме уздовж траєкторії в ту чи іншу сторону, уповільнює або прискорює швидкість кулі, що потрібно враховувати при стрільбі по рухомої мети. Під час проведення стрільб біатлоністів на дистанції стрільби стрілки

вміють оцінювати з прийнятною точністю напрямок вітру за допомогою розміщених уздовж дистанції стрільби прапорців.

Нормальними метеоумовами вважаються: температура повітря-плюс 15°C, вологість - 50%, Тиск - 750 мм ртутного стовпа. Перевищення температури повітря над нормальною призводить до підвищення траєкторії на тій же дистанції, а зниження температури - до зниження траєкторії. Підвищена вологість призводить до зниження траєкторії, а знижена - до підвищення траєкторії. Атмосферний тиск змінюється не тільки від погоди, але і від висоти над рівнем моря-чим вище тиск, тим нижче траєкторія.

Для кожної "далекобійної" зброї і боєприпасу існують свої таблиці поправок, що дозволяють враховувати вплив метеоумов, деривації, взаєморозташування стрілка і цілі по висоті, швидкості кулі та інших факторів на траєкторію польоту кулі.

При оцінці результатів стрільби потрібно пам'ятати, що на кулю з моменту пострілу і до кінця її польоту діють деякі випадкові (не враховуються) фактори, що призводить до невеликих відхилень траєкторії польоту кулі від пострілу до пострілу. Тому навіть в "ідеальних" умовах (наприклад, при жорсткому закріпленні зброї в верстаті, сталості зовнішніх умов і т.п.) попадання куль в ціль мають вигляд овалу, згущується до центру. Такі випадкові відхилення називаються девіацією.

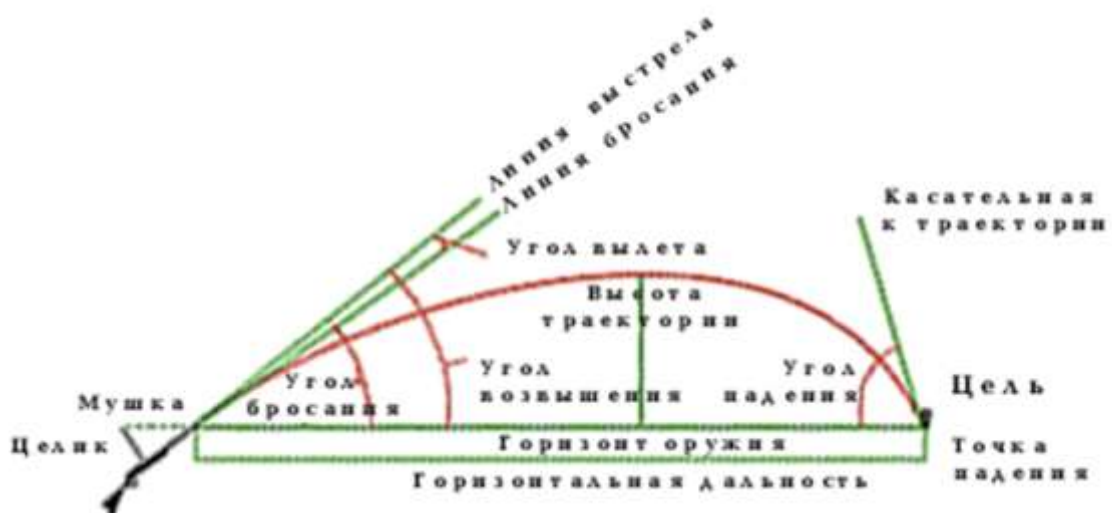


Рисунок 1.9 – Траєкторія польоту кулі і її елементи

На рисунку 1.9 зображена траєкторія польоту кулі і її елементи.

Пряма лінія, що представляє продовження осі каналу ствола до пострілу, називається лінією пострілу. Пряма лінія, що є продовженням осі стовбура при вильоті з нього кулі, називається лінією кидання. Через коливання ствола його положення в момент пострілу і в момент вильоту кулі зі ствола буде відрізнятися на кут вильоту.

В результаті дії сили тяжіння і сили опору повітря куля летить не по лінії кидання, а по нерівномірно зігнутій кривій, що проходить нижче лінії кидання.

Початком траєкторії є точка вильоту. Горизонтальна площина, що проходить через точку вильоту, називається горизонтом зброї. Вертикальна площина, що проходить через точку вильоту по лінії кидання, називається площиною стрільби.

Щоб докинути кулю до будь-якої точки на горизонті зброї, необхідно лінію кидання направити вище горизонту. Кут, складений лінією пострілу і горизонтом зброї, називається кутом піднесення. Кут, складений лінією кидання і горизонтом зброї, називається кутом кидання.

Точка перетину траєкторії з горизонтом зброї називається точкою падіння. Відстань по горизонту від точки вильоту до точки падіння називається горизонтальною дальністю. Кут між дотичною до траєкторії в точці падіння і горизонтом зброї називається кутом падіння.

Найвища точка траєкторії над горизонтом зброї називається вершиною траєкторії, а відстань від горизонту зброї до вершини траєкторії - висотою траєкторії. Вершина траєкторії ділить траєкторію на дві нерівні частини: висхідну гілку - довшу і пологіу і спадну гілку - коротшу і круту.

Розглядаючи положення мети щодо стрілка, можна виділити три ситуації:

- стрілок і мішень розташовані на одному рівні;
- стрілок розташований нижче мішені (стріляє вгору під кутом);
- стрілок розташований вище мішені (стріляє вниз під кутом);

Для того, щоб направити кулю в ціль, необхідно надати осі каналу ствола певне положення у вертикальній і горизонтальній площині. Надання потрібного

напрямку осі каналу ствола в горизонтальній площині називається горизонтальною наводкою, а надання напрямку у вертикальній площині - вертикальною наводкою.

Вертикальна і горизонтальна наводка проводиться за допомогою прицільних пристосувань. Механічні Прицільні пристосування нарізної зброї складаються з мушки і цілика (або діоптра).

Пряма лінія, що з'єднує середину прорізи цілика з вершиною мушки, називається прицільною лінією.

Наводка стрілецької зброї за допомогою прицільних пристосувань здійснюється не від горизонту зброї, а щодо розташування цілі.

Точка, по якій наводиться зброя, називається точкою прицілювання. Пряма лінія, що з'єднує око стрілка, середину прорізи цілика, вершину мушки і точку прицілювання, називається лінією прицілювання.

Кут, утворений лінією прицілювання і лінією пострілу, називається кутом прицілювання. Цей кут при наводці виходить шляхом установки прорізи прицілу (або мушки) по висоті, відповідної дальності стрільби.

Точка перетину спадної гілки траєкторії з лінією прицілювання називається точкою падіння. Відстань від точки вильоту до точки падіння називається прицільною дальністю. Кут між дотичною до траєкторії в точці падіння і лінією прицілювання називається кутом падіння.

При розташуванні зброї і цілі на однаковій висоті лінія прицілювання збігається з горизонтом зброї, а кут прицілювання - з кутом піднесення. При розташуванні цілі вище або нижче горизонту зброї між лінією прицілювання і лінією горизонту утворюється кут місця цілі. Кут місця цілі вважається позитивним, якщо мета знаходиться вище горизонту зброї і негативним, якщо мета знаходиться нижче горизонту зброї.

Кут місця цілі і кут прицілювання разом складають кут піднесення. При негативному куті місця цілі лінія пострілу може бути спрямована нижче горизонту зброї; в цьому випадку кут піднесення стає негативним і називається кутом схилення.

У своєму кінці траєкторія кулі перетинається або з метою (перешкодою), або з поверхнею землі. Точка перетину траєкторії з метою (перешкодою) або поверхнею Землі називається точкою зустрічі. Від кута, під яким куля потрапляє в ціль (перешкоду) або в землю, їх механічних характеристик, матеріалу кулі залежить можливість рикошету. Відстань від точки вильоту до точки зустрічі називається дійсною дальністю.

У таблиці 1.1 наведені значення абсолютного зниження гвинтівкового патрона для біатлону на дистанції до 50 м, вплив вітру за умови, що він рівномірний на всій дистанції стрільби і дорівнює 7 м/с, як показано на рисунку 1.10, а, діє на першій і останній третині дистанції як показано на рисунку 1.10,б і 1.10,в.

Таблиця 1.1 – Таблиця поправок на вітер і дальність

Дистанція, м	Знос а, см	Знос б, см	Знос в, см	Зниження, см
10	0.1	0.1	0	0,08
12	0.4	0.2	0	0,11
14	0.6	0.2	0	0,15
16	0.8	0.3	0	0,19
18	0.9	0.4	0	0,25
20	1	0.5	0	0,31
22	1.1	0.6	0	0,37
24	1.3	0.7	0	0,44
26	1.4	0.8	0	0,52
28	1.6	1	0	0,6
30	1.8	1.1	0	0,69
32	2	1.3	0.1	0,79
34	2.2	1.4	0.15	0,89
36	2.4	1.6	0.2	1

Продовження табл. 1.1

38	2,6	1,8	0,28	1,12
40	2,9	2	0,32	1,24
42	3,2	2,2	0,37	1,37
44	3,5	2,4	0,41	1,51
46	3,8	2,6	0,45	1,66
48	4,1	2,9	0,5	1,81
50	4,3	3,1	0,6	1,96

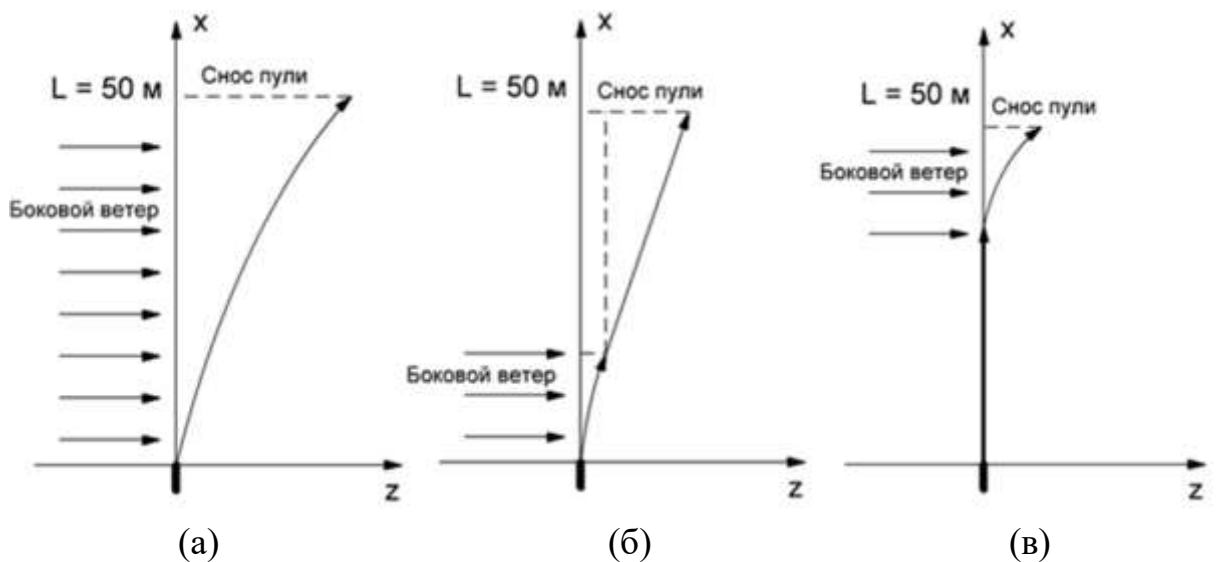


Рисунок 1.10 – Знесення кулі при рівномірному вітрі(а), знесення кулі при вітрі на першій (б) і останній третині (в) дистанції стрільби

Помітно, що вплив вітру найбільший на початковій ділянці, що потрібно враховувати в програмі балістичного калькулятора, а саме – облік швидкості і напрямку вітру на кожній ділянці стрільби.

## 1.6 Використання мультимедійних стрілецьких тренажерів

Мультимедійні стрілецькі тренажери зазвичай призначені для отримання навичок стрільби з бойової штатної зброї в обстановці, максимально наближеній до бойової, а також з пневматичної і травматичної зброї.

На відміну від відомих систем-імітаторів, які не створюють умов, навіть віддалено схожих на стрільбу з бойової зброї (віддача, звук, особливості поведінки конкретного зразка зброї, зворотній зв'язок з об'єктом ураження), стрільба в мультимедійному тирі може вестись з табельної бойової зброї по зображенням реального розміру на екрані 2 x 3 метрів і більше.

Під час стрільби в мультимедійному тирі стрілок стає учасником кінофільму, де сюжет розгортається в реальному часі, а ситуація миттєво змінюється в залежності від влучності вистрілу. Кількість можливих сюжетів для тирю, вправ, типів мішеней та варіантів їх розвитку не обмежена.

З метою придбання навичок стрільби в умовах, наближених до бойових, в ряді країн (США, Німеччина, Україна, Росія) були розроблені мультимедійні тирі, в яких використані кращі сторони ігрового і комп'ютерного кіно, мультимедійних комп'ютерних ігор, враховані досвід і правила стрільби в тирах з вогнепальної зброї, побажання співробітників поліції, міліції, служб безпеки та охорони, спецпідрозділів по боротьбі з тероризмом. Найбільш близькими аналогами є тирі українського і російського виробництва: «Інгул» (ООО «Герц» м. Кіровоград), Айсберг С-300 (ICEBERG м. Москва), «Тир» («Аптаріс» м. Москва), САПК «Бойовий тир» («Техконсул» м. Москва) [1].

Однак вони мають ряд недоліків. Як екран в них використовується зварена з листів спеціального сплаву металева плита розміром до 2,5x5 метрів і масою до 3000 кг, по кутах якої, на тильній стороні, розміщені акустичні датчики. На екрані за допомогою відеопроєктора відтворюються збережені в пам'яті керуючого комп'ютера стандартні нерухомі, що з'являються або переміщуються мішені, або різні відеосюжети, за якими здійснюється стрільба з бойової зброї. Точка влучення кулі визначається по різниці часу приходу

акустичних хвиль до датчиків з цієї точки. Неможливість створення однорідної металевої плити призводить до істотних погрешностей визначення координат точки влучення (до 4 см). При виконанні декількох пострілів з інтервалом часу менше 0,5 с., система дає неправильні показання, так як під час пострілу в металевій плиті ще існують незатихлі акустичні хвилі від попереднього пострілу. Крім того, застосування дорогої металевої плити викликає ще і обмеження використовуваної зброї за калібром і дульної енергії, а також призводить до рикошетів, що не дозволяє здійснювати тренування на малих відстанях від екрану.

## 2 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ СЮЖЕТУ

### 2.1 Ігрові движки

Враховуючи необхідність забезпечити тренування стрільби в умовах найбільш наближеним до реальних, інтерактивний анімаційний сюжет буде являти собою анімацію створену на основі ігрового движка. Це дозволить змоделювати бойову операцію засобами 3D графіки з рухомими мішенями і інтерактивним оточенням.

З точки зору універсальності, потужності, популярності та використання в галузі – є два, найбільш популярних: ігровий движок Unity3d і Unreal Engine. Обидва двигуна мають великий набір інструментів, включаючи редактор ландшафту, симуляцію фізики, анімацію, покращене освітлення, підтримку віртуальної реальності тощо. Але останнім часом багато розробників з малими або середніми проектами під керуванням Unity3d починають переходити на Unreal Engine. Деякі навіть намагаються зробити свої перші повноцінні проекти на Unreal Engine. Для вибору оптимальної середі розробки анімаційного сюжету було розглянуто плюси і мінуси кожного движка.

#### 2.1.1 Графічні можливості

Однією з головних відмінностей при розгляді Unity3d від Unreal Engine є якість візуальних ефектів. Художники, як правило, віддають перевагу Unreal Engine, тоді як програмісти, віддають перевагу Unity3d. З Unreal Engine можливо домогтися кращої візуалізації набагато швидше. Unreal Engine пропонує високоякісні візуальні ефекти прямо з коробки, тоді як в Unity3d вони поставляються у вигляді ассетів, які вимагають окремої установки [18].

