

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
(повна назва)

Кафедра _____ Медіасистем та технологій _____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Розробка електронного комплексу зі створення наборів тривимірних
моделей спеціального призначення
(тема)

Виконала:

студентка 4 курсу, групи ВПВПС-20-2

 Ліхініна Р.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма

Видавничо-поліграфічна справа
(повна назва освітньої програми)

Керівник  проф. Ткаченко В.П.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри МСТ

_____ Дейнеко Ж.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
Кафедра _____ Медіасистем та технологій _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 186 Видавництво та поліграфія _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Видавничо-поліграфічна справа _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри МСТ _____
(підпис)

« 20 » травня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові _____ Ліхніній Руслані Віталіївній _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розробка електронного комплексу зі створення наборів
тривимірних моделей спеціального призначення _____

Затверджена наказом по університету від _____ 20 травня 2024 р. № 458 Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 16 червня 2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи

Вид ресурсу: навчальний комплекс; Тип спеціалізованого приміщення: операційний блок;
Зображення варіантів інтер'єру приміщень, типових меблів та обладнання;
Інструментальні засоби створення тривимірних моделей; Державні стандарти та
нормативна документація до спеціалізованих приміщень закладів охорони здоров'я.

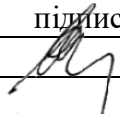
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Вступ; Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу; Аналітичний огляд досягнень у галузях
створення та візуалізації тривимірних об'єктів; Проектування процесу створення
електронного комплексу; Вибір інструментальних засобів розробки; Розробка складових
електронного комплексу; Реалізація компоновки тривимірних моделей; Результати розробки;
Економічна частина; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Вступ; Аналіз завдання; Огляд досягнень у галузі; План створення комплексу;
Функціональні вимоги до комплексу; Вибір інструментальних засобів розробки;
Формалізація вимог стандартної документації; Процес створення тривимірних моделей;
Результат розробки набору моделей; Розробка сценаріїв компонування; Реалізація
компоновки; Результати розробки; Економічна частина; Висновки.

6. Консультанти розділів роботи (п. 6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п. 1)

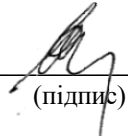
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	проф. Ткаченко В.П.		13.06.24
Економічна частина	ас. Помогалова Н.В.		13.06.24

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	20.05.2024	Вик.
2	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	22.05.2024	Вик.
3	Вибір інструментальних засобів розробки	27.05.2024	Вик.
4	Формалізація вимог стандартної документації	01.06.2024	Вик.
5	Створення тривимірних моделей	04.06.2024	Вик.
6	Проведення компонування моделей	06.06.2024	Вик.
7	Економічна частина	08.06.2024	Вик.
8	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2024	Вик.
9	Оформлення графічної частини	15.06.2024	Вик.

Дата видачі завдання 20 травня 2024 р.

Студент  Ліхініна Р.В.
(підпис)

Керівник роботи  проф. Ткаченко В.П.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 71 с., 6 табл., 12 рис., 24 джерела.

ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НАБІР ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ, МОДЕЛЬ ПРИМІЩЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, СТАНДАРТ.

Метою роботи є розробка електронного комплексу для створення тривимірних моделей приміщень за вимогами нормативної документації до приміщень спеціального призначення.

Такий комплекс може бути використаний у багатьох варіантах реалізації задачі візуалізації принципів та стандартів розташування моделей об'єктів на території спеціалізованих приміщень.

Функціями розроблюваного комплексу є наявність та можливість поєднання створених просторових моделей приміщень з наборами об'єктів із забезпеченням унікальності кожного створеного набору, та варіабельність отриманих результатів за умови обмеженої кількості використовуваних моделей та обмежень, накладених вимогами охорони праці щодо об'єктів, які розташовані у обраних приміщеннях.

Було визначено вихідні дані, проведено аналіз завдання та досліджено стандарти охорони праці щодо вимог в межах операційного блоку.

У результаті роботи було розроблено спеціалізований комплекс тривимірних об'єктів у середовищі тривимірного моделювання та успішно реалізовано розроблені сценарії компонування об'єктів всередині приміщення спеціального призначення. Комплекс задовольняє технічні та функціональні вимоги, поставлені до розробленого набору, а також відповідає вимогам стандартної документації щодо охорони праці.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualification work: 71 p., 6 tables, 12 figures, 24 sources.

THREE-DIMENSIONAL MODELING, SET OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS, ROOM MODEL, LABOR PROTECTION, STANDARD.

The purpose of the work is the development of an electronic complex for creating three-dimensional models of premises according to the requirements of regulatory documentation for special purpose premises. Such a complex can be used in many variants of the implementation of the task of visualization of the principles and standards of the location of object models on the territory of specialized premises.

The functions of the developed complex are the availability and the possibility of combining created spatial models of premises into sets of objects, ensuring the uniqueness of each created set, and the variability of the results obtained under the condition of a limited number of used models and restrictions imposed by labor protection requirements regarding objects located in selected premises.

The initial data was determined, the task analysis was carried out and the occupational health and safety standards were investigated in relation to the requirements within the operating unit.

As a result of the work, a specialized complex of three-dimensional objects was developed in the environment of three-dimensional modeling, and the developed scenarios for the layout of objects inside a set of special-purpose premises were successfully implemented. The complex meets the technical and functional requirements set for the developed set, and also meets the requirements of standard documentation on labor protection.

ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ	9
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЯГНЕНЬ У ГАЛУЗЯХ СТВОРЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ’ЄКТІВ.....	10
2.1 Поняття тривимірного моделювання, візуалізації його результатів	10
2.2 Типи та методи створення тривимірних моделей	11
2.3 Можливості тривимірного моделювання, переваги використання	14
2.4 Основні етапи створення тривимірних моделей	17
2.5 Інструментальні засоби створення тривимірних об’єктів.....	21
3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСУ	25
3.1 Виявлення особливостей цільової аудиторії.....	25
3.2 Визначення етапів створення комплексу	25
3.3 Складання попередніх вимог до створюваного комплексу	27
4 ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ	29
4.1 Огляд редактора тривимірної графіки 3ds Max	29
4.2 Огляд редактора тривимірної графіки Maya.....	32
4.3 Огляд редактора тривимірної графіки ZBrush	34
4.4 Огляд редактора тривимірної графіки Blender	37
4.5 Вибір редактора тривимірної графіки	42
5 РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ЕЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСУ	44
5.1 Формалізація вимог стандартної документації.....	44
5.2 Створення ряду відповідних тривимірних об’єктів та текстур	49
5.3 Розробка сценаріїв компонування тривимірних моделей	53
6 РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПОНОВКИ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ	56
7 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ	58
8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	69

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

UV-розгортка – це процес геометричного моделювання для створення 2D-зображення, яке представляє 3D-модель.

UV – координати на текстурі (U, V).

3D (3-dimensional) – тривимірний.

NURBS (англ. Non-uniform rational B-spline – неоднорідний раціональний B-сплайн) – математична форма, що застосовується в комп'ютерній графіці для генерування та подання кривих та поверхонь.

PBR (англ. Physically Based Rendering – фізично засноване відтворення) – це метод візуалізації, який забезпечує більш точне уявлення про те, як світло взаємодіє з властивостями матеріалу, оскільки він спирається на фізичні властивості реального світу, які можна визначити за допомогою різноманітних вимірювань й існуючих формул.

GoZ (від англ. GoZBrush) – це динамічний міст між ZBrush та іншими 3D-пакетами, створеними навколо певного формату файлу GoZ. Забезпечує безпроблемний експорт моделі із ZBrush в одну з підтримуваних програм.

CAT (Character Animation Toolkit) – програмний модуль анімації персонажів для 3ds Max.

Ігровий рушій (англ. Game engine) – це комплексна програмна основа, призначена для полегшення розробки та створення відеоігор.

ОС – операційна система.

Шейдер (англ. Shader) – це тип комп'ютерної програми, яка використовується переважно в обробці графіки для визначення зовнішнього вигляду поверхонь у 3D-середовищі.

Рігінг – це процес створення скелета 3D-моделі з метою його подальшої анімації. Цей скелет складається із системи взаємопов'язаних кісток або суглобів, які діють як каркас, який контролює рух і деформацію 3D-моделі.