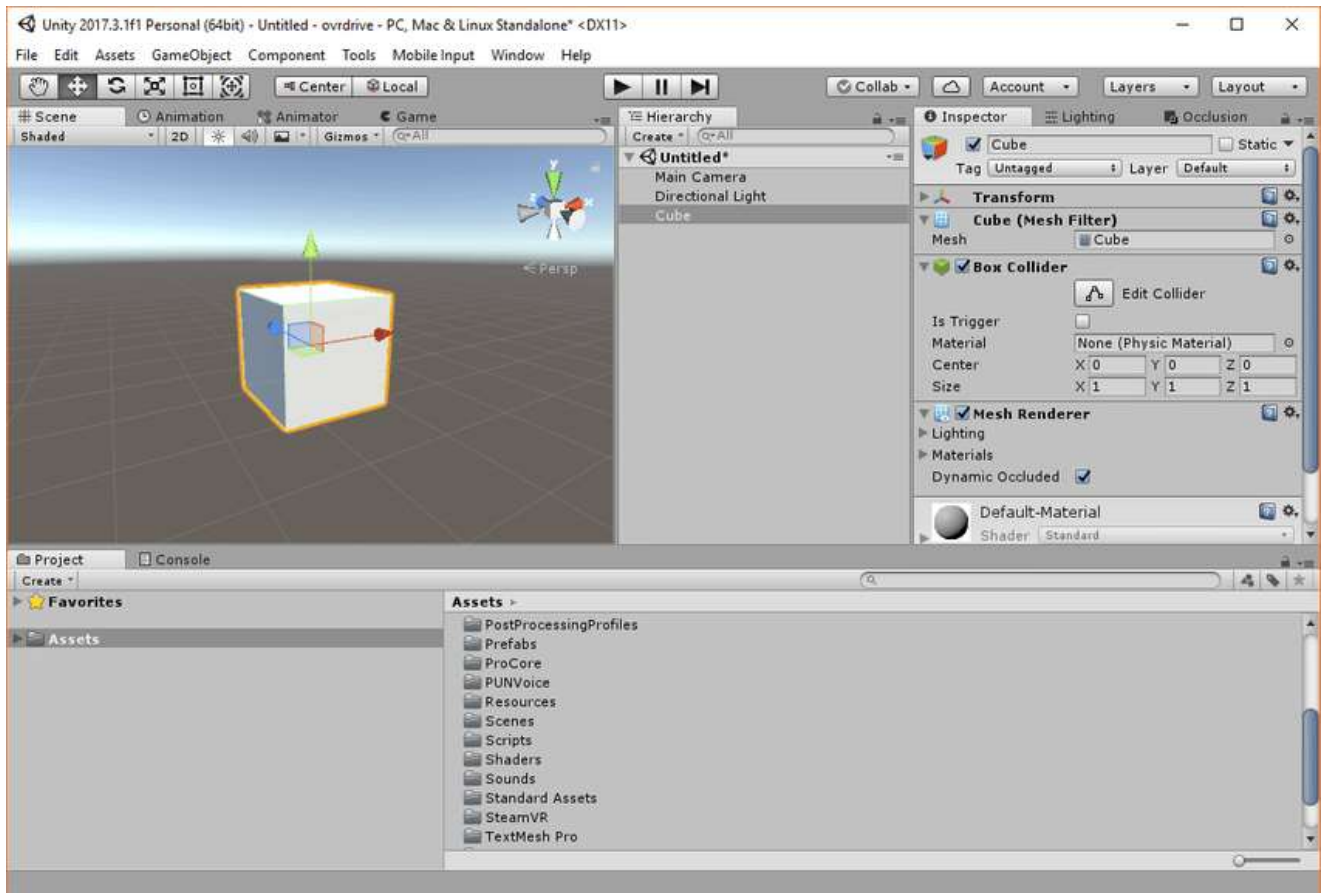


Рисунок 2.1 – Інтерфейс Unity3d

Інструменти, доступні в Unreal Engine, такі як редактор матеріалів, зручні для редагування 3D-моделей. У той час як редактор матеріалів Unity3d ще не повністю розроблений.

В Unreal Engine вбудований постпроцесинг. До сцени можна застосовувати bloom-ефект, тонування і антиаліасінг як глобально, так і до окремих її частин. В Unity3d також є стек постпроцесингу, який можна завантажити з магазину асетів движка. Система менш гнучка, ніж в Unreal Engine – ефекти застосовуються тільки стеком або скриптами до камери [19].

В той час як Unity3d, хоч і здатний створювати високоякісні візуальні ефекти, вимагає набагато більше роботи: змінити систему візуалізації з базової на HDRP, замінити світло і скайбокс на більш приємні. Але навіть після трансформації такий же результат не вийде. В основному це пов'язано з тим, що студія Еріс, як розробник движка з 90-х років, накопичила великий досвід і кожен раз створювала щось нове, а іншим доводилося наздоганяти.

Саме з цієї причини Unreal Engine частіше використовується у великих іграх і постановках великих студій. Так що, якщо ви хочете якомога ближче підійти до фотореалістичних проєктів, швидше і простіше домогтися цього за допомогою Unreal Engine. А Unity3d більше орієнтований на невеликі проєкти, зроблені в основному в 2D і для мобільних пристроїв.

### 2.1.2 Програмування логіки і механік роботи проєкту

Ще одна важлива перевага Unreal Engine - велика інтуїтивність. Якщо ви хочете зробити щось в движці від Epic Games, у вас завжди під рукою є маса хороших рішень, що працюють всебічно за замовчуванням. Не потрібно турбуватися про будь-які додаткові речі, які необхідно завантажувати або переписувати вручну, щоб змусити працювати. В Unity3d доведеться покопатися в правильних інструментах для створення того ж, що в Unreal Engine є спочатку. Десь буде потрібно більше роботи з програмування, а значить часу і коштів.

Не секрет, що велика частина грошей на реалізацію проєкту оцінюється в кількості робочих годин хорошого програміста. Через обмеженість бюджету хочеться зробити якомога більше, не залучаючи дорогого фахівця в усі дрібниці. В Unity3d немає такої ж маси корисних опцій, тому підготовка прототипу ігрової сцени дизайнером іноді обмежується тим фактом, що відсутні необхідні інструменти і плагіни, і необхідно чекати, поки програміст їх напише. В Unreal Engine потрібно вивчити невеликі правила візуального написання сценаріїв, і можна робити практично все.

Як приклад візьмемо дві прості речі: анімацію дверей і постановочну сцену. Щоб зробити інтерактивну анімацію відкриття дверей в Unity3d, потрібно знати, як правильно запрограмувати таку механіку на C#, підключити виявлення зіткнень і підготувати послідовність анімації – це три різних вікна і вимога знання мови програмування. Також можлива реалізація і через

інструмент візуального програмування Volt – влітку 2020 року він став безкоштовним [18].

Для програмування в Unreal Engine використовується мова C++, який не всі люблять через складність і тривалості компілювання. Однак у движка зрозумілий API і прийнятний період компіляції. У Unreal Engine дуже потужна і опрацьована система візуального скриптування - Blueprints, за допомогою якої можна досягти практично тих же результатів, що і с C++.

В Unreal Engine все, що потрібно зробити – створити відповідний Blueprint, в який можна додати зіткнення, послідовність анімації і підготувати робочий механізм за допомогою декількох простих зав'язків [19]. Процес на двох движках багато в чому схожий.

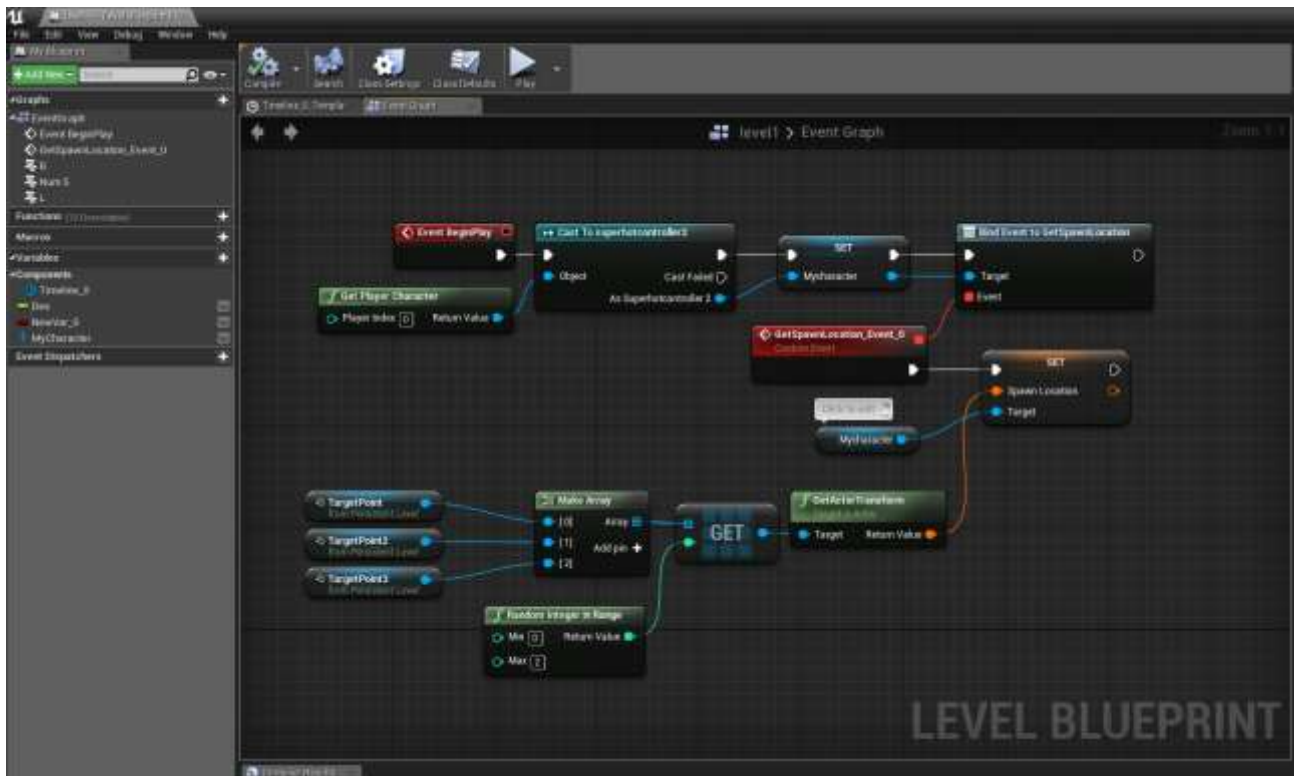


Рисунок 2.2 – Система візуального скриптування Blueprints в Unreal Engine

Unity3d підтримує мови C# і Unity3dScript. API і його концепт дуже схожий на аналог з UE4. При використанні керованої мови на зразок C#, програміст не зобов'язаний використовувати покажчики (pointers), компілювання відбувається швидко. У Unity3d немає системи візуального

скриптування, і щоб використовувати щось подібне, розробник змушений купувати сторонні доповнення на зразок Playmaker.

### 2.1.3 Кількість і доступність додаткових інструментів і матеріалів для розробки

В обох движках є статичні меши (static meshes) — їх можна рухати, повертати, і масштабувати – і скелетні меши (skeletal meshes) - геометричні об'єкти, що прив'язані до кісток скелета і використовуються для анімації персонажів. Їх можна створювати в програмах на зразок Blender або Maya.

Анімації, включені для скелетних мішків, також можна імпортувати. В Unity3d вони прикріплюються до імпортованого об'єкта, як кліпи анімації (animation clips), а в Unreal Engine називаються послідовностями анімації (animation sequences). У першому руху управляються за допомогою контролерів анімації (animation controllers), а в другому за тим же принципом діють анімаційні Blueprint [18].

В обох движках є стейт-машини, що визначають переходи з одного стану ассета в інший. В Unreal Engine система називається Persona, а в Unity3d – Mecanim. Також можливе застосування скелетних мешей одного скелета до інших, але в Unity3d це в основному використовується для анімації гуманоїдів.

В Unreal Engine анімації можна редагувати, в Unity3d – практично немає такої можливості, особливо погано справа йде з рухами гуманоїдів. Можна зробити висновок, що движки не підходять для професійної анімації персонажів – краще використовувати програми на зразок Blender або Maya, а результат імпортувати у вигляді fbx-файлів. Прикріплений до об'єктів матеріал додається в проект, але його властивості на зразок шейдера або текстур доведеться застосовувати вручну.

Для цього в Unity3d потрібно задати матеріал шейдеру і додати в його слоти текстури – карти шорсткостей, нормалей або дифузії. Власні шейдери доведеться писати самостійно або за допомогою сторонніх інструментів на

зразок Shader Forge. А в Unreal Engine вже вбудований дуже потужний редактор матеріалів, заснований, як і система Blueprints, на нодах.

Що до контролю версій, коли ми створюємо щось в Unreal Engine, потрібно просто вибрати одну конкретну версію, наприклад, 4.26, і більше не варто турбуватися про те, що вона буде оновлюватися щотижня і швидко застаріє. Коли Unreal Engine отримує патч в одній редакції, перехід практично непомітний.

У випадку з Unity3d потрібно подумати про те, в якій версії ми хочемо працювати, тому що не кожна отримає довгострокову підтримку від компанії. Якщо це станеться, патчів буде дюжина, і перехід, наприклад, з Unity3d 2020.1.2 на Unity3d 2020.12 викличе технічні проблеми.

У питаннях підтримки продукту, Epic забезпечує повну підтримку, допомагає з вирішенням навіть маленької проблеми і пропонує детальну документацію по своїх інструментах.

З Unity3d все трохи складніше, і іноді швидше знайти рішення через спільноту, ніж від самої компанії. Крім того, документація та навчальні посібники Unity3d можуть бути складними та нечитабельними, тоді як Epic Games навіть фінансує компанії, які створюють хороші підручники для спільноти Unreal Engine.

Як вже згадувалося раніше, Unity3d дуже популярний серед інді-розробників. З іншого боку, Unreal Engine, хоча і відомий тим, що є двигуном великих студій, гігантів AAA, повільно забирає свою частку інди ринку. Це викликано не лише зміною цінової політики Unreal Engine. Unreal Marketplace повний ассетів, які ви можете використовувати для створення прототипів, а також додаткових плагінів, і спільнота швидко зростає.

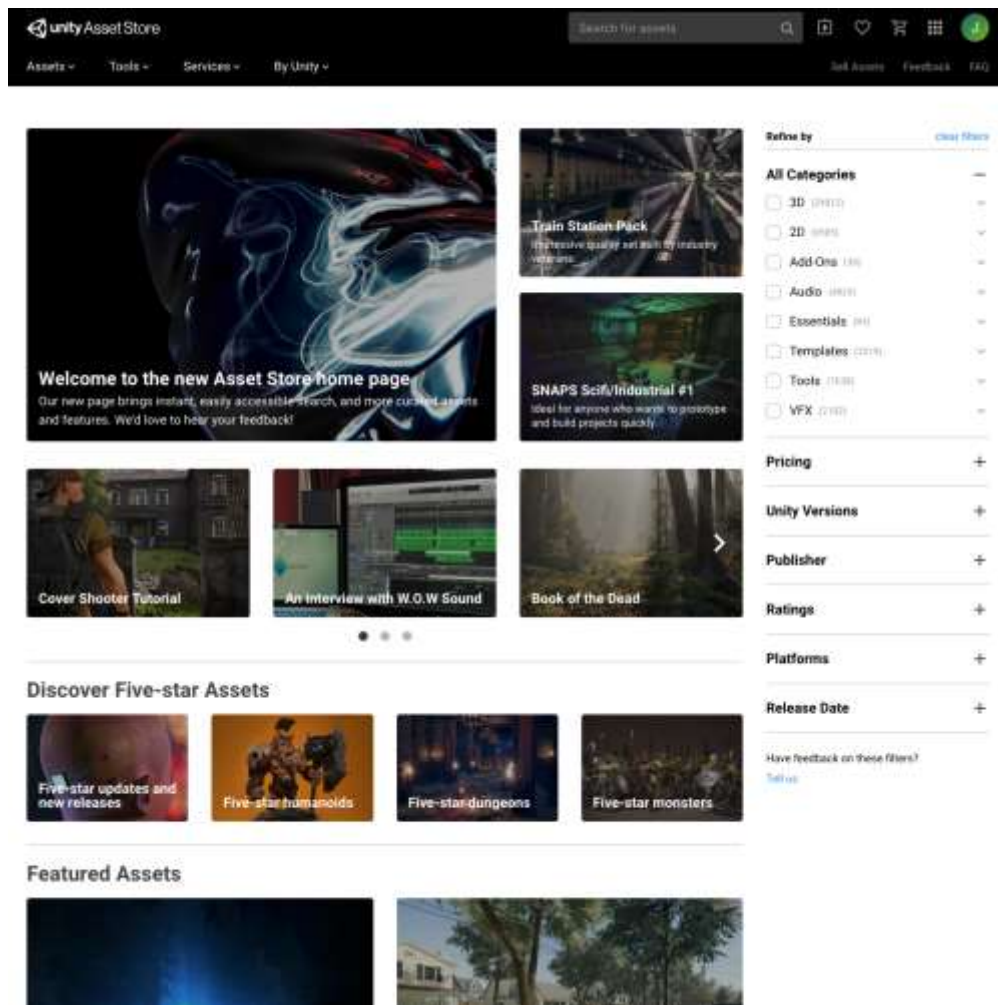


Рисунок 2.3 – Сторінка магазину асетів Unity3d

Магазин асетів Unity3d величезний і до краю заповнений 3D-ресурсами, з деякими невеликими, але помітними колекціями 2D-асетів, шаблонів і VFX. Навчальні матеріали в достатку представлені на веб-сайті платформи.

Хоча ринок асетів Unreal Engine менший, він також пропонує пристойну різноманітність, в основному орієнтовану на ігрові елементи. А ще кожен місяць проходить безкоштовна роздача відібраних пакетів асетів, що дає перевагу у питаннях ціни. Розробники підтримуються великої кількістю посібників та форумів.

### 2.1.4 Економічна складова

Unreal Engine і Unity3d є умовно безкоштовними. Повна версія Unreal Engine буде безкоштовною для вас, поки дохід від гри становить менше \$ 3 000 в квартал, якщо ж більше — вам доведеться ділитися 5% від своїх доходів.

З Unity3d все складніше. Якщо доходи вашої компанії становлять менше \$ 100 000 на рік, ви можете використовувати безкоштовну версію, але вона не повна. Хоч і безкоштовної версії цілком достатньо для написання повноцінної гри, в ній відсутні деякі важливі можливості: такі, як заміна стандартного splash screen або створення Asset bundle. Базовий план Unity3d персональний можна використовувати безкоштовно, але більш широкі та бізнес-орієнтовані плани коштують 399 доларів США на рік або більше. На професійну версію Unity3d потрібно витратити один раз \$1 500 або купити підписку за \$75 на місяць. Якщо ви розробляєте мобільні ігри, тоді на цьому ваші витрати не закінчуються. Доведеться сплатити ще \$1 500 (\$75 на місяць) за IOS ліцензію і стільки ж за Android.

### 2.1.5 Висновки

Короткий підсумок переваг і недоліків обох движків:

Unity3d:

- Відмінно підходить для створення простих мобільних додатків, включаючи прототипи та мобільні додатки AR / VR;
- Найширша доступна кросплатформна підтримка;
- Більш просте і швидке кодування за допомогою C#;
- Значний магазин ассетів;
- Полірування графіки вимагає більше часу і роботи;
- Рендеринг може бути повільним без оптимізації.
- Unreal Engine:
  - Орієнтований на досягнення найвищої якості графіки;

- Дозволяє користувачам будувати ігрові механіки і налаштовувати шейдери без кодування;
- Високий рівень постобробки;
- Кращі умови ліцензування для маленьких проектів та щомісячні роздачі в магазині асетів;
- Використання більш складної для вивчення мови C++ для створення складних проектів.

Якщо спуститися на рівень коду, то Unity3d виграє тим, що це C#, писати на якому легше. У Unity величезна спільнота, і на YouTube можна знайти багато інструкцій, тому навіть без навичок програмування за допомогою цього движка можна реалізувати щось нескладне.

Unreal Engine відмінно підходить для швидкого прототипування, великих ігор, у нього відкритий код, але для роботи потрібні знання в області C++. Велика перевага-можливість створити повноцінну гру практично без коду.

У Unity3d злегка нижче системні вимоги, сам движок і проекти на ньому займають менше місця на диску.

Два движка здатні видавати приблизно однакову графіку. Спочатку вона краще в Unreal Engine, але все залежить від досвіду розробників.

З іншого боку, при створенні невеликих 2D і 2,5 D-ігор, Unity3d – кращий вибір, особливо коли мова про продукт з сенсорним інтерфейсом. Зворотна сторона-закритий код Unity3d і без Bolt (інструмент віртуального програмування) потрібно навчитися програмувати. Але навчання відносно просте через безліч безкоштовних і платних курсів.

Як бачимо, все залежить від того, якими проектами хоче займатися студія. Якщо це мобільна гра в 2D або 2,5 D – розробники явно виберуть Unity через простоту. Unreal Engine не створювався для 2D-ігор і реалізація проекту додасть непотрібну складність. Але якщо планується файтинг, гонка, серйозний шутер – краще вибрати Unreal Engine.

Виходячи з розглянутих особливостей був обраний Unreal Engine від компанії Epic Games. В якості його головних переваг перед аналогом в лиці

Unity3d можна виділити безкоштовну ліцензію на використання, широкий спектр інструментів для виконання поставленого завдання, а також відносну простоту використання, у зв'язку з відсутністю необхідності застосування мов програмування для написання логіки і механіки взаємодії об'єктів.

## 2.2 Створення 3D моделей і анімацій

Maya і Blender – одні з найбільш затребуваних програм для 3D моделювання та анімації.

Autodesk Maya – це редактор тривимірної графіки, доступний на Windows, macOS та Linux. Maya має широку функціональність 3D-анімації, моделювання та візуалізації. Програму використовують для створення анімації, середовищ, графіки руху, віртуальної реальності та персонажів. Широко застосовується у кінематографії, телебаченні та ігровій галузі. Спочатку розроблений Alias Systems Corporation, а потім викуплений та підтримується в даний час Autodesk, Inc.

Blender — це професійне вільне та відкрите програмне забезпечення для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає засоби моделювання, скульптингу, анімації, симуляції, візуалізації, постобробки та монтажу відео зі звуком, компонування за допомогою «вузлів» Node Compositing, а також створення 2D – анімації. Характерною особливістю пакету Blender є його невеликий розмір у порівнянні з іншими популярними пакетами для 3D-моделювання. Документація не входить, але доступна онлайн. Демонстраційні сцени можна завантажити на офіційному сайті або на сайті відкритих проєктів Blender Cloud.

Було проведено аналітичний огляд особливостей цих програм, порівнюючи їх сильні та слабкі сторони один з одним, з метою обрати оптимальний інструмент для виконання поставленого завдання.

Maya – це давня 3D-програма з 1998 року, існуюча під брендом Alias до злиття з Autodesk. Програмне забезпечення за ці роки стало галузевим стандартом для його потужних можливостей з великою деталізацією в анімації.

З моменту свого першого значного використання в CGI-фільмі Діснея "Динозавр" (2000), він став важливим інструментом театральних спецефектів і анімації.

У порівнянні з цим Blender є молодшою програмою, а також переслідує зовсім іншу мету. Випущений як безкоштовне програмне забезпечення в 2002 році, це був кам'янистий шлях програмного забезпечення, яке вимагало великого фінансування для підтримки з великою кількістю пагорбів і долин в його розробці.

Однак до 2006 року він розвинувся досить, щоб стати головним претендентом на анімацію за те, що був використаний в анімаційному короткометражному фільмі "Сон слонів". Сьогодні Blender виграє від зростаючої та гостинної спільноти аніматорів та розробників, які використовують програмне забезпечення з відкритим кодом у всьому, від короткометражних фільмів до анімаційних фільмів.

### 2.2.1 Моделювання

До середовища моделювання Maya дійсно потрібно звикнути, враховуючи, що вона трохи складніше в навігації, ніж її давній конкурент 3D Studio Max.

Формування моделі з примітивів з роками стало тільки простіше, щоб відразу приступити до складання, практично не займаючись початковим позиціонуванням і встановленням форматів редагування. Просто вставте куб і почніть штовхати і тягнути. Або намалюйте сплайн і отримайте поверхню.

Ряд інструментів, доданих за ці роки, також спростили створення більш чистої топології при складанні.

Блендер, однак, має дещо інший підхід до об'єднання груп вершин, а сімейства об'єктів пропонують набагато більший контроль, ніж більш детальна збірка моделі стає набагато менш лякаючою. Вибір трохи більш інтуїтивно зрозумілий, а модифікатори набагато простіше розміщувати на моделі і легко налаштовувати.

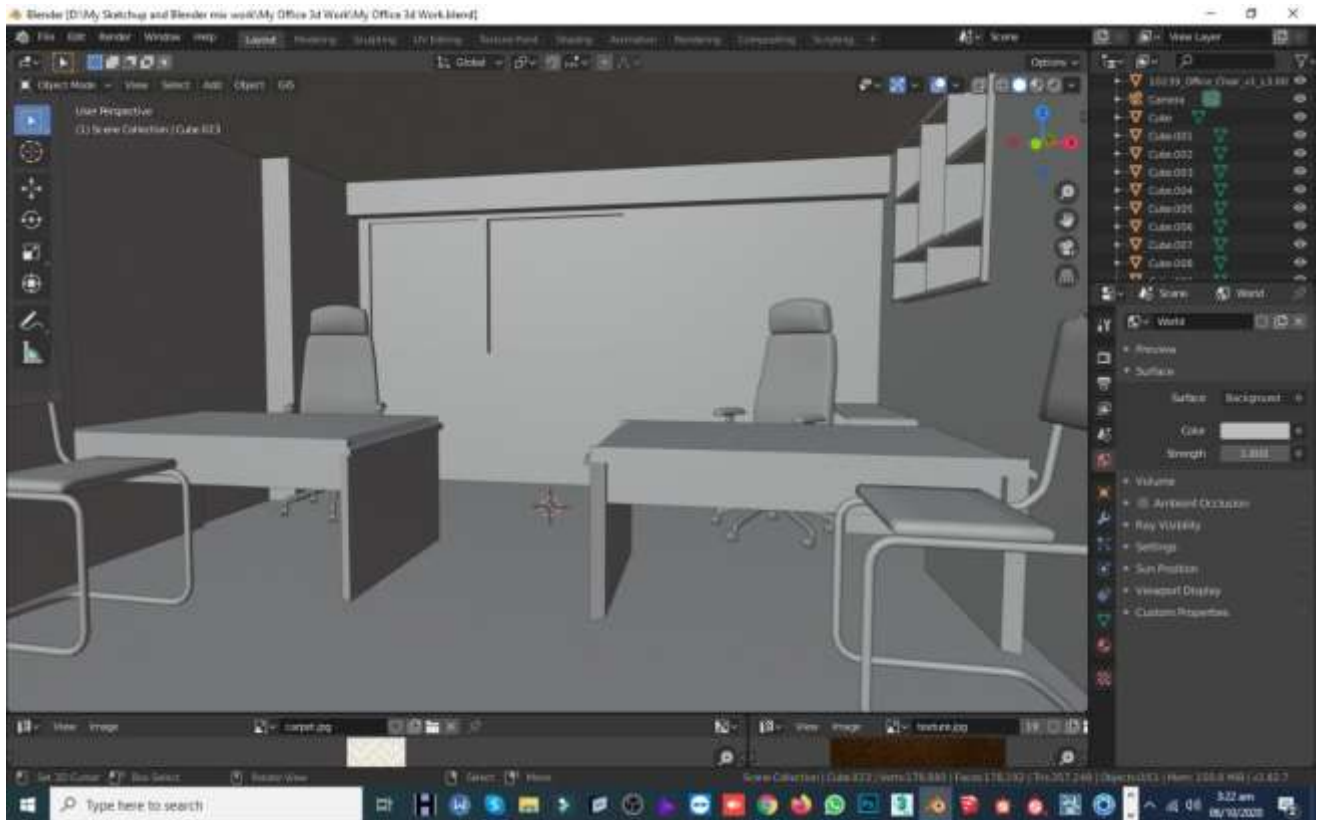


Рисунок 2.4 – Моделювання у Blender v2.8

3D-моделювання обох програм практично на одному рівні, але в робочому середовищі Blender є щось, що робить його більш привабливим для відображення і функціональним.

### 2.2.2 Текстурування

Інструменти текстурування Мауа досить великі, коли справа доходить до створення карт на ваших моделях. Коли справа доходить до більш дрібних деталей, їх відображення текстур не сильно змінилося за ці роки, що робить

Його досить легким для тих, хто знайомий з процесом, щоб повернутися до нього.

Однак для більш детальних моделей може виявитися досить складним завданням спробувати правильно підігнати карту, щоб ваша текстура розтягувалася правильно. Інтерфейс може стати досить завантаженим при спробі редагувати координати в такому середовищі.

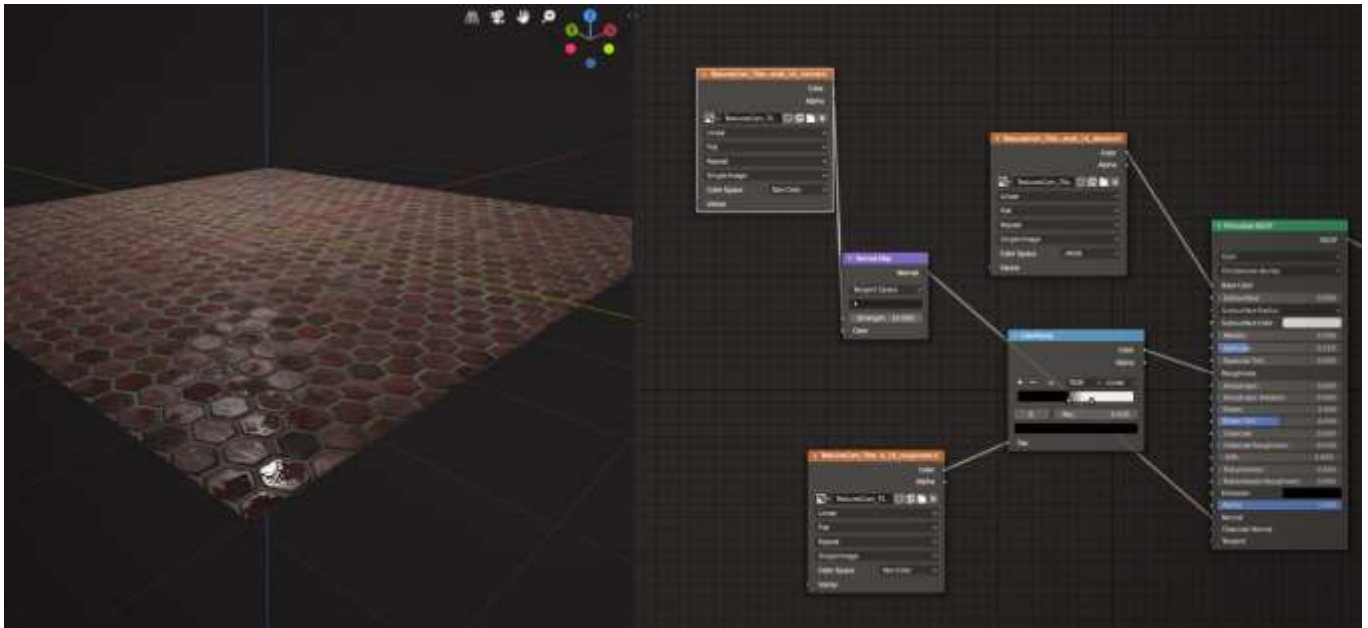


Рисунок 2.5 – Вікно текстурування Blender v2.8

Для порівняння, процес текстурування в блендері більш спрощений. Потрібен деякий час, щоб звикнути до спроби зіставити правильні карти, але після того, як ви освоїте їх, буде набагато швидше створювати моделі текстур в програмі. Це робить робочий процес трохи більш плавним для більш складних моделей.

### 2.2.3 Ріггінг

В області, де Maya завжди була досить сильна, це ріггінг. І з роками вона тільки поліпшується. Такі доповнення, як робочі процеси матричного приводу і вузли висновків, значно спростили настройку персонажа і його підготовку до анімації з великою кількістю деталей за короткий час [22].

Прискорені графічним процесором деформатори безконтактної обгортки також мають велику перевагу, оскільки програмне забезпечення може краще використовувати пам'ять для підвищення продуктивності в цьому відділі, що може бути досить трудомістким.

Що досить примітно в процесі оснащення Blender, так це те, що він має вражаючу схожість зі структурою кісток попереднього конкурента Maya, 3D Studio Max.

Структура кісток дивно схожа, як і варіанти автоматичного зняття шкіри. Інтерфейс скінінгу вершин також має ті ж кольори, що і більш яскраве відображення 3D Studio Max, що відображає вагу вершин тільки для правильного вкладення [22].



Рисунок 2.6 – Вікно ріггінгу Blender v2.8

Хоча це працює досить добре для середовища Blender, подібність до 3D Studio Max лише доводить, наскільки міцне оснащення Maya зберігалось з плином часу, що значно полегшує навігацію та використання Maya для налаштування моделей персонажів.

## 2.2.4 Анімація

Blender абсолютно затьмарює Maya, коли справа доходить до інструментів анімації. Незважаючи на те, що обидві програми мають однакові програми прямої/зворотної кінематики, які забезпечують більш прості засоби пересування, Blender має ще кілька ключових компонентів, які роблять його ідеальним для анімації.

Редактор поз анімації персонажів спрощує об'єднання рухів і ключових кадрів. Інструмент нелінійної анімації допомагає спростити більш незалежні дії.

А інструмент синхронізації звуку спрощує синхронізацію губ та інших звукових анімацій, коли справа доходить до редагування кінцевого продукту.

Maya не зовсім позбавлена функцій Blender, хоча вони і не настільки витончені. Два додатки мають схожі функції клавіш форми, обмежень і траєкторій руху, які допомагають зробити потік анімації більш витонченим. У них є кілька незначних відмінностей, але по суті вони служать одним і тим же засобам.

Інструменти анімації Maya все ще вимагають декількох додаткових кроків для звикання, коли справа доходить до введення вашої моделі, і часто можуть ускладнюватися на часовій шкалі [21]. Це може бути надзвичайно одноманітно, якщо у вас є персонаж з великою кількістю підлаштованих ручок.

Звичайно, існує безліч плагінів, які допоможуть спростити процес. Найбільш помітним з них є MotionBuilder, давня додаткова програма, яка показала, що вона краще покращує анімацію, створену Maya.

## 2.2.5 Інтерфейс

З перших днів свого існування інтерфейс Maya завжди здавався трохи лякаючим. У порівнянні з іншими програмами, це трохи захаращене

середовище при спробі пошуку відповідного примітиву або відповідного шейдера.

На щастя, за ці роки інтерфейс дещо покращився, але коли справа доходить до більш детальної роботи, інтерфейс може так легко захаращуватися при установці вікон.

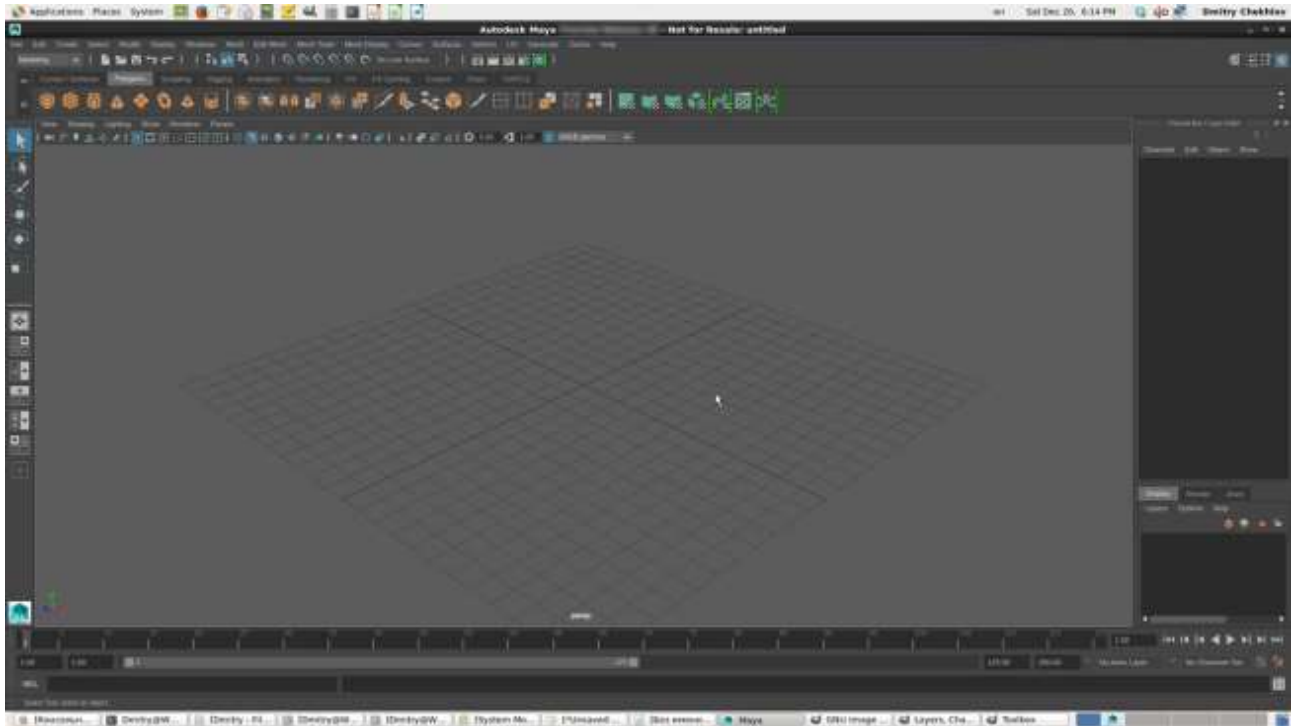


Рисунок 2.7 – Інтерфейс Мауа

Blender був створений, щоб бути набагато чистішим у своєму інтерфейсі, який залишався незмінним на всіх платформах. Що робить його інтерфейс менш складним, це проста розбивка трьох основних областей верхньої панелі вгорі, областей посередині і рядка стану внизу.