ВСТУП

Наочність навчання завжди сприяла більш ефективному засвоєнню знань з боку здобувачів освіти. Сьогодні викладення навчального матеріалу студентам зазвичай передбачає подачу його викладачем та/або самостійне вивчення ними цього матеріалу. На відміну від звичайних схем навчання, демонстрація та реальний досвід завжди привернуть більше уваги, закарбуються у пам'яті та стануть надійною основою для подальшого навчання. Навіть за відсутності у здобувачів можливості побачити цільовий об'єкт у даний момент наживо, електронні комплекси здатні сприяти вирішенню таких задач.

Використання тривимірних моделей спеціалізованих приміщень для засвоєння вимог щодо охорони праці допоможе поставити фахівців в реальні умови. Перебуваючи у такому приміщенні, здобувачі наочно спостерігають оточення, агрегують свої знання та вміння щодо охорони праці, що дає змогу одночасно відчувати ефект присутності та набути практичний досвід.

Тому метою роботи було обрано розробку електронного комплексу зі створення наборів тривимірних моделей спеціального призначення.

Створений комплекс має містити ряд просторових моделей та мати можливість їх поєднання у набори об'єктів із забезпеченням унікальності кожного створеного набору, а також відповідати вимогам розташування об'єктів згідно можливих планів приміщень та вимог охорони праці.

1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Електронні комплекси, як сучасний засіб візуалізації інформації, сприяють більшій ефективності засвоєння інформації здобувачами освіти у порівнянні зі звичними схемами навчання. А перебування у віртуальному приміщенні є відмінним способом поставити користувачів у реальні умови та надати практичний досвід у тематиці охорони праці.

Саме тому, метою роботи є розробка електронного комплексу для створення тривимірних моделей приміщень за вимогами нормативної документації до приміщень спеціального призначення. Такий комплекс може бути використаний у багатьох варіантах реалізації задачі візуалізації принципів та стандартів розташування моделей об'єктів на території спеціалізованих приміщень.

У межах площі створюваних кімнат буде розташовано ряд об'єктів, що відносяться до однієї з трьох категорій:

- специфічні та значущі для обраного типу кімнати;
- необхідні згідно вимог з охорони праці предмети (вентиляційні отвори, характер освітлення, лампи для дезінфекції тощо);
- об'єкти-наповнення.

Функціями розроблюваного комплексу є наявність та можливість поєднання створених просторових моделей приміщень з наборами об'єктів із забезпеченням унікальності кожного створеного набору, та варіабельність отриманих результатів за умови обмеженої кількості використовуваних моделей.

Як результат роботи, очікується проведення успішної реалізації розроблених сценаріїв компонування об'єктів всередині наборів приміщень спеціального призначення, що задовольнятиме описані технічні та функціональні вимоги щодо його створення та вимог стандартної документації щодо охорони праці.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЯГНЕНЬ У ГАЛУЗЯХ СТВОРЕННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Поняття тривимірного моделювання, візуалізації його результатів

Тривимірне моделювання або 3D-моделювання – це процес створення математичної моделі об'єкта за допомогою редактора тривимірної графіки. Це представлення можна відобразити як двовимірне зображення за допомогою візуалізації (рендер) або використовувати в симуляції, анімації та середовищах віртуальної реальності. Було проаналізовано ряд розповсюджених джерел інформації [1-4] та досліджено особливості процесу тривимірного моделювання.

До основних об'єктів створення та редагування у 3D-моделюванні відносяться вершини, ребра та грані (та відповідні їх координати). Вершини – це точки в тривимірному просторі, ребра – прямі лінії, що з'єднують вершини, а грані – плоскі поверхні, обмежені ребрами. Ці елементи об'єднуються, щоб утворити багатокутники (або полігони), як правило, трикутники або чотирикутники. Вони є основними будівельними блоками 3D-моделей. Коли ці багатокутники зібрані в рамках одного об'єкту, вони утворюють сітку, яка служить скелетом моделі.

Щоб покращити зовнішній вигляд, підвищити візуальну привабливість та додати реалістичності до 3D-моделей на подальшому рендері, використовується створення та застосування текстури для нанесення 2D-зображень на поверхню моделі, що якраз додає об'єкту колір і деталізацію. Крім того, застосовані матеріали та шейдери визначають, як поверхня моделі взаємодіє зі світлом. Вони можуть надати їй такі властивості, як прозорість, блиск і відбиття.

Рігінг та анімація необхідні для втілення руху 3D-моделей. Рігінг передбачає додавання скелета до моделі, що забезпечує прив'язку окремих

елементів моделі до так званих кісток скелету, тоді як анімація передбачає визначення ключових кадрів, які визначають початкову та кінцеву точки будь-якого руху, з використанням програмним забезпеченням методів, що інтерполюють проміжні кроки.

Візуалізація (рендер) – це останній крок у процесі створення тривимірної графіки, на якому з 3D-моделі створюється повне зображення або послідовність зображень. Вона передбачає моделювання світла, тіней, текстур і кольорів для створення остаточного результату.

Перед рендерингом також налаштовується сцена, додаються та компонуються 3D-моделі, світло, камери та інші елементи. Для визначення точки огляду, з якої буде відображатися сцена, редагують положення та орієнтацію камери. Можна налаштувати загальні властивості камери, як-то поле зору, глибина різкості та фокусна відстань.

Для візуалізації використовуються два основні методи: трасування променів і растеризація. Трасування променів імітує шлях світлових променів під час їх взаємодії з об'єктами на сцені. Промені проходять від камери до сцени, відбиваючись від об'єктів і поверхонь, і зрештою досягають джерел світла. Цей процес обчислює колір, тінь, відбиття та заломлення у кожній точці рендеру, але також потребує великих обчислень та потужностей системи. Растеризація ж передбачає проєктування 3D-об'єктів на 2D-площину (екран) за допомогою спрощеного конвеєра візуалізації. Цей метод є швидшим і широко використовується для відображення змін в реальному часі. Однак за такого способу не йде мова про реалістичність отриманих результатів, порівняно з результатом із трасуванням променів.

2.2 Типи та методи створення тривимірних моделей

Створення тривимірних моделей передбачає існування різних типів бажаних моделей та методів, кожен з яких може бути застосований за різних потреб і вподобань. До існуючих типів тривимірних моделей належать:

- полігональні моделі;
- параметричні моделі;
- моделі NURBS (нерівномірні раціональні B-сплайни);
- воксельні моделі.

Розглянемо кожний з різновидів та технік створення тривимірних моделей, дослідивши дані з відкритих джерел [5] та провівши загальний аналіз.

Полігональні моделі складаються з взаємопов'язаних вершин, ребер і граней, які утворюють багатокутники, які визначають форму об'єкта. Поширені методи створення багатокутних моделей включають полігональне моделювання, де основні форми змінюються та комбінуються, і скульптинг, який передбачає маніпулювання цифровою поверхнею подібно глині.

Параметричне моделювання передбачає використання математичних рівнянь і параметрів для визначення форми моделі. Його процес роботи схожий на створення креслення або формули для дизайну моделі, де можна легко налаштувати параметри для зміни форми. Параметричні моделі зазвичай використовуються в інженерному та архітектурному проектуванні, де особливо важливими є точні вимірювання.

Моделі NURBS використовують математичні криві та поверхні для визначення гладких або органічних форм. Вони створюються за допомогою інструментів, які дозволяють точно контролювати вигини. Моделюванню NURBS часто віддають перевагу для створення об'єктів зі складними вигнутими поверхнями, таких як автомобілі, літаки та моделі персонажів.

Створюючи моделі вручну, з'єднують різні набори точок з геометричними відрізками і фігурами. Площини в форматі 3Д представлені в двох видах: воксельному та полігональному. Перший тип моделювання застосовується не часто, в основному в медичних приладах – сканерах МРТ і томографах. Полігональне моделювання є поширеним в створенні 3Д моделей різного призначення. Це базовий тип, за допомогою якого здійснюють маніпуляції з об'єктом.

Воксельні моделі представляють об'єкти в трьох вимірах за допомогою сітки дрібних кубиків, які називаються вокселями, які, по суті, є 3D-еквівалентами пікселів у 2D-зображенні. Кожен воксель містить інформацію про невелику частину об'єму об'єкта, наприклад його колір, щільність або інші властивості. Цей підхід відрізняється від методів поверхневого моделювання, які використовують полігони для визначення форми об'єкта.

Нестислі воксельні моделі (порівняно з векторними) займають набагато більше місця в пам'яті комп'ютера. Фактично для збереження векторної моделі того ж розміру може знадобитися в десятки або навіть сотні разів менше одиниць пам'яті.

Загалом тривимірні моделі можуть створюватись вручну або автоматично, у тому числі за допомогою 3D-сканера. Відтак, до сучасних методів створення тривимірних моделей відносять:

- використання редакторів тривимірної графіки;
- 3D сканування;
- процедурну генерацію.

Спеціалізоване сучасне програмне забезпечення, наприклад Blender, Autodesk Maya та 3ds Max, надає широкий спектр інструментів і функцій для створення 3D-моделей та є популярними у галузі створення тривимірної графіки. Ці програмні пакети пропонують різноманітні методи моделювання, включаючи вже згадані полігональне моделювання, скульптинг, параметричне моделювання та моделювання NURBS, що можуть задовольнити різні потреби виконавця або замовника.

3D-сканування ж передбачає захоплення фізичної форми об'єкта за допомогою спеціального обладнання, наприклад лазерних сканерів або методів фотограмметрії. Таке створення моделі можна пояснити як високотехнологічну фотографію об'єкта з кількох ракурсів і використання отриманих даних для створення цифрової копії. 3D-сканування зазвичай використовується в промисловості, археології та безпосередньо медицині для створення точних моделей реальних об'єктів і середовищ.

Процедурна генерація передбачає використання алгоритмів і математичних формул для автоматичного створення 3D-моделей. Використовуючи набір інструкцій або уривок коду мови програмування, можна створювати унікальні складні структури і ландшафти. Наприклад, процедурна генерація широко використовується в розробці ігор, де розробникам потрібно створювати великі та різноманітні середовища.

Упродовж виконання практичної частини роботи буде створено ряд об'єктів кімнати, включаючи стіни, вікна та покриваючі поверхні, моделі одиниць меблів, що не потребують використання методу скульптингу середовища редактора тривимірної графіки. Виходячи з цього, раціонально використовувати полігональний тип та метод моделювання.

2.3 Можливості тривимірного моделювання, переваги використання

Тривимірне моделювання має різні застосування. У сфері розваг воно використовується для створення персонажів, оточення та спеціальних ефектів для відеоігор і фільмів. В архітектурі воно допомагає візуалізувати будівлі та простори перед початком будівництва. У медицині воно дозволяє візуалізувати складні анатомічні структури та створювати детальні моделі для навчання та моделювання. У машинобудуванні та виробництві – полегшує проєктування, моделювання та тестування продуктів і машин. У галузі освіти воно надає інтерактивний та захоплюючий досвід навчання, наприклад віртуальні лабораторії та симуляції.

Його застосування поширюється на безліч відомих проєктів сьогодення [6-9] та має надзвичайний вплив на полегшення сприйняття інформації людиною.

У сучасному світі 3D-графіка має обмеження лише у можливій потужності та кількості одночасних розрахунків комп'ютерної системи. Розробка тривимірної графіки на сьогоднішній день зачіпає дуже багато сфер

діяльності людини, а її застосування зачіпає багато шарів й повсякденного життя людства. Найбільше серед них виділяються такі види застосування:

- мультиплікація;
- створення комп'ютерних ігор (розробка 3D-контенту для ігор);
- 3D-візуалізація архітектури;
- промисловість (кожній складній деталі передуює 3D-модель);
- медична сфера;
- реклама та маркетинг.

3D-моделювання відкриває широкий спектр можливостей для величезної кількості різних галузей промисловості та застосувань. Це дозволяє створювати детальні та реалістичні представлення об'єктів і середовищ, дозволяючи користувачам візуалізувати, аналізувати та взаємодіяти зі складними даними способами, які неможливі з традиційними 2D-представленнями. Розглянемо детальніше можливості застосування тривимірного моделювання в різних проєктах.

У сфері архітектури та будівництва 3D-моделювання дозволяє архітекторам і дизайнерам створювати точні та детальні моделі будівель і споруд. Це полегшує планування, проєктування та візуалізацію проєктів до початку будівництва. Моделювання також дозволяє здійснювати віртуальні інструкції, допомагаючи клієнтам краще зрозуміти кінцевий продукт і приймати обґрунтовані рішення.

В індустрії розваг 3D-моделювання має важливе значення для створення складних і захоплюючих світів, які можна побачити у фільмах, відеоіграх і віртуальній реальності. Персонажі, оточення та спецефекти оживають перед очима глядача за допомогою методів 3D-моделювання, покращуючи виклад історій, візуалізуючи розповідь і залучаючи користувачів безпосередньо у події, що відбуваються у відеогрі.

У виробництві та інженерії 3D-моделювання використовується для проєктування та тестування продуктів перед їх виробництвом.

Це дозволяє проводити симуляцію того, як продукти працюватимуть за різних умов, зменшуючи потребу у фізичних прототипах, що економить час і ресурси. Працівники-інженери можуть визначити потенційні проблеми, а також за необхідності внести необхідні корективи на ранніх етапах процесу проєктування.

Медичні застосування 3D-моделювання включають створення детальних анатомічних моделей для навчання, планування операцій і розробки протезів. Хірурги можуть використовувати 3D-моделі, щоб покращувати власні практичні навички та отримувати кращі результати, тоді як студенти-медики можуть досліджувати складну анатомію в більш доступний, до того ж інтерактивний та інтуїтивно зрозумілий спосіб.

Виділимо загальні переваги використання тривимірного моделювання. До них можна віднести:

- більш наочне уявлення виробу, ніж при двовимірних методах відображення;
- відсутність потреби в додатковій фізичній моделі;
- функціональність отриманих моделей;
- можливість використання розроблених моделей в різних програмах та на різних пристроях;
- невеликий термін створення віртуальної моделі, порівняно зі створенням фізичної;
- можливість автоматизованого розрахунку різних властивостей об'єкту та проведення фізичних симуляцій;
- гнучкість моделі, можливість зміни та коригування.

Переваги використання 3D-моделювання численні, що робить його безцінним інструментом виконання проєктів у багатьох сферах. Проводячи візуалізацію за його допомоги, ми покращуємо власне розуміння досліджуваного процесу, надаючи реалістичне та детальне уявлення про об'єкти та середовище. Його використання має можливість спрощення взаємодії, оскільки кожен діяч матиме можливість бачити та взаємодіяти з

тією самою віртуальною моделлю за умови її створення. 3D-моделювання також дозволяє проєктувати з більшою точністю, зменшуючи кількість можливих помилок та необхідності змінювати продукт вже після його виготовлення. Крім того, тривимірне моделювання завжди заощаджує час і ресурси, надаючи можливість віртуального перегляду, тестування та моделювання, зводячи до мінімуму потребу у фізичних прототипах.

2.4 Основні етапи створення тривимірних моделей

Процес 3D-моделювання починається з концептуалізації, визначення мети та необхідного обсягу розроблених моделей, а також збору необхідних креслень. Фактичний етап моделювання включає створення 3D-структури (сітки) за допомогою різних технік, наприклад, вже описаних: полігонального моделювання з використанням примітивів, скульптингу або процедурного моделювання. Далі йде текстурювання, де застосовуються різноманітні матеріали, щоб надати моделі колір і збільшити деталізацію. Зазвичай така можливість передбачає створення UV-карт об'єктів, які визначають, як двовимірна текстура накладається та огортається навколо 3D-моделі. Потім проводиться композиція об'єктів у сцені та налаштовується освітлення для досягнення бажаного освітлення та тіней. Нарешті, при проведенні візуалізації, як заключного етапу, відбувається генерація фінального зображення або послідовності зображень, що складатиме кадри анімації. Цьому передуватиме лише вибір роздільної здатності отримуваних зображень (налаштування камери попереднього перегляду), глибини фокусування, якості рендеру (наприклад, при використанні трасування) та формату отриманого файлу.

Відтак, створення тривимірних (3D) моделей включає кілька ключових етапів [10], кожен з яких важливий для створення детального та точного віртуального представлення об'єкта у тривимірному середовищі. Наведемо повний перелік основних етапів розробки:

- створення концепту та планування розробки;
- моделювання;
- текстурування;
- рігінг (для анімації);
- анімація (за необхідності);
- симуляція динаміки (за потреби);
- налаштування освітлення та матеріалів;
- компонування об'єктів у сцені;
- візуалізація;
- постобробка;
- подальше доопрацювання моделей.

Дослідимо названі етапи розробки більш детально.