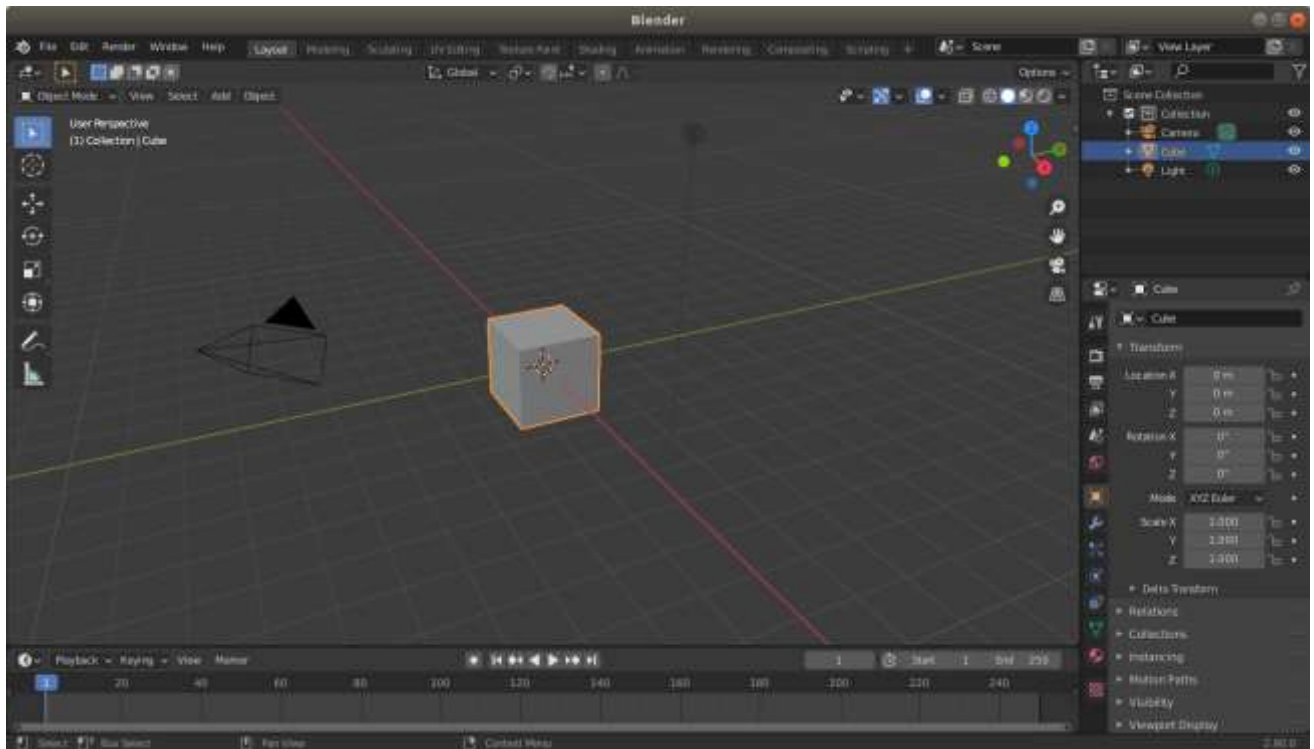


Рисунок 2.8 – Інтерфейс Blender v2.8

Він не тільки чистий, але і чіткий в тому, як він представляє текст, і в ньому відсутні дратівливі спливаючі вікна, які в іншому випадку заповнювали б екран. Їх редактор розкладки клавіш також досить великий, а додавання функції, сумісної з промисловістю, робить перемикання між іншими програмами набагато більш керованим [21].

Баланс інструментів Blender в надійному середовищі робить його явним переможцем у цій категорії.

### 2.2.6 Візуалізація

Формат рендеринга Maya за ці роки справив вражаючий зсув в якості. Їх найбільш захоплюючим доповненням є Arnold, інтегрований елемент, який забезпечує більше змін сцени в реальному часі, більш швидку візуалізацію видового екрану і прискорений час візуалізації для використання GPU і CPU для досягнення найшвидших результатів [21, 22].

Рендеринг Blender також не поганий, з безліччю елементів управління для досягнення найкращих результатів, включаючи формат послідовності кадрів, який найкраще використовувати для пошуку ідеального часу в анімації.

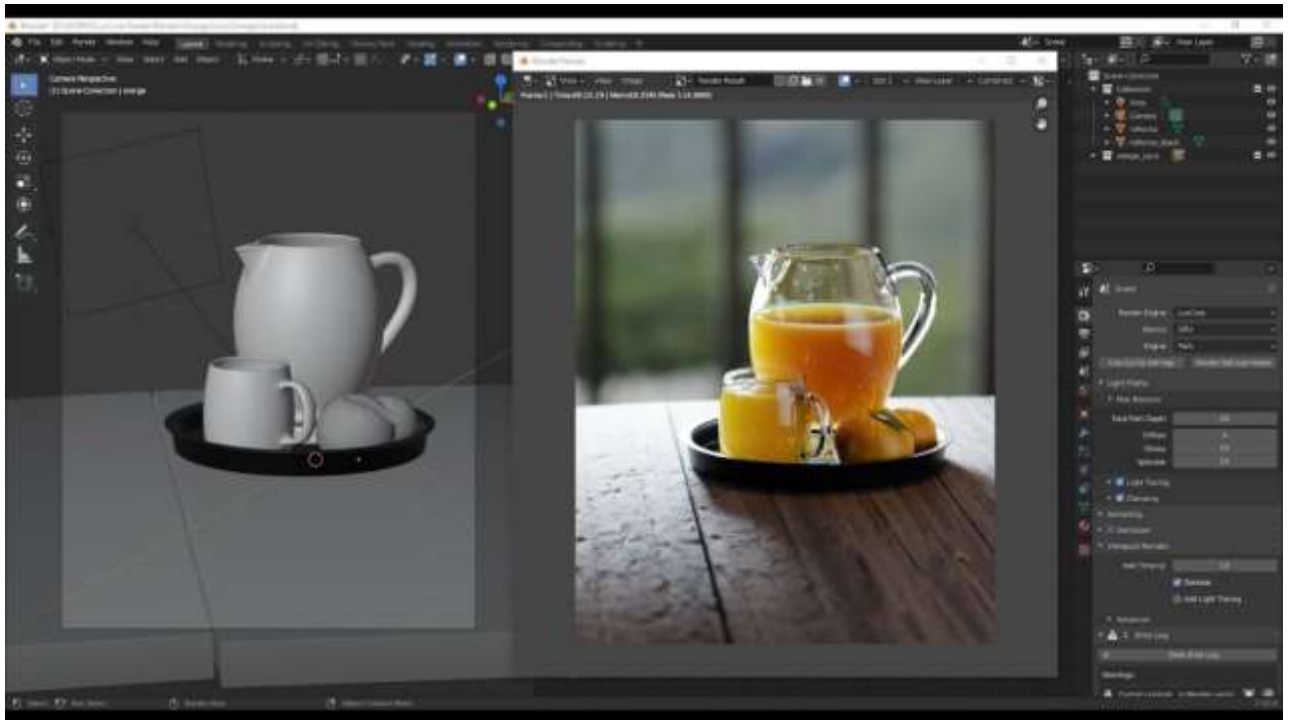


Рисунок 2.9 – Візуалізація Blender v2.8

Однак, коли справа доходить до більш складних проектів, прагнення Maya повністю використовувати максимальну віддачу від вашої машини робить її набагато більш вражаючою для більших проектів.

### 2.2.7 Плагіни

Є хороші і погані новини про Maya з точки зору її можливостей. Погана новина полягає в тому, що саме програмне забезпечення не пропонує повного набору інструментів для додаткової деталізації моделювання та анімації. Доброю новиною є те, що безліч плагінів за ці роки значно заповнили цю прогалину.

Якщо потрібно додати кілька додаткових зморшок цьому зловісному персонажу, якого ви моделюєте, перенесіть своє творіння в ZBrush, щоб легко виліпити деякі додаткові деталі.

Якщо необхідно, щоб м'язи вашого персонажа працювали більше, реалістично, використовуйте плагін Ziva. Потрібно, реалістичне відображення хутра, то спробуйте використовувати PG Yeti для кращого контролю деталей і динаміки хутра. Бажаючи трохи поліпшити фізику снігу, завантажте в Vifrost для поліпшення процедурної анімації. Blender також не надто відстав у питанні підтримки плагінів.

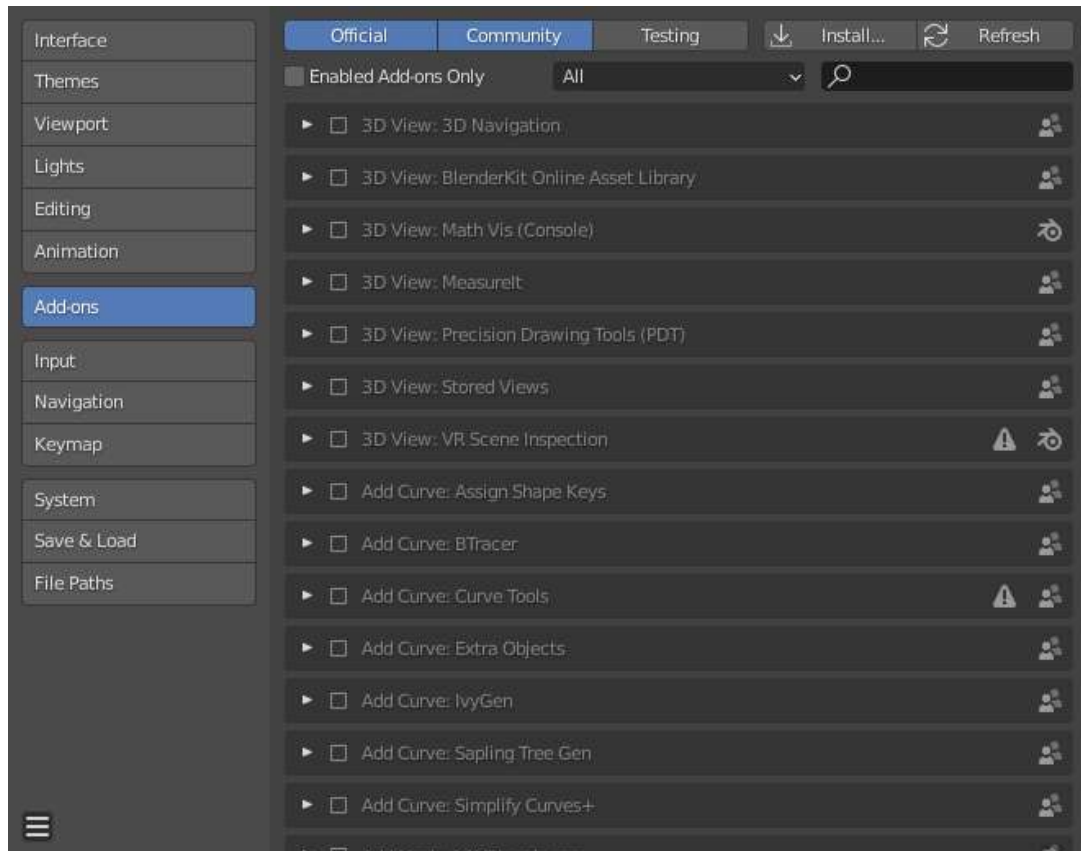


Рисунок 2.10 – Вікно плагінів Blender v2.8

Категорії плагінів досить близькі, враховуючи, що обидва додатки пропонують корисні функції, що мають велике значення. Maya, однак, має перевагу в тому, що їх плагіни є найбільш важливими і мають велике значення для її можливостей [22].

Є причина, чому Maya вважається найпопулярнішою, коли мова заходить про художні фільми, і більша частина цього - гнучкість і деталізація з додатковими плагінами до програмного забезпечення.

### 2.2.8 Робочий процес

Maya отримала вигоду з того, що вона існує вже багато років, і її робочий процес не надто змінився.

Новачки можуть отримати вигоду від цього, і можна знайти безліч навчальних посібників та книг на Майя, включаючи недорогі підручники, які пропонують більшість знайомих інструментів та процесів.

Різні інтеграції конвеєрів також принесли велику користь, забезпечуючи більшу гнучкість у виробництві, написанні сценаріїв, збірці сцен і багато іншого.

Робочий процес Blender за ці роки значно покращився, ставши набагато більш інтуїтивно зрозумілим. Присутня невелика крива навчання, але, враховуючи, що в Blender присутня безліч функцій, які зазвичай є доповненнями для повноцінного виробництва, робочий процес в порівнянні з цим трохи більш плавний.

Багато програмістів і розробників, присутніх в Blender Community, дозволило тільки поліпшити і налаштувати його, тому діапазон управління робочими процесами для цієї програми не має собі рівних.

### 2.2.9 Ціноутворення

Майя існує досить довго в якості галузевого стандарту, щоб це була виключно дорога технологія анімації. Був час, коли ціна однієї версії програмного забезпечення значно перевищувала 3000 доларів, і цього вистачило б вам тільки на той час, поки буде підтримуватися поточна версія.

Незважаючи на те, що ціна суттєво знизилася до моделі підписки в розмірі 215 доларів США на місяць або 1700 доларів на рік, це все ще є значною зміною для інвестування в якісне анімаційне програмне забезпечення, особливо якщо ви тільки починаєте освоювати галузь і не повністю навчені інтенсивному навчанню програмного забезпечення.

Звичайно, є безкоштовна пробна версія Maya, але, як і в моделі підписки, створюється враження, що існує суворий ліміт часу на спроби повною мірою розкрити потенціал Maya.

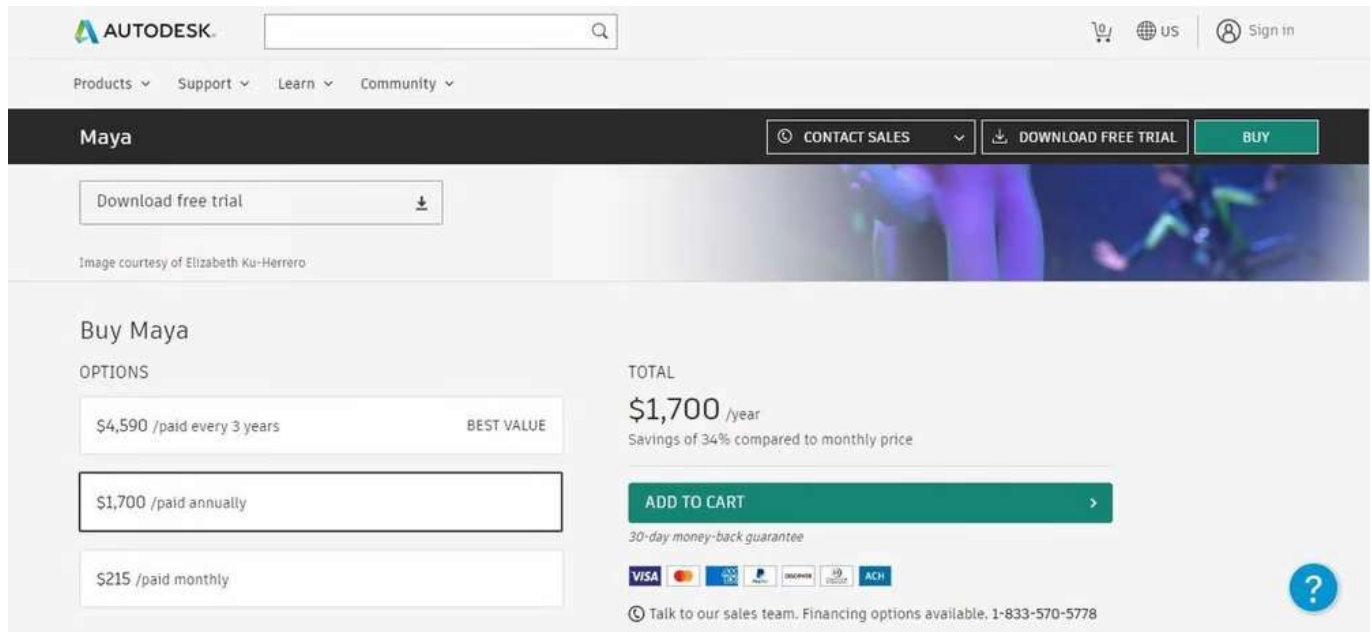


Рисунок 2.11 – Сторінка онлайн-магазину Maya

Однак Blender – це безкоштовна анімаційна програма, тому немає нічого страшного в тому, щоб дозволити собі достатньо часу, щоб вивчити програмне забезпечення і почати використовувати його для своєї особистої або комерційної роботи.