Робочий процес завжди починається з ідеї чи концепції, й супроводжується подальшим плануванням. Цей перший етап передбачає визначення мети створення моделі, збір інформації з відкритих джерел щодо стандартів охорони праці в обраних приміщеннях, ескізів і креслень притаманних сфері об'єктів і планування розробки проєкту. Важливо розуміти вимоги та обсяг створюваного набору, щоб ефективно впроваджувати в дію наступні етапи.

Моделювання – це основний етап, на якому створюється 3D-модель. Залежно від складності та типу моделі можна використати різні, описані вище, методи моделювання. Коротко опишемо їх можливості в рамках створюваного проєкту.

Метод полігонального моделювання передбачає створення моделі за допомогою маніпуляцій з вершинами, ребрами та гранями (багатокутниками), що виконується за допомогою спеціального програмного забезпечення (редакторів тривимірної графіки). Цей метод є універсальним і широко використовується в різних галузях промисловості. В тому числі він буде зручним для використання у обраному проєкті.

NURBS і моделювання поверхні використовує математичні криві та поверхні для більш точних і плавних моделей, які часто використовуються в промисловому та автомобільному дизайні. Його використання передбачає необхідність створення моделей з великою кількістю математично описаних кривих, чого немає в початковому завданні проєкту.

Виконуючи скульптинг (цифрове ліплення) художники тривимірної графіки маніпулюють віртуальним матеріалом, схожим на глину, для створення органічних і дуже деталізованих моделей, таких як персонажі. Знову ж таки, обрана тема проєкту не відноситься напряду до розробки органічних матеріалів або відображення живих істот, тож необхідність застосування такого методу відсутня.

Процедурне моделювання дозволяє генерувати моделі алгоритмічно на основі визначених правил і параметрів, які часто використовуються для складних або повторюваних структур. Такий підхід застосовується при створенні масивів об'єктів у композиції сцени (наприклад, моделі дерев у лісі) та при створенні окремих моделей, що мають у своєму складі повторювані елементи або їх масиви.

Даний метод за налаштувань дозволяє створювати унікальні набори існуючих об'єктів та різноманітні варіації кожного.

На жаль, процедурне моделювання не знайде свого використання в проєкті, що розробляється, адже він сфокусований на розробці ряду більш простих моделей, що не потребують параметричного опису задля створення їх близьких варіантів.

Вже після створення основної форми моделі застосовуються текстури для додавання деталей на поверхні. Такий процес передбачає створення та нанесення 2D-зображень (текстур) на 3D-модель для надання кольору, візерунків та інших характеристик поверхні.

Створення UV-розгортки є важливим кроком, бо воно визначає, як двовимірна текстура огорнеться навколо 3D-моделі, та забезпечить можливість її експорту в інші середовища.

Після завершення розробки низки об'єктів, окремі елементи (моделі) поєднуються у набори, тим самим утворюючи кімнату.

Таке поєднання та компоновка мають відповідати вимогам проєкту, визначеним на етапі його планування.

Моделі, які потребують анімації, також мають потребу в проведенні процесу ригінгу. Це передбачає створення скелета з кісток і суглобів, який контролюватиме рухи моделі. Процес ригінгу включає встановлення кісток і прив'язування їх до сітки моделі, що забезпечує реалістичну деформацію під час анімації.

Якщо модель потребує анімування, етап її анімації передбачає створення послідовності рухів. Анімація ключових кадрів – одна з поширених технік її реалізації.

Виконавець визначає критичні пози (ключові кадри), а програмне забезпечення інтерполює кадри між ними.

Також можна використовувати захоплення руху (що потребує живого актора, спеціальну зйомку його рухів й обробку отриманих даних) та процедурну анімацію.

Особливий випадок створення анімації моделі є симуляція динаміки. Вона виконується лише в деяких випадках, наприклад, коли потрібно розглянути взаємодію частинок або декількох об'єктів сцени.

Одне з головних значень у забезпеченні реалістичності створеного комплексу моделей, наряду з налаштованими матеріалами, грає й правильне освітлення. Цей етап передбачає налаштування джерел світла та визначення того, як світло взаємодіє з поверхнями моделей.

Для керування такими властивостями, як відбивна здатність, прозорість і шорсткість поверхні, при потраплянні на них променів від джерел освітлення, застосовуються шейдери.

Процес візуалізації генерує остаточне зображення або анімацію з 3D-моделі та часто завершує цикл розробки.

Візуалізація передбачає обчислення параметрів впливу світла, тіней, відблисків та інших ефектів задля розрахунку кольору пікселів, а отже й для створення високоякісного результату.

Рендер може виконуватися в режимі реального часу (для ігор та інтерактивних програм) або офлайн (для отримання якісних зображень і анімації та їх поширення у двовимірному варіанті).

Після візуалізації можна застосувати додаткові ефекти та коригування для покращення кінцевого результату.

Це може включати корекцію кольору, глибину різкості, розмиття руху та інші візуальні ефекти, які покращують загальну якість і вплив зображення чи анімації, та загалом складають процес постобробки.

Кінцевий та остаточний етап передбачає перегляд моделі та внесення виявлених після рендеру необхідних коригувань.

До них включають виправлення помилок сітки моделі, збільшення деталізації матеріалу або його повної зміни, перевірку відповідності отриманих моделей та їх розташування вихідним вимогам і стандартам.

Успішне завершення виконання описаних етапів гарантує, що 3D-модель буде відповідати вихідним вимогам, буде деталізованою та готовою до використання, як-от у подальшій візуалізації, анімації, додаткового моделювання чи майбутнього експорту із середовища та їх інтеграції в інтерактивні програми (наприклад, ігрові рушії) або онлайн-сервіси перегляду тривимірної графіки.

2.5 Інструментальні засоби створення тривимірних об'єктів

По суті, 3D-моделювання – це універсальна техніка для створення детальних і реалістичних зображень об'єктів і середовищ у віртуальному просторі. Для створення тривимірних моделей необхідне використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Існуючі наразі інструментальні засоби їх створення поділяють на кілька груп: редактори тривимірної графіки, інструменти захоплення та оцифровування об'єктів реального світу та застосунки з використанням процедурних методів генерації.

Редактори 3D-графіки є основними інструментами для створення, модифікації та вдосконалення 3D-моделей.

Популярне програмне забезпечення для 3D-моделювання включає: Blender, Autodesk Maya, 3ds Max і ZBrush, кожне з яких пропонує ряд інструментів для моделювання, текстурування та анімації.

Одним із найбільш відомих та доступних інструментів є Blender, застосунок із відкритим вихідним кодом, який підтримує широкий спектр завдань від моделювання до відстеження руху.

Його універсальність робить його популярним як серед починаючих виконавців, так і серед професіоналів. Autodesk Maya – ще один ключовий гравець, відомий своїми надійними можливостями анімації та рендерингу, що робить його основним продуктом у кіно та ігровій індустрії.

Autodesk 3ds Max чудово підходить для моделювання та візуалізації архітектури, завдяки потужним функціям і легкому доступі до них через інтерфейс застосунку.

ZBrush виділяється цифровим скульптингом, що дозволяє художникам тривимірної графіки створювати високодеталізовані моделі, особливо персонажів і різноманітних істот.

Cinema 4D має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і широко використовується в анімаційній графіці та візуальних ефектах.

Houdini, відомий своїми можливостями процедурної генерації, дозволяє створювати складні симуляції та середовища, що робить його кращим вибором для візуальних ефектів.

Інструменти сканування 3D-об'єктів використовуються для захоплення зображень об'єктів реального світу та перетворення їх на цифрові 3D-моделі. Програмне забезпечення для фотограмметрії (подібної зйомки зображень),

таке як Agisoft Metashape і RealityCapture, використовує серію фотографій, зроблених під різними кутами. Такий метод особливо корисний у таких галузях, як археології, кіновиробництві та, рідше, розробці ігор.

3D-сканери, подібні Artec Eva та Structure Sensor, використовують технології лазерного сканування або структуризації світла, для створення точних цифрових зображень фізичних об'єктів.

Ці пристрої найчастіше використовуються в галузях виробництва, охорони здоров'я та збереження культурної спадщини, адже мають високу точність передачі форми з існуючого об'єкту.

Сканери LiDAR використовують лазерне світло для вимірювання відстаней і створення точних тривимірних зображень середовища.

Їх використовують в топографії, автономних транспортних засобах і геологічних дослідженнях, де потрібно провести картографування великих територій тощо.

Процедурні інструменти створення 3D-об'єктів використовують алгоритми та системи на основі правил для автоматичного створення складних моделей і середовищ.

Вже згаданий Houdini є провідним інструментом у цій галузі, відомим своїми потужними можливостями процедурної генерації, які дозволяють користувачам створювати складні симуляції та динамічні середовища, що робить його особливо популярним у галузі візуальних ефектів.

Застосунок Substance Designer більше спеціалізується на створенні налаштованих текстур за допомогою системи на основі вузлів (нодів).

Для генерації деталей навколишнього середовища використовують інструменти середовищ SpeedTree та Terragen.

SpeedTree розроблено для процесуального створення реалістичної рослинності та дерев. Він широко використовується у відеоіграх і фільмах для ефективного заповнення сцен реалістичною флорою.

Terragen також чудово справляється зі створенням і відтворенням реалістичних природних середовищ, таких як пейзажі та небо.

Програмний засіб World Machine спеціалізований на створенні реалістичних місцевостей і ландшафтів за допомогою використання процедурних методів.

Незалежно від методу створення тривимірної графіки, всі описані інструменти сьогодні активно застосовуються для втілення різноманітних задумів у різних сферах праці.

Використання певних типів інструментальних засобів у галузі 3D обумовлюється особливостями конкретного проєкту, проте пакети програмних засобів тривимірної графіки продовжують у наразі займати перше місце серед можливих варіантів через широке коло вбудованих інструментів та можливості інтеграції певних програмних модулів, що необхідні для виконання більш специфічних завдань.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОЦЕСУ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Виявлення особливостей цільової аудиторії

До цільової аудиторії користувачів комплексу належать студенти вищих навчальних закладів України з медичної освіти, завданням яких є вивчення та закріплення знань з теми охорони праці в межах приміщень операційного блоку.

Потенційними користувачами є молоді люди, студенти 1-2 курсів медичних навчальних закладів, віком 18-25 років, що прагнуть перевірити отримані знання з тематики вимог стандартів охорони праці у операційних приміщеннях за допомогою віртуального досвіду.

3.2 Визначення етапів створення комплексу

Електронні комплекси створюються згідно наступних етапів:

- підготовка;
- розробка;
- тестування;
- подальша підтримка.

Для досягнення поставленої мети, а саме успішної розробки електронного комплексу, необхідно вирішити ряд важливих задач.

Створення електронного комплексу, що включає тривимірні моделі об'єктів у приміщеннях спеціального призначення, наприклад в операційному блоці, є складним процесом. Для початку слід провести аналіз вимог, щоб краще визначити поставлені цілі, зрозуміти потреби майбутніх користувачів і визначити обсяг проєкту. Після цього буде обране відповідне програмне забезпечення для 3D-моделювання.

Крім того, важливий також і збір даних, який буде досягнуто шляхом обстеження сучасних законів та стандартів з охорони праці в приміщеннях операційного блоку, а також збору існуючої документації, як-от креслень і зображень предметів та обладнання в реальному світі, та інформації щодо цільової аудиторії проєкту.

Далі має бути виконано етап 3D-моделювання для створення обраних об'єктів, починаючи зі створення базової геометрії для приміщень, потім додаючи деталізовані елементи, такі як стіни, двері та меблі, і, нарешті, моделювання спеціалізованого обладнання та об'єктів, унікальних для операційного блоку.

Застосування текстур і матеріалів до цих моделей підвищить реалістичність та сприятиме сприйняттю інформації користувачем.

Після створення моделей об'єктів, слід визначитись із планом приміщень операційного блоку, в якому їх буде розташовано. План являтиме собою двовимірне зображення з позначенням розташованих кімнат, їх стін та дверей, вікон та значущих об'єктів, що мають бути там присутні.

План потребуватиме реалізації в середовищі редактора тривимірної графіки. Створену модель приміщення необхідно буде оглянути в режимі навігації від першої особи та провести перевірку точності розмірів та розташування моделей, за необхідності провести необхідні коригування. Майбутня інтеграція в ігровий рушій та тестування гарантуватимуть, що моделі правильно працюють у призначеному програмному середовищі та є відповідними для перегляду користувачем.

Можливе майбутнє доопрацювання передбачатиме внесення остаточних коригувань і створення комплексної документації, включаючи керівництва користувача та технічні характеристики.

Відтворення моделей у робочому середовищі ігрового рушія, особливо можливе створення застосунку з розроблених моделей, забезпечать ефективне використання для навчання та перевірки знань користувачів.

Нарешті, оновлення забезпечать точність і актуальність моделей, можливість створення механізму зворотного зв'язку слугуватиме для постійного його вдосконалення.

3.3 Складання попередніх вимог до створюваного комплексу

Для підготовки та складання переліку попередніх вимог до розробки обраного електронного комплексу необхідно окреслити перелік ключових визначень, пов'язаних з його розробкою. Такий перелік [11] має містити наступну інформацію:

- цілі та завдання для виконання;
- функціональні вимоги;
- очікувані результати розробки.

Оскільки метою роботи було визначено розробку електронного комплексу для створення тривимірних моделей приміщень за вимогами нормативної документації до приміщень спеціального призначення, то цілі та завдання для виконання мають їй відповідати.

Для цього необхідно виконати кілька ключових завдань. По-перше, важливо розробити структуру та перелік набору необхідних моделей для виконання полігонального моделювання. Ця структура має відповідати стандартам охорони праці приміщень операційного блоку, містити необхідну кількість найменувань об'єктів реального світу, що буде виконано в тривимірному середовищі редагування, забезпечуючи як можливе подальше створення моделей приміщень з їх використанням, так і забезпечуючи точність і деталізацію отриманих результатів з точки зору від першої особи для підтримки ефекту присутності.

Основним завданням у створенні моделей постає їх відповідність нормативним стандартам і вимогам охорони праці. Це передбачає відстеження правильного розташування вентиляційних отворів, освітлення, дезінфекційних ламп та інших важливих елементів.

Подальшим важливим етапом є проведення поглибленого дослідження існуючих спеціалізованих програмних засобів, їх середовищ та обґрунтований вибір конкретного редактору тривимірної графіки.

Далі необхідно розробити повну бібліотеку об'єктів у обраному застосунку. Ці об'єкти також будуть класифіковані на декілька типів. Кожний тип має мати достатню кількість об'єктів у класі, щоб забезпечити наявність усіх необхідних об'єктів для точного та відповідного моделювання приміщення та забезпечити подальшу варіабельність всередині приміщень.

Відтак, у межах площі створюваних кімнат буде розташовано ряд об'єктів, що можуть бути віднесені до однієї з трьох категорій:

- специфічні та значущі для обраного типу кімнати;
- необхідні згідно вимог з охорони праці предмети (вентиляційні отвори, характер освітлення, лампи для дезінфекції тощо);
- об'єкти-наповнення.

Функціями розроблюваного комплексу є наявність та можливість поєднання створених просторових моделей приміщень у набори об'єктів із забезпеченням унікальності кожного створеного набору, та варіабельність отриманих результатів за умови обмеженої кількості використовуваних моделей.

Як результат роботи, очікується проведення успішної реалізації розробленого сценарію компонування об'єктів всередині наборів приміщень спеціального призначення, що задовольнятиме описані технічні та функціональні вимоги щодо його створення та вимог стандартної документації щодо охорони праці. Розроблений набір моделей також повинен бути придатним для навчальних, планувальних і верифікаційних цілей, забезпечуючи матеріал для створення комплексних інструментів для візуалізації та перевірки принципів і стандартів розташування об'єктів у спеціалізованих приміщеннях.

4 ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ

Було проведено пошук та досліджено дані документації та доступну інформацію щодо функціональних можливостей різноманітних програмних продуктів у сфері тривимірного моделювання [12-15]. Проведемо детальний огляд їх можливостей.

4.1 Огляд редактора тривимірної графіки 3ds Max

3ds Max, також відома як 3D Studio Max, є відомою професійною програмою та інструментом створення комп'ютерної 3D-графіки для розробки 3D-анімацій, моделей і зображень. Він розроблений і створений компанією Autodesk Media and Entertainment та має чудову сумісність з іншими продуктами Autodesk. На теперішній час її середовище є одним із найпопулярніших і найпотужніших інструментів у галузях розробки тривимірної графіки та її використання.