Він не тільки безкоштовний, але і з відкритим вихідним кодом, що робить його набагато зручнішим для розробників, які хочуть тільки попрацювати з програмним забезпеченням, щоб воно краще відповідало їх потребам, але також діляться своїми доповненнями.

Сам факт того, що Blender безкоштовний, робить його об'єктивним переможцем, але можливість створювати його таким чином без додаткових зборів або ліцензій просто робить вибір ще більш обґрунтованим.

До тих пір, поки Blender не об'єднається з іншою комерційною студією і не проведе ребрендинг, щоб стягувати плату за своє програмне забезпечення, Blender був явним переможцем у ціні протягом багатьох років і буде залишатися саме таким.



Рисунок 2.12 – Сторінка безкоштовної загрузки Blender

### 2.2.10 Підтримка

Враховуючи, що ціна підписки Maya досить висока, очікується, що вони запропонують трохи більше, ніж просто звичайну технічну підтримку. На щастя, вони пропонують набагато більше, ніж це.

Ще до того, як ви купуєте продукт, ви можете отримати безкоштовну консультацію від їх експертів про те, чи підходить вам Maya і чи варто інвестувати в ваше творче майбутнє.

Вони також пропонують онлайн-посилання на навчальні посібники, документацію, завантаження, статті з усунення несправностей та навчальні відеоролики, щоб ви могли швидко розпочати роботу. Вебінари та підтримка форуму також є великим плюсом.

Звичайно, все це повертається до ціноутворення. Підтримка Blender свого безкоштовного програмного забезпечення настільки ж численна. На своєму веб-сайті Blender пропонує безліч безкоштовних навчальних програм і навіть активний канал YouTube з безліччю навчальних програм і живими сесіями питань і відповідей.

Демонстраційні файли також можна завантажити з сайту, щоб отримати певний досвід роботи з робочими прикладами. Blender має власну соціальну мережу для підтримки та зв'язків з професіоналами, починаючи від сертифікованих тренерів Blender Foundation, розробників Blender і навіть студій.

З'єднайте все це з чатом з кодування Blender і безліччю активних спільнот через Stack Exchange і Reddit, і у вас повинно бути все під рукою, щоб використовувати Blender для будь-якої анімації, яка вам може знадобитися.

Той факт, що так багато цього дається безкоштовно, вражає, хоча вони також продають DVD-диски та книги для додаткової підтримки, якщо ви плануєте повністю взаємодіяти з програмним забезпеченням та його інклюзивною спільнотою.

Враховуючи, що Blender пропонує трохи більше підтримки і за ціною 0 доларів, зрозуміло, що Blender є переможцем у цьому відділі.

### 2.2.11 Висновок

Короткий підсумок кожного пункту порівняння обох програм:

- Моделювання. Хоча спочатку до середовища моделювання Blender може знадобитися деякий час на звикання, процес створення моделей в ньому відносно простий.
- Текстурування. Інструменти для обробки поверхні та текстурування в Blender трохи спрощені, ніж у Maya.
- Ріггінг. Завдяки безлічі різних плагінів, що допомагають в цьому процесі, складна система ріггінгу Maya забезпечує відмінний діапазон і контроль.
- Анімація. Завдяки безлічі поліпшень процес анімації в Blender відносно плавний, коли справа доходить до переміщення ваших скелетних моделей.
- Інтерфейс. Інтерфейс Blender з часом значно покращився, що дозволило йому стати однією з найбільш дружніх робочих середовищ.
- Візуалізація. Інструменти візуалізації в Maya напрочуд надійні і економлять досить багато часу.

- Плагіни. Пропрацювавши в галузі досить довгий час, багато плагінів Maya витримали випробування часом, щоб бути необхідними і цінними для створення високоякісної театральної анімації.
- Робочий процес. Хоча в обох є невелика крива навчання, Maya продовжує витримувати випробування часом для свого процесу створення анімації.
- Ціноутворення. Blender повністю безкоштовний.
- Підтримка. Спільнота 3D художників, створена навколо Blender, зробила його однією з найдоступніших анімаційних програм для підтримки.

Хоча Maya пропонує безліч стандартних для галузі функцій, Blender виділяється як чудова програма не тільки тим, що він безкоштовний, але і дружнім інтерфейсом, безліччю інструментів і простотою використання.

На студійному рівні Maya надає безліч інструментів для створення якісної анімації. Однак, якщо ви не є великою студією і просто хочете створити якісну 3D-анімацію за короткий час і без будь-яких витрат, Blender – це ваш вибір.

Це не лише вартість, хоча, Blender і має повний пакет, якщо у вас немає зайвих коштів у бюджеті, щоб витратити їх на додаткові плагіни або додаткове програмне забезпечення для редагування. Blender виграє за те, що пропонує більш повний пакет за нижчу ціну.

Немає ніяких сумнівів в тому, що Maya є галузевим стандартом для 3D-додатків, і є вагомі причини для його підтримки. Це дуже потужна програма, яка дозволяє користувачеві моделювати, текстурувати, візуалізувати, запускати симуляції та анімувати. З іншого боку, Blender завжди живе в тіні Maya і вважається аутсайдером в 3D-індустрії. Але це не означає, що Blender – гірший інструмент, ніж Maya.

У деяких областях Blender більш інтуїтивно зрозумілий, ніж Maya. Можна створити одну і ту ж анімацію, ресурс або візуалізацію в Maya або Blender. Це залежить від майстерності та ефективності розробника або художника, які домінують у створенні продукту.

Blender не краще Maya і навпаки. Maya проти Blender може робити речі краще, ніж інші. Існує безліч унікальних функцій Blender, які допомагають прискорити робочий процес або просто спростити завдання. У той самий час Maya надає певні компоненти, які набагато перевершують Blender. Зрештою, все зводиться до вартості, вимог і навичок художника, що буде працювати на проектом. Терміни та вартість проекту повинні бути ретельно продумані, перш ніж вибрати Maya або Blender.

Зважаючи на всі наведені переваги та недоліки цих програм, для виконання поставленого завдання був обраний додаток для роботи з 3D-графікою Blender.

## 3 СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЙНОГО СЮЖЕТУ

### 3.1 Створення проекту в Unreal Engine

Спочатку відкриваємо Unreal Engine і обираємо створити новий проект категорії Games. Обираємо шаблон First Person, тип проекту Blueprint і опцію No Starter Content. Вводимо назву проекту ShootingTraining.

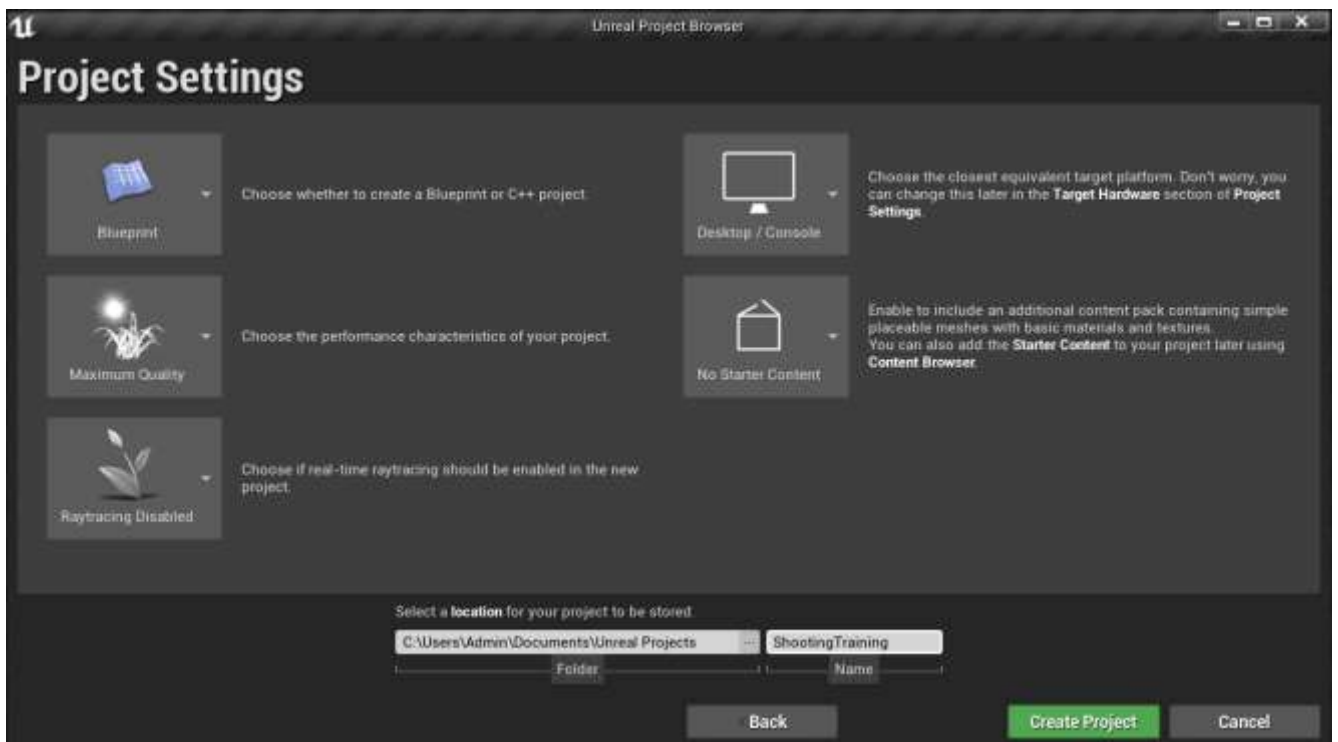


Рисунок 3.1 – Вікно налаштування нового проекту

### 3.2 Імпорт ассетів до проекту

У бібліотеці Epic знаходимо безкоштовний набір ассетів Modular Industrial Area і додаємо його до нашого проекту [20].

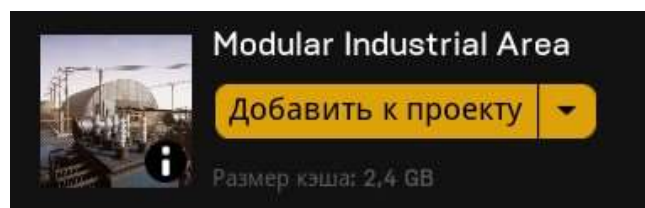


Рисунок 3.2 – Набір ассетів Modular Industrial Area у Epic Library

У папці цього набору знаходимо папку Maps і з неї відкриваємо вже змодельований рівень Industrial Area.

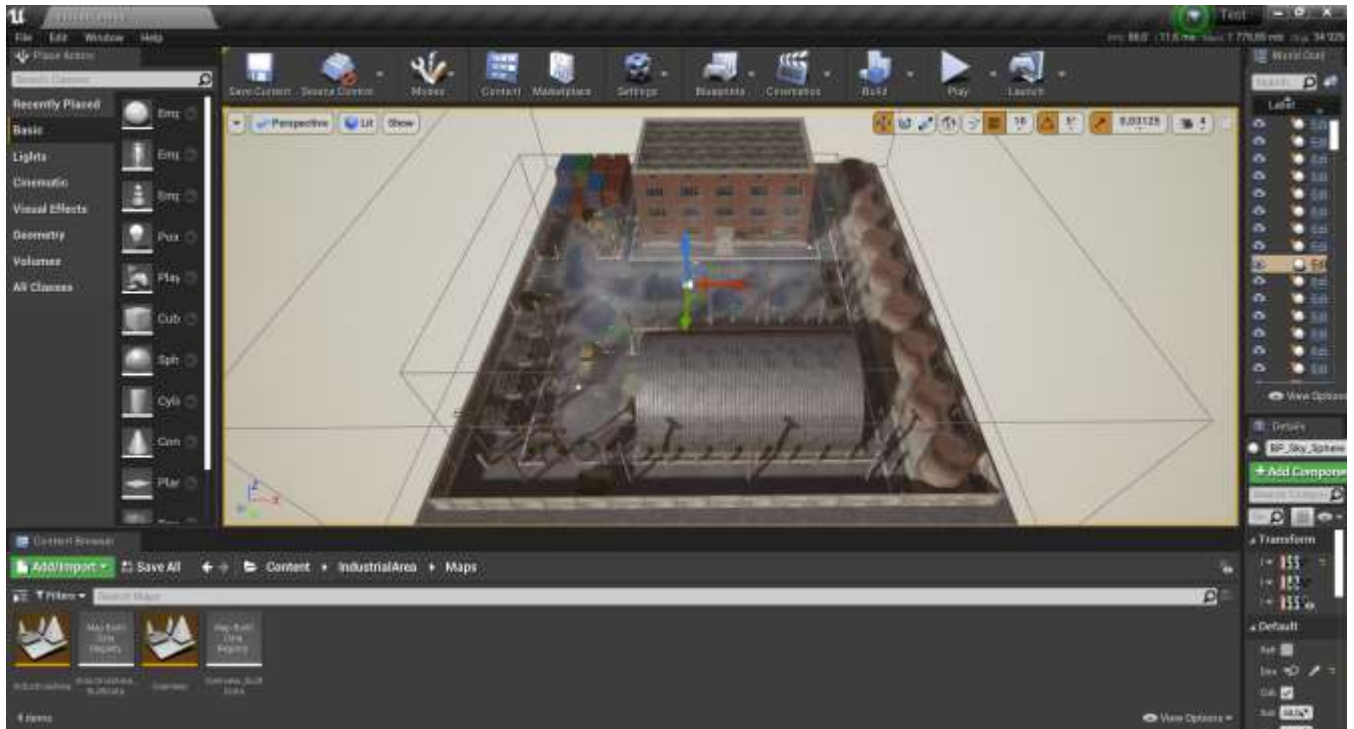


Рисунок 3.3 – Рівень Industrial Area

Далі потрібно імпортувати 3D моделі персонажів-мішеней у вигляді у озброєних солдат, завантажені безкоштовно з сайту <https://www.devsquadacademy.com/resources> [20]. Для цього у переліку ресурсів проекту створюємо папку з назвою Character. Із завантаженої папки перетягуємо файл Swat.fbx до папки Character, з цим до проекту підтягнеться сама 3D модель, скелет та матеріали. Те ж саме потрібно зробити і для імпортування 3D моделі зброї, її скелета та матеріалів. Щоб додати до проекту анімації, необхідно створити у папці Character ще одну папку з назвою Animations і перетягнути до неї всі файли анімацій.

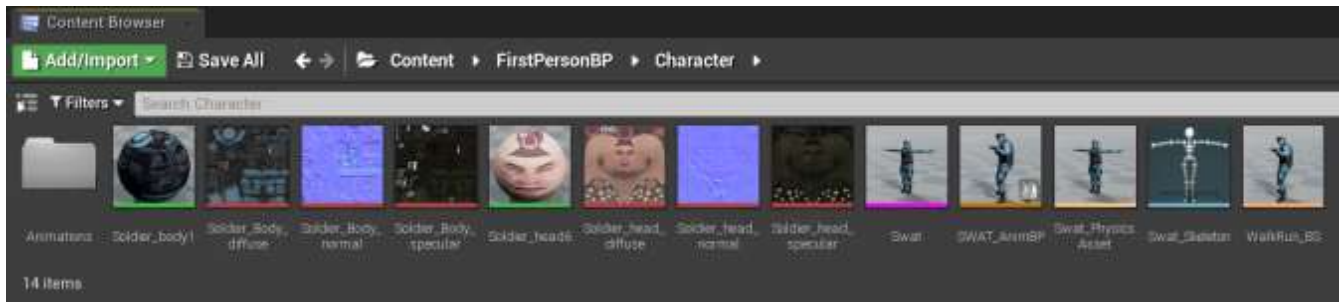


Рисунок 3.4 – Панель асетів персонажу-мішені Swat

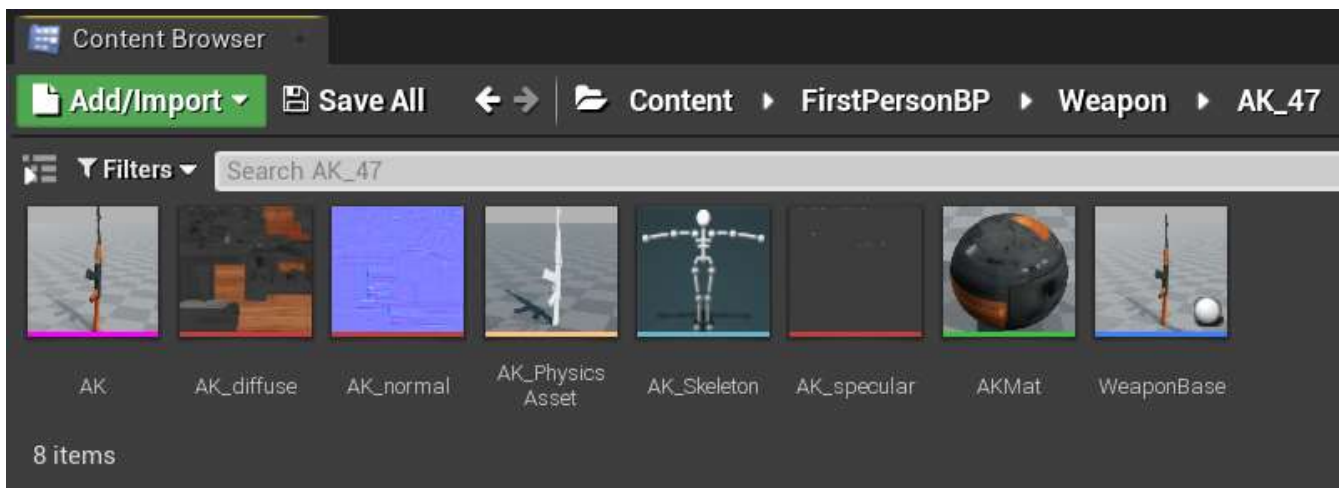


Рисунок 3.5 – Панель асетів зброї

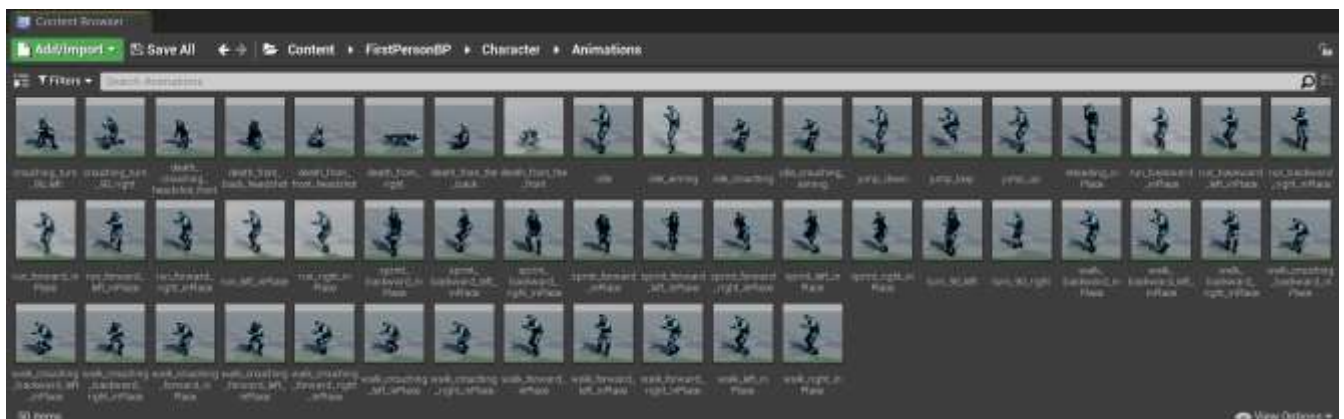


Рисунок 3.6 – Панель з файлами анімацій

### 3.3 Налаштування анімацій персонажа

Щоб персонаж міг виконувати анімації у проекті, необхідно зв'язати файли анімацій зі Skeletal\_Mesh нашого персонажа за допомогою Animation