Загалом 3ds Max є потужним і універсальним програмним забезпеченням для створення комп'ютерної 3D-графіки, яке широко використовується для створення анімації, моделей, ігор і зображень. Він особливо відомий у сферах розробки ігор, виробництва фільмів та архітектурної візуалізації. Він має широкий набір інструментів, направлених на редагування тривимірних площин, що дозволяє користувачам проводити точні операції з точками тривимірного об'єкту. Програмне забезпечення також підтримує моделювання на основі сплайнів і NURBS, забезпечуючи точний контроль над кривими та поверхнями. Проведемо більш детальний аналіз програми 3ds Max.

Однією з видатних особливостей 3ds Max є його неруйнівний стек модифікаторів, який дозволяє користувачам застосовувати та редагувати численні видозміни вигляду та відображення об'єкта, не змінюючи його

базової геометрії. Така відносна гнучкість та варіація отриманих результатів дозволяє проводити експерименти та впроваджувати вдосконалення у фінальний вигляд продукту під час процесу моделювання та без спотворень початкової геометрії.

Програмне забезпечення також містить розширені інструменти для анімації. Найбільш відомими з них є анімація ключових кадрів, Character Animation Toolkit (CAT) і Biped. Можливість їх застосування задовольняє потреби у широкому спектрі видів анімації, від простих рухів зміщення моделей за осями координат до складних анімацій персонажів.

Візуалізація в застосунку відбувається та обробляється за допомогою інтегрованого механізму Arnold, відомого доволі якісними результатами за умови використання простої геометрії та налаштованих матеріалів. Але застосунок також підтримує й інші популярні системи проведення рендеру, такі як V-Ray і Redshift. Використання даних механізмів дає змогу досягти більшої фотореалістичності отриманої візуалізації та більшої деталізації зображення за рахунок кращої обробки текстур.

Вбудований редактор матеріалів 3ds Max – це ще одна потужна функція, яка пропонує сучасний підхід до створення складних мереж текстур, матеріалів та затінення на основі вузлів (нодів). Текстурування в 3ds Max має інструменти, які дозволяють малювати безпосередньо на моделі.

Крім того, програмне забезпечення підтримує широкий спектр форматів для легкої інтеграції та експорту його файлів у різні виробничі конвеєри, що дозволяє за необхідності виконувати необхідні операції у іншому, потенційно більш спеціалізованому, середовищі.

Для налаштування робочого процесу 3ds Max пропонує широкі можливості створення сценаріїв середовища. Їх розробка потребує знань мов програмування MaxScript і Python, а використання дозволяє автоматизувати повторювані завдання та створювати власні інструменти. Для розширення можливостей застосунку можна також використати й загальнодоступні програмні модулі.

Графічний інтерфейс програми (рис. 4.1) має технічний нахил та може бути складним для розуміння невідготуваному користувачу.

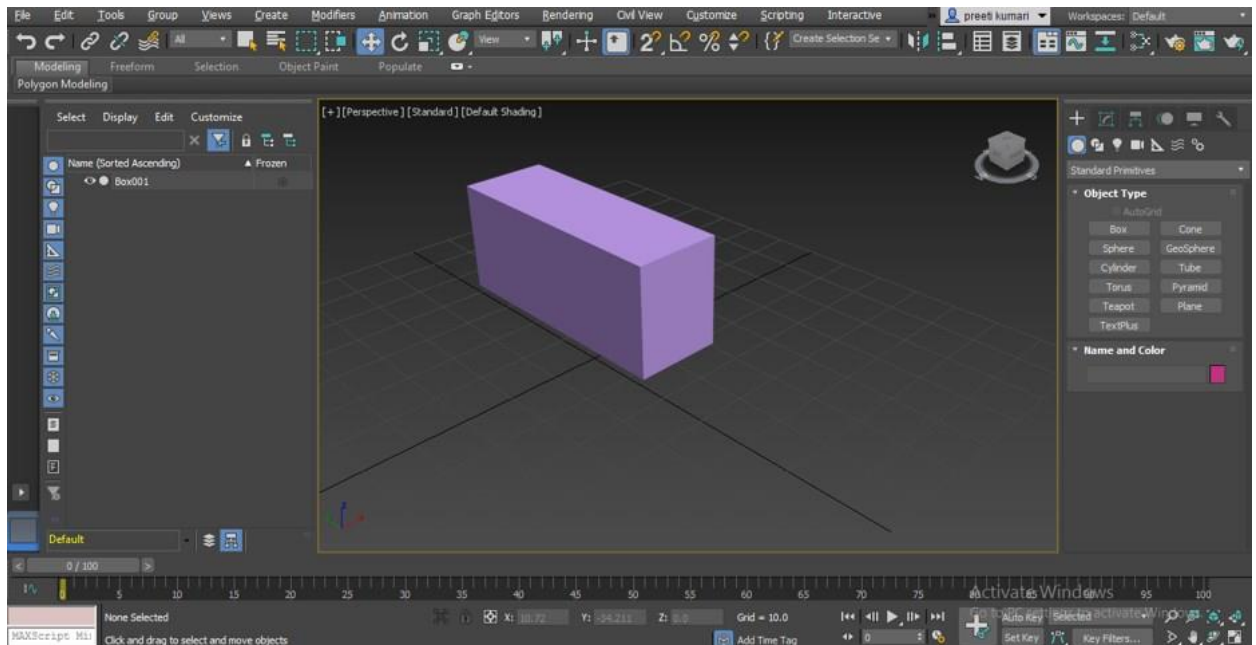


Рисунок 4.1 – Інтерфейс середовища 3ds Max

З проведеного дослідження виділимо ключові переваги використання середовища 3ds Max для розробки проєкту:

- можливість створення UV-розгортки, проведення запікання текстур і підтримка робочих процесів PBR;
- сумісність та легка інтеграція з іншими продуктами компанії Autodesk та ігровими рушіями;
- підтримка MaxScript і Python для налаштування та автоматизації;
- існування ряду модифікаторів для гнучкого неруйнівного редагування;
- популярність у розробці ігор та галузі візуалізації архітектури, що підтримує існування великої кількості загальнодоступних ресурсів задля поширення інформації щодо його використання;
- широка підтримка та можливість завантаження ресурсів від компанії-виробника.

Разом із перевагами, виділимо й кілька відносних недоліків програми:

- є комерційним продуктом, що має дуже високу вартість та потребує оновлення підписки;
- розроблений лише для ОС Windows;
- потребує попередньої підготовки та навчання, спеціалізованого під таке середовище.

Відтак, 3ds Max особливо цінується за надійний набір інструментів і здатність створювати дуже деталізовані й точні моделі, що особливо важливо у сфері розробки ігор і візуалізації архітектури. Його універсальність і повний набір функцій роблять його кращим вибором для професіоналів у цих галузях, незважаючи на його складність і високі системні вимоги, необхідні для виконання великих і складних проєктів.

Загалом 3ds Max виділяється з-поміж інших як програмне забезпечення вищого рівня для 3D-моделювання, анімації та візуалізації, надаючи професіоналам інструменти, необхідні для створення реалістичного та детального 3D-контенту у різних сферах.

4.2 Огляд редактора тривимірної графіки Maya

Середовище редагування тривимірної графіки Maya, також розроблене компанією Autodesk, є одним із найдосконаліших і широко використовуваних програмних засобів для 3D-моделювання та анімації.

Він відомий своїми потужними можливостями у створенні високоякісних тривимірних ресурсів (моделей), анімації та візуальних ефектів. Наразі є найкращим вибором для виконавців у галузі кіно, телебачення та ігрової індустрії.

Однією з ключових сильних сторін Maya є його багатий і складний набір інструментів, який відповідає кожному аспекту 3D-редагування. Вони є дуже просунутими, підтримують найрізноманітніші методи моделювання та надають можливість керування кожною вершиною відносно площини або

групи інших вершин в процесі роботи. Така гнучкість сприяє продуктивності створення складних персонажів, оточення та об'єктів, які відповідають сучасним стандартам медіа у вищеповисаних галузях.

Найбільш відомий Maya за впроваджені можливості створення анімації. Програмне забезпечення надає широкий набір інструментів анімації, і наразі вони є одними з найкращих, що знову ж таки підкреслює основний напрям роботи користувачів даного застосунку.