Blueprint. Для цього створюємо Animation Blueprint з назвою Swat\_AnimBP у папці Character. У самому Blueprint необхідно створити State Machine з назвою Walk\_Run яка дозволить програмувати стани персонажа у яких буде програватися певна анімація.



Рисунок 3.7 – Animation Blueprint Swat\_AnimBP

Всередині State Machine Walk\_Run створюємо стани Idle та Walk\_Run і поєднуємо їх між собою, щоб між ними можна було перемикатися.

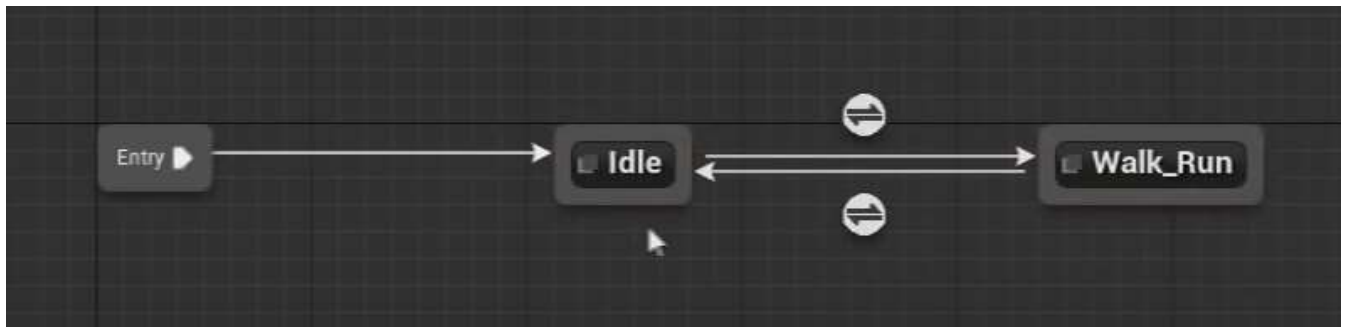


Рисунок 3.8 – State Machine Walk\_Run

У стані Idle підключаємо файл анімації idle\_aiming і тепер персонаж-мішень буде використовувати цю анімацію за замовчуванням у стані спокою.

Для анімацій бігу необхідно створити Blend Space, який буде визначати тип використовуваної анімації бігу за умов різного напрямлення руху. Для цього створюємо Blend Space з назвою WalkRun\_BS у папці Character. Всередині цього Blend Space називаємо горизонтальну вісь – Direction з мінімальним значенням -180 та максимальним 180, і вертикальну вісь – Speed. На усі нижні позиції сітки, що відповідають за мінімальну швидкість

перетягуємо файл анімації `idle_aiming`. На верхні позиції, що відповідають максимальній швидкості ставимо наступні анімації:

- на середню `run_forward_InPlace`;
- на ліву `run_left_InPlace`;
- на праву `run_right_InPlace`;
- на крайні ліву і праву `run_backward_InPlace`.



Рисунок 3.9 – Blend Space WalkRun\_BS

Після того як Blend Space готовий, повертаємося до State Machine в Animation Blueprint і підключаємо `WalkRun_BS` у стані `Walk_Run`. Створюємо змінні `Direction` та `Speed` необхідні для функціонування `WalkRun_BS`.



Рисунок 3.10 – Стан `Walk_Run`

Скрипт для розрахунку напрямку та швидкості руху персонажа-мішені показаний на рисунку 3.11.

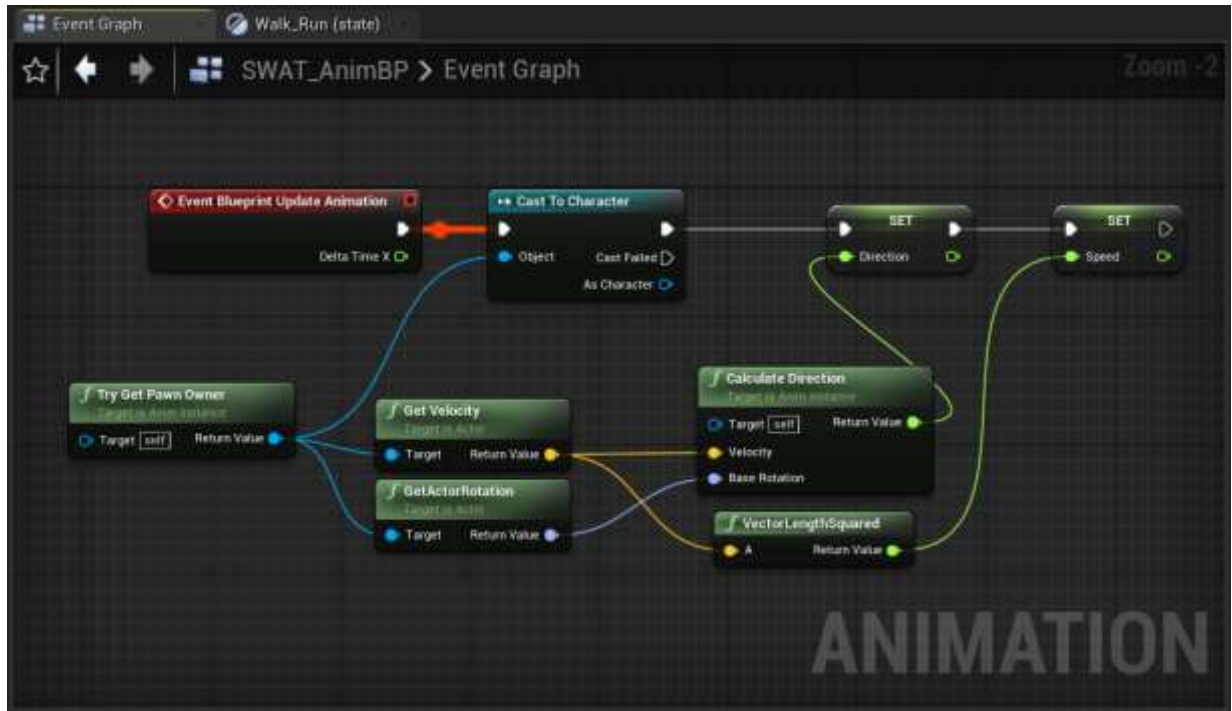


Рисунок 3.11 – Скрипт для розрахунку напрямку та швидкості руху персонажа-мішені

Далі, створюємо скрипти для переходу між станами Idle та Walk\_Run залежно від швидкості руху персонажа-мішені. Якщо швидкість більша за 1, застосовується стан Walk\_Run, та якщо менша за 1, застосовується стан Idle. Ці скрипти показано на рисунках 3.12 та 3.13 відповідно.



Рисунок 3.12 – Скрипт для переходу від стану Idle до Walk\_Run



Рисунок 3.13 – Скрипт для переходу від стану Walk\_Run до Idle

Тепер, в залежності від напрямку та швидкості, персонаж-мішень може переходити від стану спокою до стану бігу і рухатися вперед, ліворуч, праворуч, та назад.

### 3.4 Додавання зброї персонажу

Для додавання 3D моделі зброї до 3D моделі персонажа-мішені, у файлі його скелета Swat\_Skeleton створимо додатковий сокет з назвою Weapon\_Attach на кістці правої руки та додаємо до нього Skeletal Mesh зброї. Врегулюємо її розмір та положення і тепер вона буде прив'язана до персонажа-мішені та рухатися разом із ним під час пересування і програвання анімацій.



Рисунок 3.14 – Скелет персонажа-мішені з доданим сокетом для зброї

### 3.5 Розташування персонажів на сцені

Щоб визначити стартове положення ігрового персонажа, перетягуємо з панелі Place Actors об'єкт Player Start у потрібну позицію на ігровій мапі.

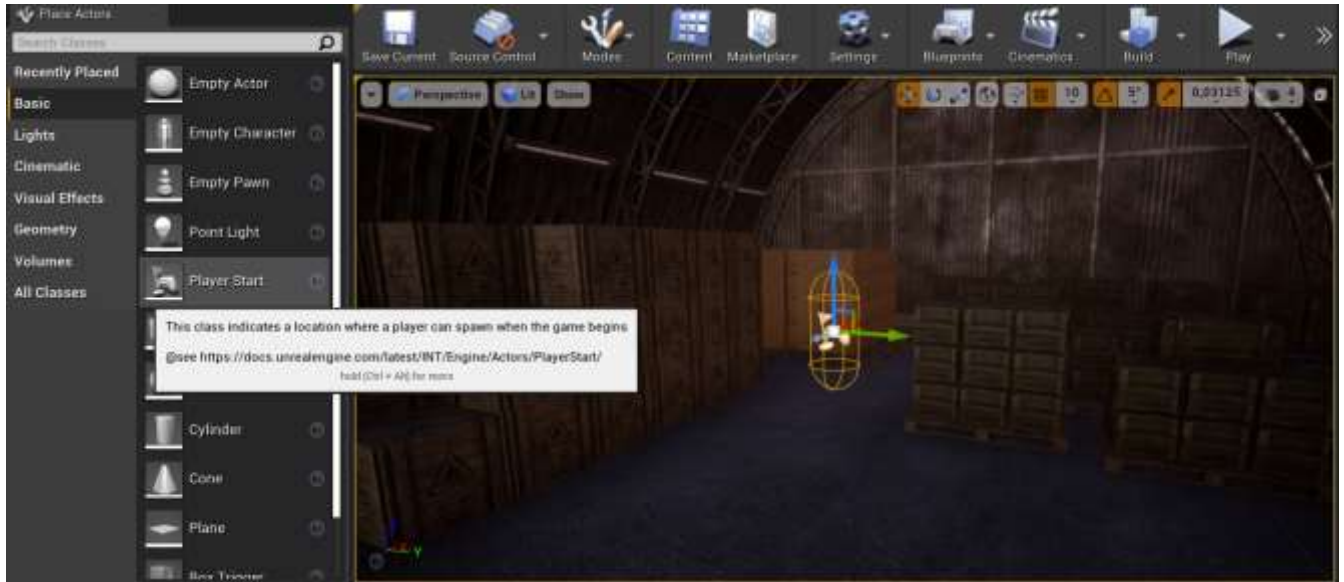


Рисунок 3.15 – Стартова позиція гравця

Щоб 3D модель ігрового персонажа не було видно під час гри, у FirstPersonCharacter Blueprint відмічаємо опцію Hidden in Game.

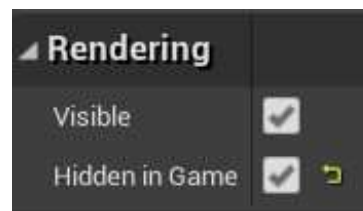


Рисунок 3.16 – Опції відображення ігрового персонажа

Для розташування персонажів-мішеней на ігровій мапі необхідно створити об'єкт ігрового персонажа Character Blueprint назвою Alien. У ньому ми обираємо 3D модель персонажа, додаємо анімації Swat\_AnimBP та створюємо скрипт, що під час старту гри буде додавати зброю у задалегідь підготовлений сокет (рис. 3.18).

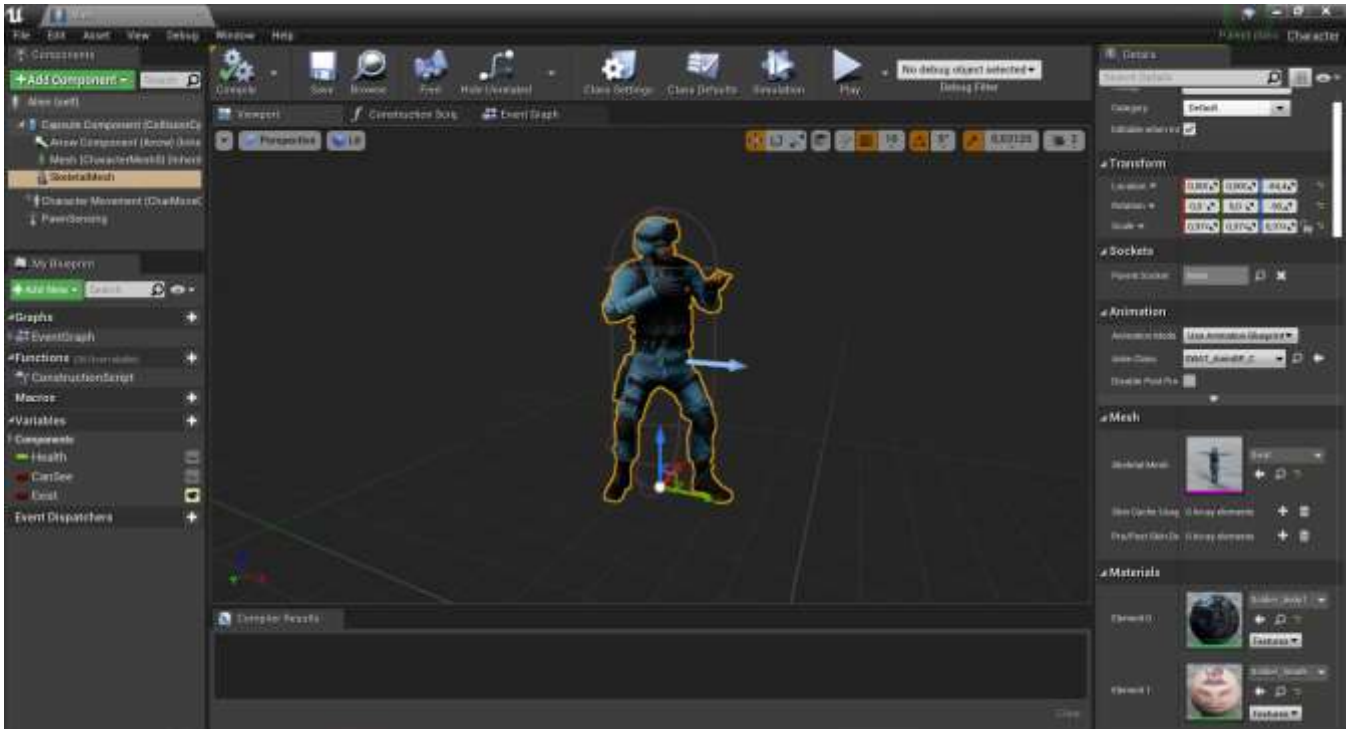


Рисунок 3.17 – Alien Character Blueprint

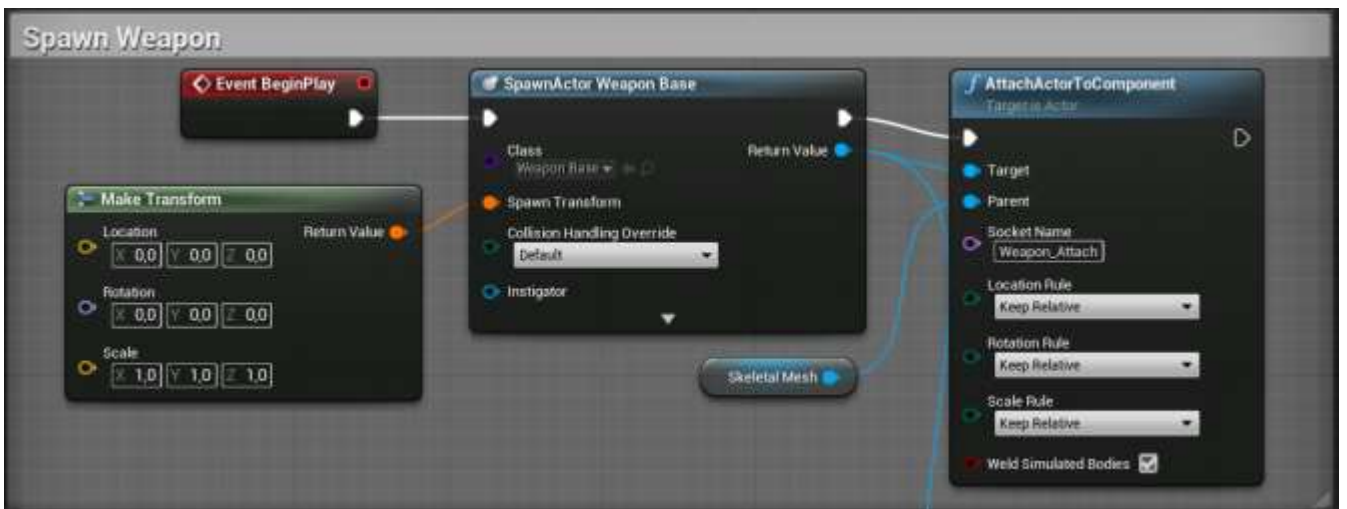


Рисунок 3.18 – Скрипт додавання зброї у сокет під час запуску рівня

Перетягуванням Alien з панелі ресурсів, розташовуємо персонажів-мішеней у потрібні місця ігрової мапи. Кожному наступному персонажу-мішені при цьому, присвоюється свій номер.