Візуалізація в Maya подібна до можливостей 3ds Max: у застосунок інтегровано засіб рендеру Arnold, але також збережено підтримку інших механізмів візуалізації, таких як V-Ray і Redshift. Процес роботи з матеріалами також реалізовано на основі вузлів (нодів), який спрощує створення складних матеріалів і текстур.

Інтерфейс програми (рис. 4.2) також подібний до інтерфейсу попереднього розглянутого редактора: надмірна кількість іконок та можливих інструментів є складним для неознайомленого користувача, тож виконання проєкту потребуватиме попередньої підготовки.

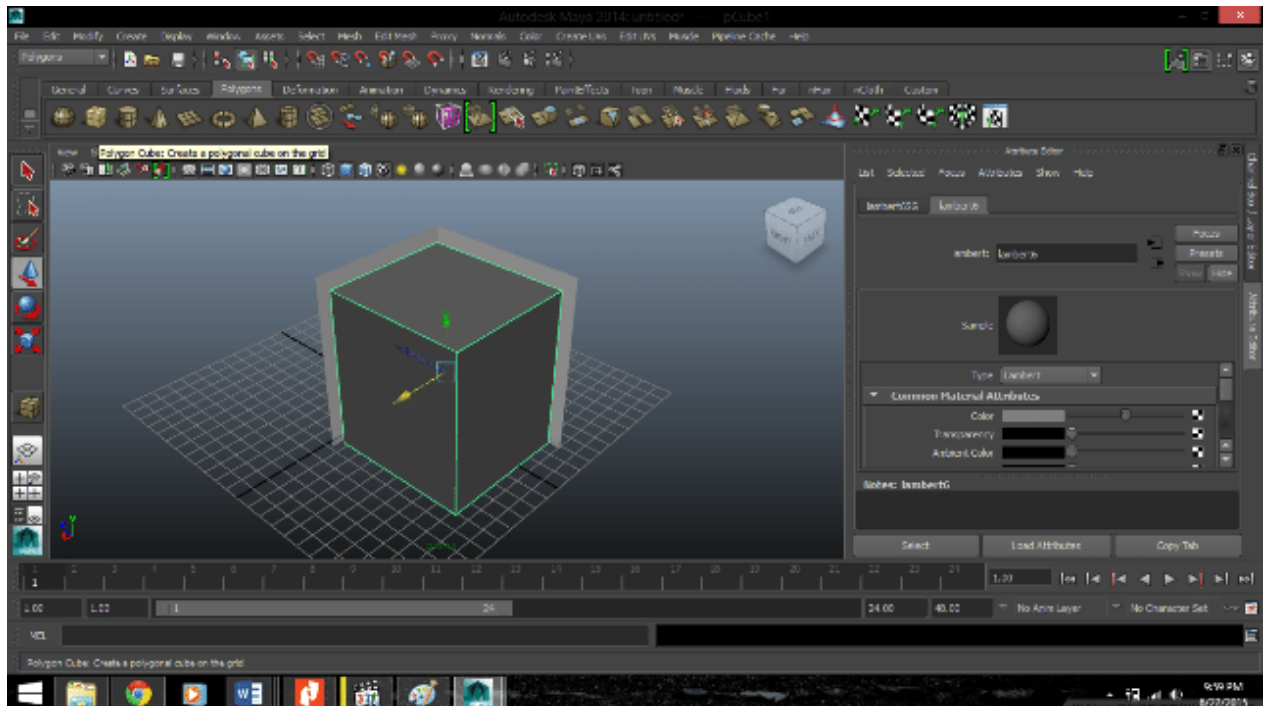


Рисунок 4.2 – Інтерфейс програми Maya

Задля автоматизації повторюваних завдань та налаштування для великих виробничих середовищ, програмне забезпечення підтримує MEL (вбудовану мову Maya) і Python для створення власних сценаріїв.

Maya також має сумісність з іншими продуктами Autodesk і програмами сторонніх розробників.

Незважаючи на численні переваги, Maya має потребує поглибленого навчання для роботи. Глибина та складність програмного забезпечення є загалом завеликою для початківців у сфері використання. Однак для тих, хто вже має досвід використання, або витратить значну кількість часу задля опанування, Maya є незамінним засобом редагування та створення тривимірної графіки. Крім того, Maya також є комерційним продуктом та поширюється так само як і 3ds Max, тож така вартість також є перешкодою для окремих користувачів і невеликих студій.

Отже, Maya – це потужний інструмент у світі 3D-графіки та анімації, що потребує поглиблених знань та доволі високих витрат на користування. Та незважаючи на деякі негативні фактори для користувача, професійне використання його широким набором функцій (що особливо незамінні у галузях, пов'язаних з візуальними ефектами та розробкою анімації) та отримувані результати виправдовують інвестиції.

4.3 Огляд редактора тривимірної графіки ZBrush

ZBrush – вузькоспеціалізована програма, розроблена компанією Pixologic. Застосунок призначається для 3D-моделювання та проведення скульптингу, та особливо відомий своєю здатністю обробляти надзвичайно деталізовані моделі з високою роздільною здатністю (високою кількістю полігонів в рамках однієї моделі).

Наразі ZBrush розроблено для двох операційних систем: ОС Windows, так і для macOS. Продукт потребує ліцензування, та за його наявності

програма дозволяє за необхідності працювати на обох операційних системах або будь-коли переключатися між ними в межах одного облікового запису.

Особливе застосування середовище редагування ZBrush знаходить серед художників персонажів, цифрових скульпторів та інших розробників, які прагнуть отримати складні і органічні деталі у моделях.

Оскільки найвидатнішою особливістю застосунку є розширені можливості скульптингу, все його середовище розроблено під впливом необхідності підтримки цього виду моделювання. ZBrush дозволяє художникам тривимірних об'єктів працювати з мільйонами багатокутників без значних уповільнень продуктивності, дозволяє створювати неймовірно деталізовані та складні поверхні. Така продуктивність підтримується завдяки унікальній вбудованій технології Pixon. Вона зберігає інформацію про колір, матеріал, глибину та орієнтацію кожної точки на моделі.

Розглянемо деякі інструменти та ключові особливості ZBrush, що відіграють основну роль у роботі та відрізняють даний продукт від подібних.

Наприклад, одним із основних інструментів застосунку є Dynamesh. За його допомоги відбувається динамічна тесселяція сітки під час скульптингу. У свою чергу такий механізм гарантує можливість продовжувати додавати деталі, не турбуючись про зміну базової геометрії. Це робить процес ліплення більш інтуїтивно зрозумілим і плавним.

ZRemesher – ще одна потужна функція, яка автоматично генерує чисту анімаційну топологію зі скульптури (тривимірної моделі з багатомільйонною кількістю полігонів), спрощуючи процес підготовки моделей для анімації або подальшої деталізації.

Поліфарбування – підхід ZBrush до текстуровання, що дозволяє художникам малювати безпосередньо на поверхні високодеталізованої моделі. Він дає змогу текстурувати та деталізувати (проводити скульптинг) моделей одночасно. Цей метод з часом плавно інтегрувався в робочий процес створення моделей у середовищі застосунку.

ZBrush також пропонує ряд інструментів для моделювання твердих поверхонь. До них належить так звана кисть ZModeler: вона надає полігональні інструменти моделювання в середовищі скульптури для створення механічних об'єктів, броні та інших неорганічних форм.

GoZ – це функція, яка забезпечує повну інтеграцію з іншим 3D-програмним забезпеченням, включаючи Maya, 3ds Max і Blender. Це дозволяє користувачам безперешкодно переносити моделі між ZBrush та іншими програмами без втрати деталей чи кількості вершин чи полігонів. Така функція оптимізує робочий процес для складних проєктів, що потребують, наприклад, втручання кількох виконавців в ході реалізації проєкту.

Програма ZBrush однаково добре працює на більшості сучасних комп'ютерів незалежно від їх відеокарт завдяки використанню лише можливостей процесора.

Застосунок виконує рендер за допомогою Redshift та BPR.

Інтерфейс програми (рис. 4.3) орієнтований на використання конкретної вибірки інструментів, переважно спеціалізованих для скульптингу, проте є інтуїтивно зрозумілим.