Рисунок 3.19 – Розташування персонажів-мішеней Alien та Alien2

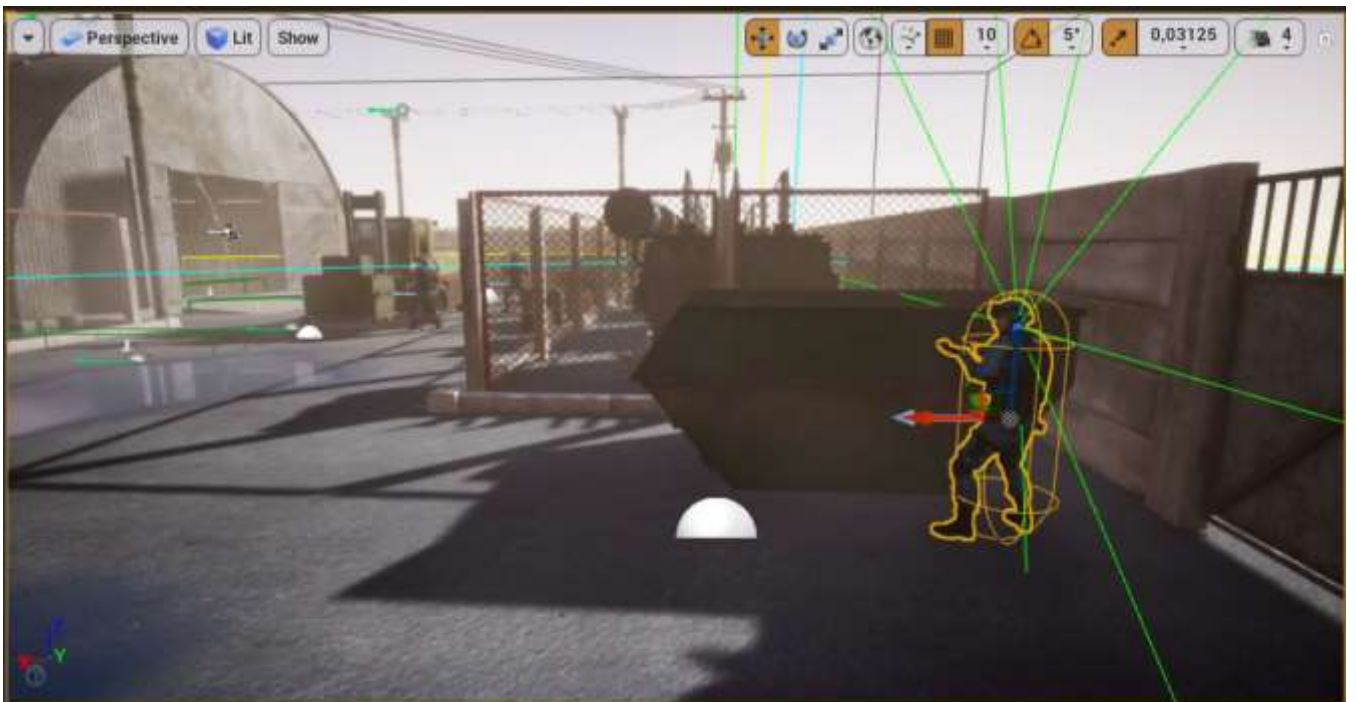


Рисунок 3.20 – Розташування персонажу-мішені Alien3



Рисунок 3.21 – Розташування персонажу-мішені Alien4

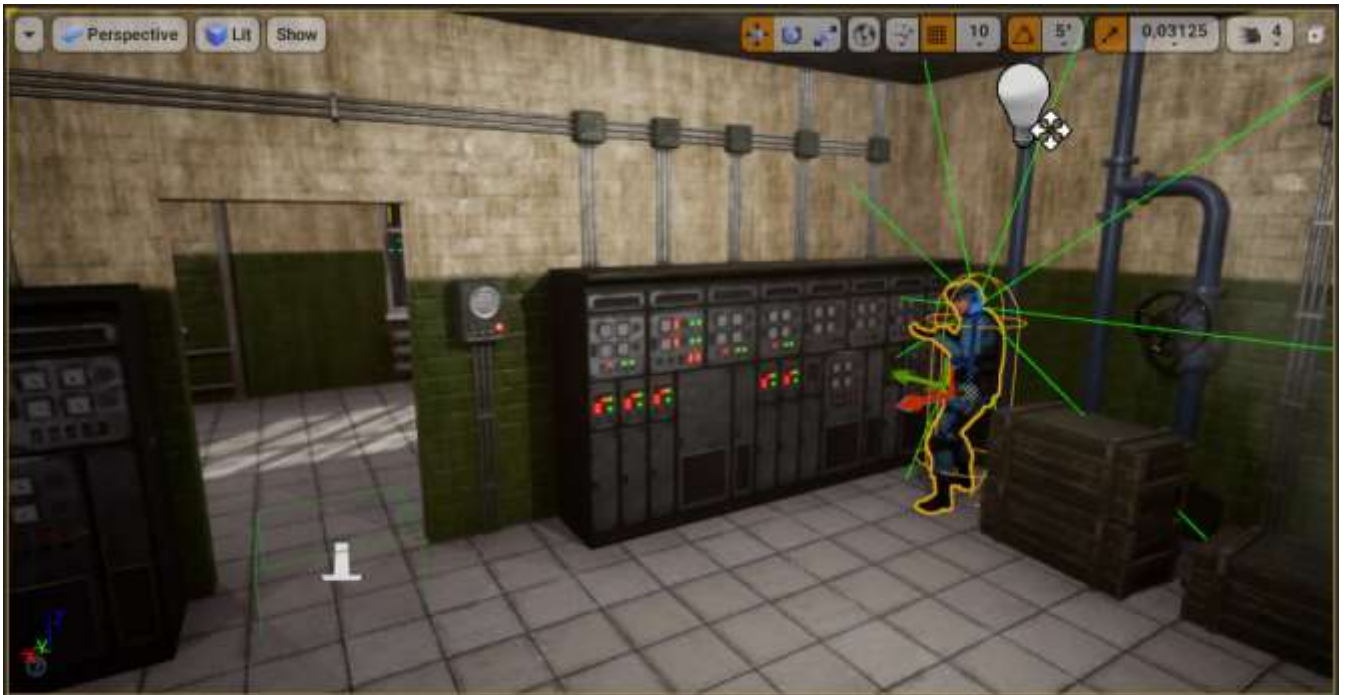


Рисунок 3.22 – Розташування персонажу-мішені Alien5



Рисунок 3.23 – Розташування персонажів-мішеней Alien6 та Alien7



Рисунок 3.24 – Розташування персонажу-мішені Alien5



Рисунок 3.25 – Загальний список персонажів-мішеней

Далі необхідно визначити область пересування персонажів-мішеней за допомогою об'єкта `NavMeshBoundsVolume`, що представляє собою об'єкт кубічної форми, всередині якого прораховуються усі поверхні, по яким можуть пересуватися персонажі-мішені та позначаються зеленим кольором [19, 20]. Збільшуємо його до необхідного розміру так, щоб він покривав всі поверхні по яким будуть рухатися персонажі-мішені.



Рисунок 3.26 – область пересування персонажів-мішеней об'єкту `NavMeshBoundsVolume`

### 3.6 Будування логіки роботи сюжету

Команди пересування персонажів-мішеней та програвання анімації «смерті» будуть прив'язані до об'єктів `TriggerBox`, що генеруватимуть події, коли персонаж гравця перетинатиме їх. Для цього перетягуємо об'єкти `TriggerBox` з панелі `Place Actors` на ігрову мапу. Також, позначимо місця до яких будуть пересуватися персонажі-мішені за допомогою об'єктів `Empty Actor`.



Рисунок 3.27 – Об'єкт TriggerBox



Рисунок 3.28 – Об'єкт Empty Actor

Після цього, у Level Blueprint створюємо скрипт, що після перетину TriggerBox ігровим персонажем, буде вказувати персонажу-мішені Alien пересуватися до об'єкту Actor. У разі успішного пересування, після затримки в одну секунду, буде програватися анімація «смерті» `death_from_the_front`, та ще з затримкою в три секунди персонаж-мішень буде вимикатися, тобто більше не зможе виконувати пересування або програвання анімацій.

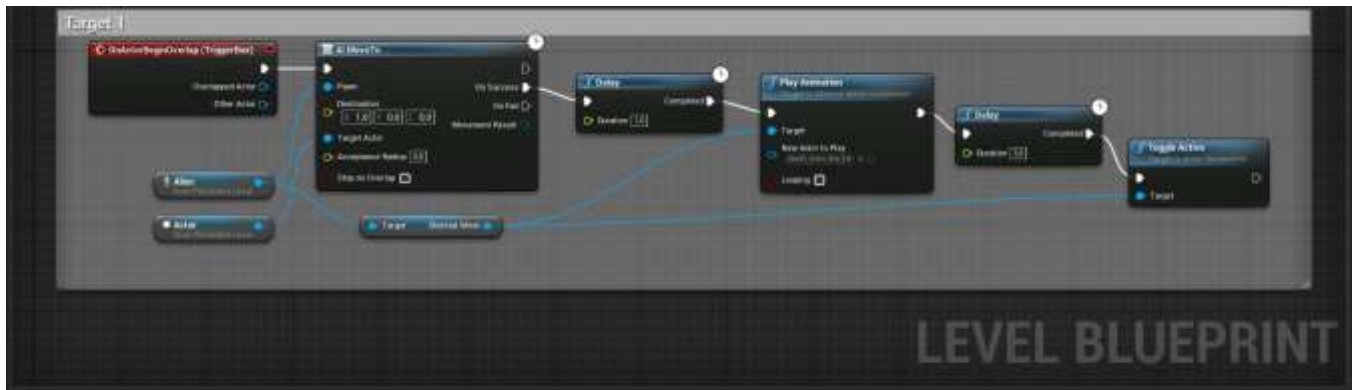


Рисунок 3.29 – Скрипт для роботи персонажу-мішені Alien

Повторюємо такий скрипт для, майже, кожної групи Alien, Астор, TriggerBox, окрім п'ятого персонажа-мішені, якому не потрібно рухатися. Для нього скрипт виглядатиме так, як показано на рисунку 3.30.



Рисунок 3.30 – Скрипт для роботи персонажу-мішені Alien5

Для зручності варто призначити кнопку перезапуску ігрового рівня. У налаштуваннях проекту, в категорії «Введення» додаємо дію з назвою ResetGame та обираємо для неї клавішу R.

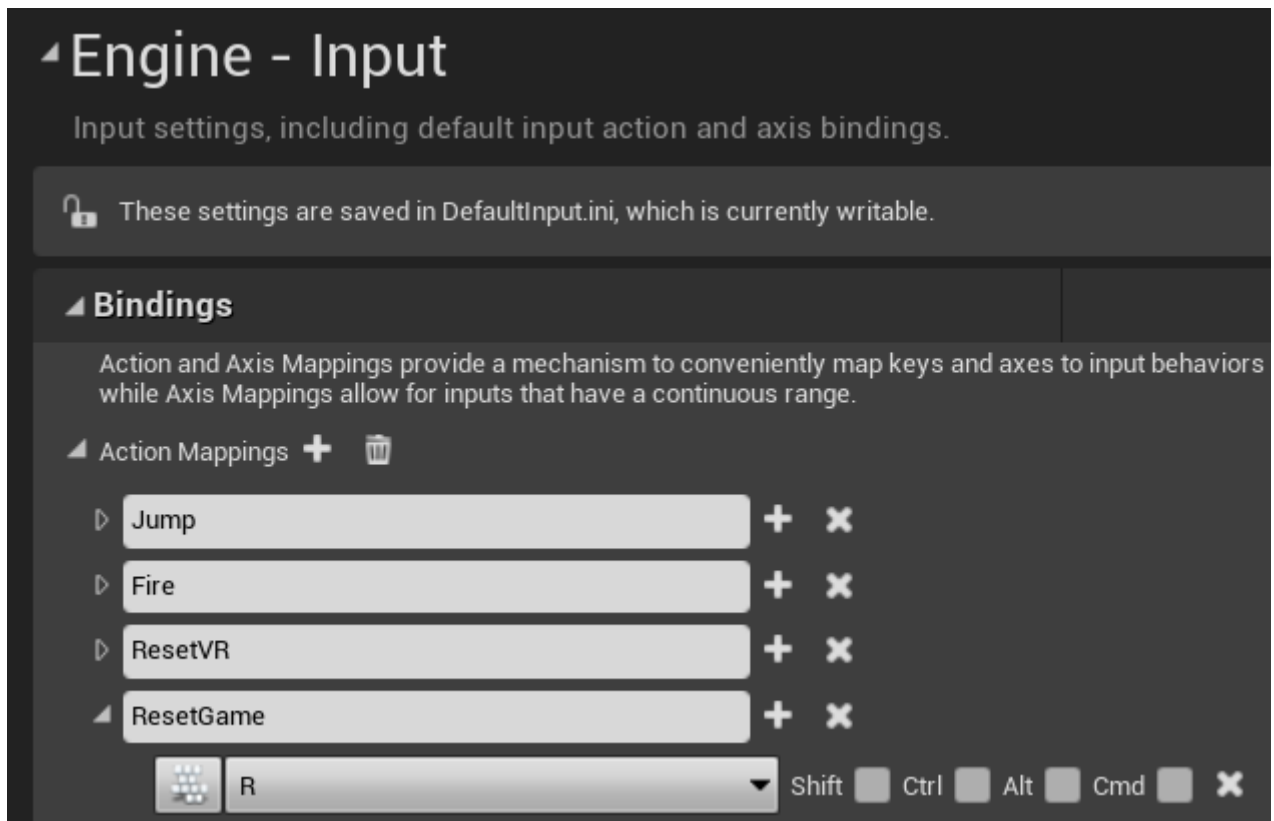


Рисунок 3.31 – Меню налаштування клавіш

Далі, у Level Blueprint створюємо невеликий скрипт, який буде перезавантажувати ігровий рівень по натисканню заданої клавіші R.

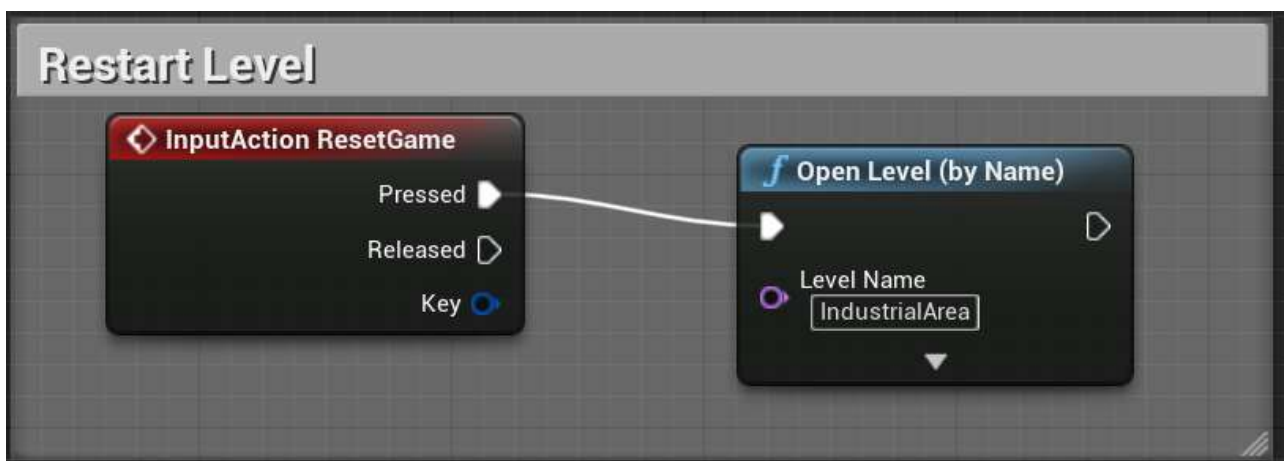


Рисунок 3.32 – Скрипт перезавантаження рівню

За підсумком маємо такий набір скриптів у Level Blueprint (рис. 3.33). Тепер персонажі-мішені будуть пересуватися до заданих позицій коли ігровий персонаж буде проходити певні контрольні точки.

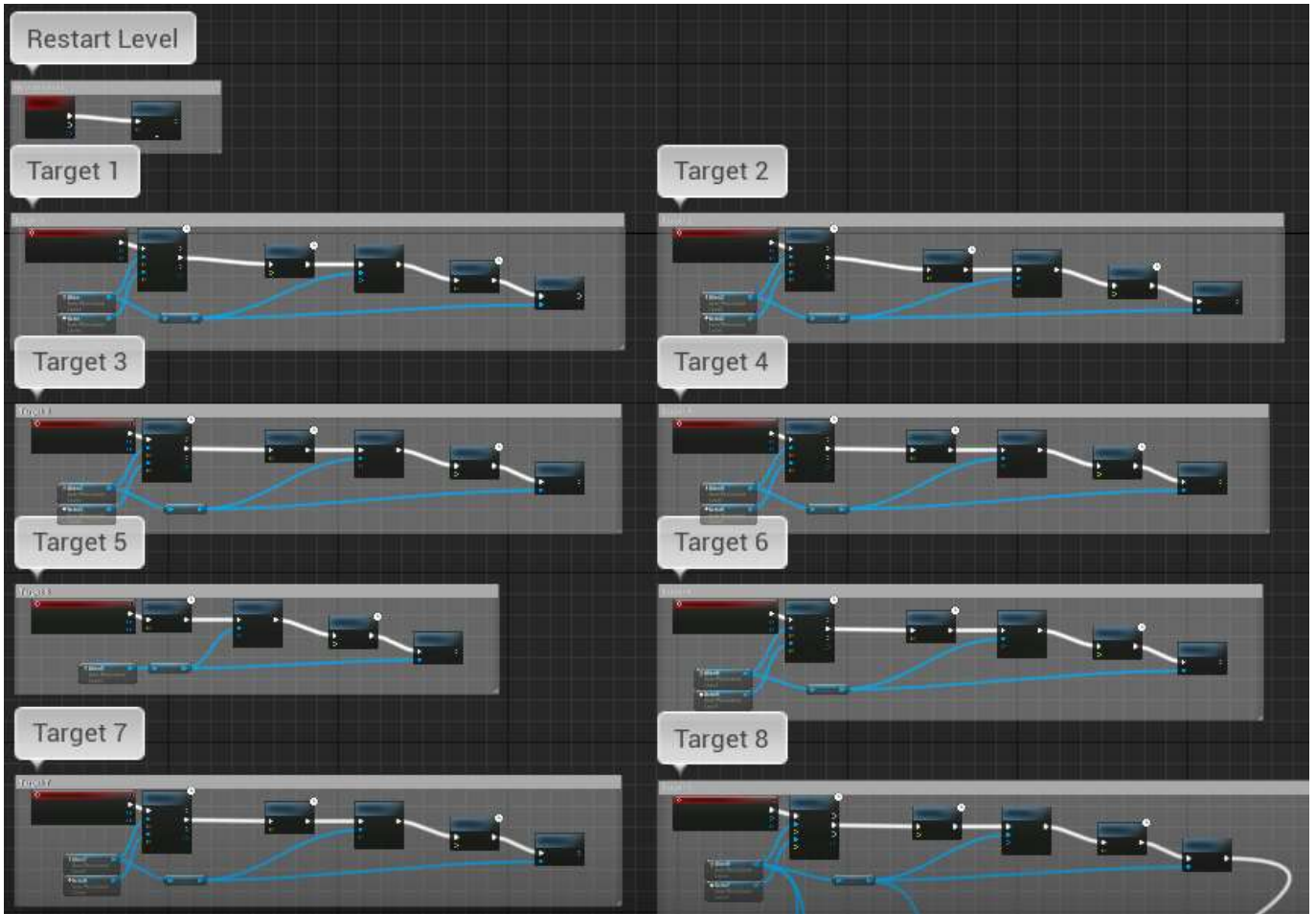


Рисунок 3.33 – Скрипти у Level Blueprint



Рисунок 3.34 – Поточний результат роботи скриптів

Далі, треба зробити так, щоб персонажі-мішені слідували за ігровим персонажем повертаючись у його сторону. Для цього, у Alien Blueprint додаємо можливість відчувати, тобто бачити і чути, ігрового персонажа за допомогою компонента PawnSensing.

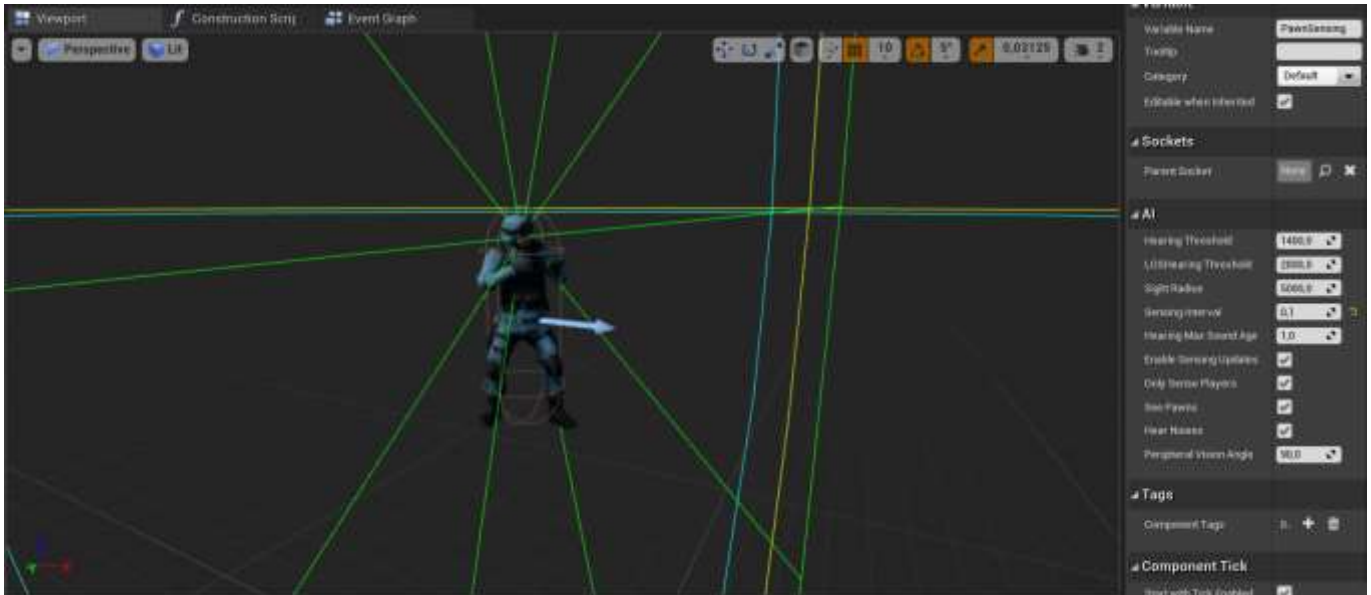


Рисунок 3.35 – Персонаж-мішень Alien з увімкненим PawnSensing

Створюємо скрипт, який буде повертати Alien обличчям до ігрового персонажа у разі того, як він його побачить.

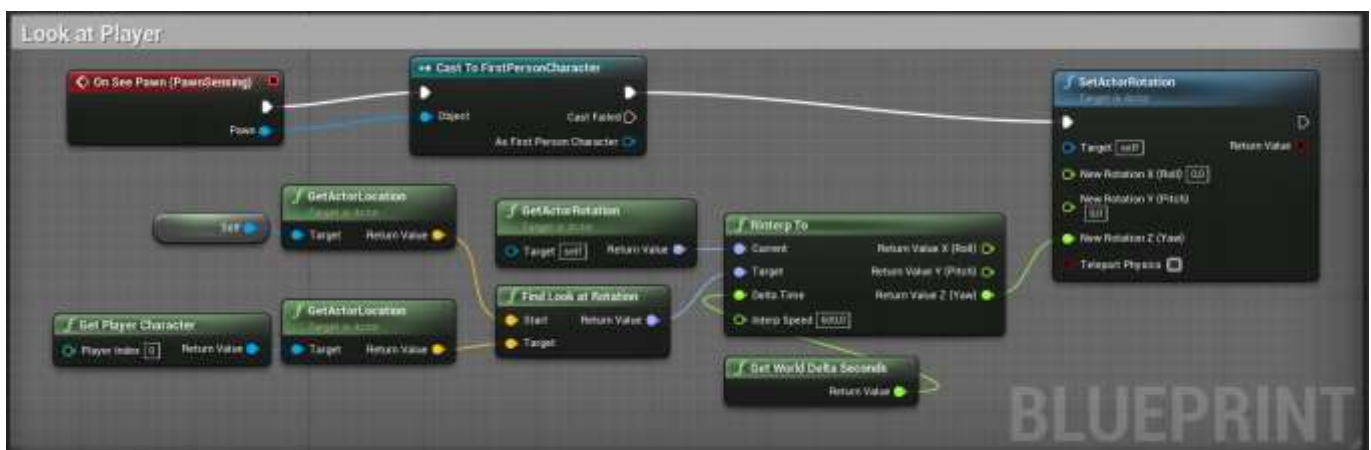


Рисунок 3.36 – Скрипт повертання Alien у сторону ігрового персонажа



Рисунок 3.37 – Персонаж-мішень завжди «дивиться» на гравця

Запускаємо рівень у редакторі, щоб перевірити, що усе працює правильно.

Для більш зручного керування ігровим персонажем, у FirstPersonCharacter Blueprint зменшуємо його максимальну швидкість з 600 до 400.



Рисунок 3.38 – Зменшений параметр швидкості ігрового персонажа

### 3.7 Запис анімаційного сюжету у формат відео

Щоб записати відео готового анімаційного сюжету, запускаємо рівень у повноекранному форматі кнопкою Launch з основної панелі.

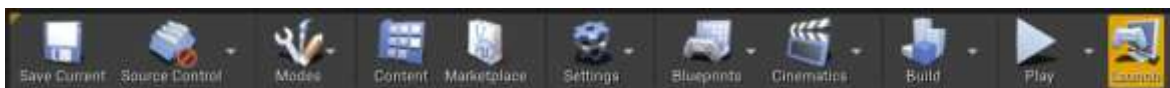


Рисунок 3.39 – Кнопка Launch на основній панелі редактора

Коли рівень запустився, натискаємо комбінацію клавіш Win+Alt+R для запису відео з екрану вбудованим інструментом Windows 10. Проходимо рівень та знов натискаємо комбінацію клавіш Win+Alt+R для завершення запису. Записане відео буде збережено за шляхом C:\Users\Admin\Videos\Captures.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто та проаналізовано існуючі стрілецькі тренажери та комп'ютерні засоби 3д моделювання, анімації і ігрових движків. Результат аналізу показав, що найбільш практично та економічно ефективними є програма 3д моделювання та анімації Blender та ігровий движок Unreal Engine. До їх головних переваг перед аналогами в лиці Autodesk Maya та Unity3d можна виділити безкоштовну ліцензію на використання, широкий спектр інструментів та безкоштовних ресурсів для виконання поставленого завдання, а також відносну простоту використання з підтримкою від спільноти розробників у вигляді текстових і відео посібників та онлайн-форумів.

Під час розроблення анімаційного сюжету, було створено проект на базі движка Unreal Engine, який включає в себе ігрову мапу, побудовану за допомогою безкоштовного бібліотечного пакету ресурсів, 3д модель та пакет анімацій для персонажів-мішеней взяті з відкритого безкоштовного джерела, та файлів системи графічного скриптування Blueprints, які визначають логіку та механіки взаємодії ігрових об'єктів між собою.

В результаті, створений анімаційний сюжет демонструє високу якість візуальної складової, включаючи об'єкти оточення, освітлення, зовнішній вигляд та рух персонажів-мішеней, як під час пересування так і падіння після успішного пострілу. Всі ці показники дозволяють найближче підійти до умов реальних бойових дій під час тренувань зі стрілецької підготовки. А враховуючи ще й те, що на всі необхідні для створення анімаційного сюжету інструменти, засоби та ресурси не було витрачено жодних грошових коштів, можна говорити про те, що представлений у даній магістерській роботі метод розробки анімаційних сюжетів для застосування в мультимедійних стрілецьких тренажерах є найбільш практично і економічно ефективним серед аналогів.

Отримані в роботі результати можуть бути використані на практиці для комерційного створення анімаційних сюжетів для застосування в мультимедійних стрілецьких тренажерах.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васильєв Ю. Стрілецькі тренажери – 2003. – URL: <http://www.sniper.ru/doc/read.php?id=297> (дата звернення: 15.11.2021).
2. Колдунов С.А. Стрілецькі тренажери: замість кулі – лазерний промінь // М.: ТОВ «Сінус», 1998. - 128 с.
3. Болотнов Р. В. Патент на корисну модель №104689 «Стрілецький апаратно-програмний комплекс бойового тиру» – 2011. – URL: <https://teh-consul.ru/files/patent.pdf> (дата звернення: 15.11.2021).
4. Пат. № 83387 UA. Удосконалений електронний лазерний стрілецький тренажер. МПК F41G3/26 [Текст] / Сліпченко М. І., Карташов В. М., Сідоров Г. І., Беляєв О. В.; заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – № u201301988; заявл. 18.02.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.
5. Пат. № 80324 UA. Удосконалений електронний лазерний стрілецький тренажер. МПК F41G3/26 [Текст] / Карташов В. М., Сідоров Г. І., Беляєв О. В.; заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – № u201213148; заявл. 19.01.2013; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.
6. Єгоров С.Ф., Козаков В.С., Коробейніков В.В., Корнілов І.Г. Перспективи розвитку електронних стрілецьких тренажерів // Інтелектуальні системи у виробництві. – 2010. – №2(16). – С. 138-142.
7. Лазерполітех-2009 – Технології та засоби забезпечення вогневої підготовки: збірник матеріалів // III Міжнародний форум. Новосибірськ: Прінтинг, 2010. - 156 с.
8. Порівняльний аналіз стрілецьких тренажерів, що використовуються в процесі військово-професійної підготовки випускників вищого військово-навчального закладу – URL: <https://izron.ru/articles/osnovnye-voprosy-teorii-i-praktiki-pedagogiki-i-psikhologii-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-mezhd/sektsiya-6-teoriya-i-metodika-professionalnogo-obrazovaniya-spetsialnost->

[13-00-08/sravnitelnyy-analiz-strelkovykh-trenazherov-ispolzuemykh-v-protsesse-voenno-professionalnoy-podgotov/](http://13-00-08/sravnitelnyy-analiz-strelkovykh-trenazherov-ispolzuemykh-v-protsesse-voenno-professionalnoy-podgotov/) (дата звернення: 15.11.2021).

9. Лазерний стрілецький комплекс "Рубін" – URL: <http://www.lasertools.ru/products/tir/lsk.html> (дата звернення: 15.11.2021).

10. Беляев А.В., Карташов В.М. // Моделі сигналів в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері// ВІСНИК Національного технічного університету "ХПІ". 2017. – № 44. – с. 23-29.

11. Беляев О.В., Зубков О.В., Тарасов К.С., Карташов В.М. // Обробка сигналів в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері // ВІСНИК Національного технічного університету "ХПІ". 2017. – № 16(1238)2017. – с. 23-29.

12. Беляев О.В., Зубков О.В., Карташов В.М. // Застосування методу контурного аналізу зображень в системі обробки мультимедійного стрілецького тренажеру // ВІСНИК Національного технічного університету "ХПІ". 2017. – № 20(1242) 2017. – с. 109-118.

13. Карташов В.М., Беляев О.В. // Виявлення об'єктів заданої форми та визначення їх координат на зображенні мультимедійного стрілецького тренажеру // Радіотехніка: Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник – 2015. – № 182. – с. 58-64.

14. Bieliaiev, O., Kartashov, V., Loutouangou, F. Strobing the moving objects marks in the image processing system with stationary video camera// ScienceRise – 2017. – 3 – P. 66–71.

15. Єгоров С.Ф., Козаков В.С., Коробейніков В.В. Стрілецький тренажер на загальнодоступних компонентах // Інтелектуальні системи у виробництві. – 2011. – №1(17). – С. 182-190.

16. Зовнішня балістика – URL: <https://www.kaznu.kz/Content/Общевоеенная%20подготовка/page8.html> (дата звернення: 16.11.2021).

17. Основи зовнішньої балістики, обертання кулі та деривація – URL: [http://www.shooting-ua.com/force\\_shooting/practice\\_book\\_16.htm](http://www.shooting-ua.com/force_shooting/practice_book_16.htm) (дата звернення: 16.11.2021).
18. Unity vs Unreal, How to Pick The Right Game Engine and Skyrocket Your Gamedev Career? – 2017. – URL: <https://blog.education-ecosystem.com/unity-vs-unreal/> (дата звернення: 17.11.2021).
19. Unreal Engine 4 For Unity Developers – URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/Basics/UnrealEngineForUnityDevs/> (дата звернення: 17.11.2021).
20. How to Create a First-Person Shooter in the Unreal Engine – 2020. – URL: <https://gamedevacademy.org/unreal-engine-fps-tutorial/> (дата звернення: 17.11.2021).
21. Blender vs Maya | Head-to-Head Comparison – URL: <https://www.designbuckle.com/blender-vs-maya/> (дата звернення: 17.11.2021).
22. Maya vs Blender – URL: <https://www.educba.com/maya-vs-blender/> (дата звернення: 17.11.2021).
23. Методичні вказівки з виконання атестаційної роботи магістра для студентів усіх форм навчання спеціальності 171 «Електроніка», освітньо – професійної програми «Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа». Освітній ступень – магістр. - [Текст]: під ред. В.М Карташов, И.В. Савченко. – Харків: ХНУРЭ, 2019 – 48 с.