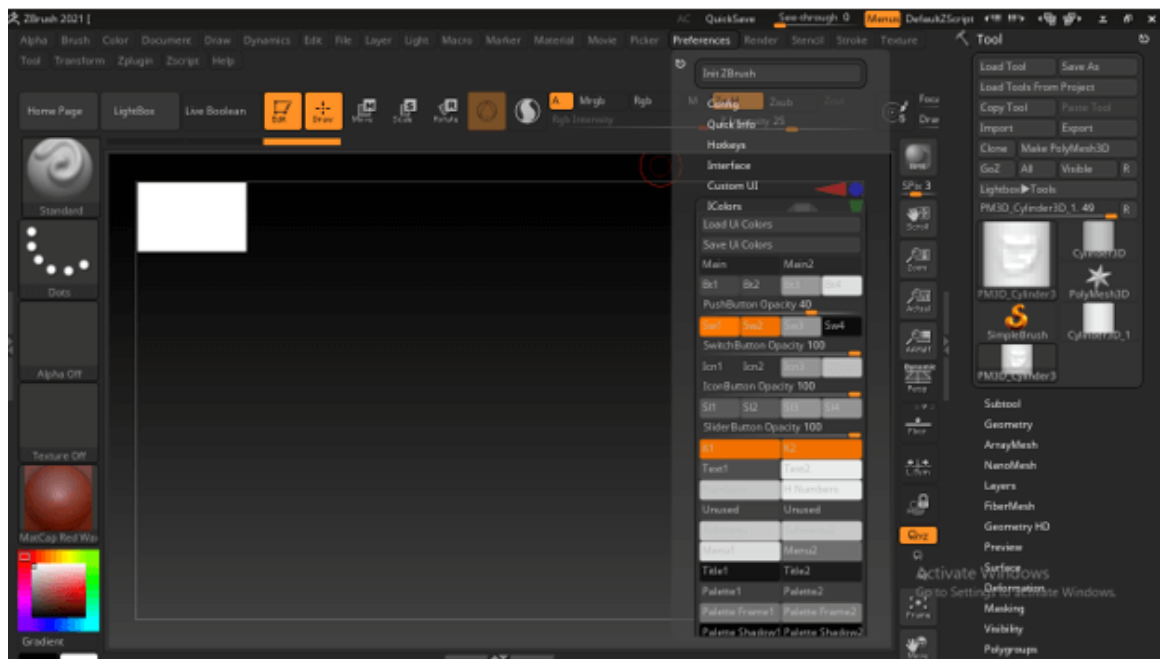


Рисунок 4.3 – Інтерфейс програми ZBrush

Незважаючи на перераховані потужні можливості ZBrush, його особливий спеціалізований інтерфейс може бути занадто складним для деяких користувачів, особливо якщо їх робота не так тісно пов'язана та орієнтована на скульптинг.

Увесь графічний інтерфейс програми створено для збільшення простору на екрані, відведеного для скульптингу та відповідних інструментів. Також компанією-розробником настійно рекомендується використання у роботі графічного планшета.

З точки зору вартості ZBrush відноситься до програмного забезпечення високого класу, що потребує щомісячної підписки. В той же час, він коштує у рази менше за попередні розглянуті редактори Maya та 3ds Max.

Загалом ZBrush є інструментом-стандартом для цифрової скульптури та деталізації моделей, що пропонує неперевершені можливості для створення складних моделей. Його зосередженість на органічних моделях і скульптингу робить його важливим інструментом для художників тривимірних моделей, які працюють над дизайном персонажів, істот та інших високодеталізованих об'єктах у кіно, іграх та анімації.

4.4 Огляд редактора тривимірної графіки Blender

Blender – це безкоштовний пакет програмного забезпечення для створення 3D із відкритим вихідним кодом, який набув широкої популярності завдяки своїй універсальності та широкому набору функцій.

Розроблений Blender Foundation, він поширюється шляхом мережі інтернет, не потребує плати або підписки, але при цьому підтримує надзвичайно широкий спектр завдань, включаючи моделювання, створення розгортки, текстурювання, анімацію, симуляцію, рендеринг, композицію та відстеження руху. Він поєднує у собі редактор тривимірних та двовимірних зображень, редактор та програвач відео, надає можливість пост-обробки рендеру з використанням даних моделей, редактор текстур та матеріалів та

редактор для UV з використанням інструментів миттєвого редагування зображень, що накладаються на розгортку об'єкту.

Blender доступний для багатьох платформ, включаючи Windows, macOS і Linux, що робить його більш доступним для широкого кола потенційних користувачів.

Однією з ключових переваг Blender є його комплексний набір інструментів моделювання. Він пропонує розширені функції полігонального моделювання, інструменти для скульптингу та моделювання поверхонь полігонів моделі. Програмне забезпечення також містить потужні інструменти для створення розгортки UV у реальному часі, їх автоматизоване покращення завдяки можливостям застосунку. Він також має ряд інструментів, які необхідні для текстурування та можливого малювання безпосередньо на моделях та збереження отриманих даних у їх UV-картах.

Blender також не поступається іншим програмним продуктам галузі в анімації завдяки своєму надійному набору інструментів: анімації ключових кадрів, переміщення та прив'язки на основі створюваної арматури моделей та нелінійної анімації. Застосунок широко використовується для створення анімації персонажів, візуальних ефектів і навіть повнометражних анімаційних фільмів, що часто викладаються на загальнодоступних майданчиках у вільний доступ для перегляду.

Також Blender виділяється існуванням в межах середовища унікальної функції – вбудованого інструменту Grease Pencil, що дозволяє створювати 2D-анімацію в 3D-середовищі. Такий інструмент особливо корисний для розкадровки майбутнього відеоряду та створення концепт-арту.

Візуалізація в Blender обробляється двома власними вбудованими рушіями рендеру: Cycles і Eevee.

Cycles – це інструмент, що прораховує фізичне трасування шляху проходу променів освітлення та його відбивання налаштованими текстурами в межах кожного пікселя отриманого двовимірного зображення візуалізації. Такий рушій здатний на створення високоякісних та

фотореалістичних зображень. При цьому він має широкий вибір налаштувань, що вплинуть на отримувану якість (кількість «семплів», трасувань) або ефективність (застосунок підтримує налаштування розподілу навантаження процедури створення візуалізації між процесором та відеокартою різних виробників).

З іншого боку, Eevee – механізм візуалізації в реальному часі, який забезпечує швидкий зворотний зв'язок і ідеально підходить для попереднього перегляду та остаточного рендерингу менш складних сцен.

Також пакет має рушій Bench, що займається також рендером зображень на екран монітору в реальному часі, проте не підтримує відображення текстур або варіацій освітлення. Моделі відображаються як полігони, зафарбовані у сірий колір, що надає можливість комфортного редагування об'єктів, і в той же час не навантажувати систему.

Комбінація наданих рушіїв створення рендерів дає користувачам достатню гнучкість у виборі відповідного підходу до візуалізації для своїх проєктів.

Можливості композиції та пост-обробки у Blender є дуже широкими як для неспеціалізованої програми. Все це завдяки вбудованому редактору, компоновальнику на основі вузлів, який дозволяє виконувати складні маніпуляції з двовимірними зображеннями, UV-розгортками та налаштуваннями текстур конкретних моделей безпосередньо в середовищі програмного забезпечення. Така інтеграція спрощує робочий процес, адже зменшує необхідність перемикатися між різними програмами.

Сценарії та налаштування, як і для інших редакторів тривимірної графіки також є важливими аспектами Blender. Він використовує лише Python для створення сценаріїв, а не окрему власну мову програмування, що дозволяє користувачам автоматизувати повторювані завдання, створювати власні інструменти та загалом розширювати функціональність програмного забезпечення. У загальному доступі спільноті користувачів створено чи не безмежну їх кількість. Завдяки цьому Blender може бути дійсно чудово

адаптованим до найрізноманітніших проєктів та значно спростити виконання поставлених вимог.

Згадана спільнота застосунку Blender є ще й одним із його найбільших активів. Будучи програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, він отримує зміни та покращення від глобальної спільноти розробників і користувачів, які роблять внесок у його постійне вдосконалення та надають велику кількість навчальних посібників, програмних модулів автоматизації (сценаріїв) і доповнень функціоналу продукту. Така загальносвітова співпраця сприяє швидким інноваціям і гарантує, що Blender і впродовж залишатиметься серед найкращих редакторів у сфері 3D-технологій.

Графічний інтерфейс користувача у Blender (рис. 4.4) вдосконалювався протягом багатьох років, і наразі став інтуїтивно зрозумілим та зручним навіть для непідготовленого користувача. Але сучасний обсяг його можливостей все ще може стати проблемою для навчання. Незважаючи на це, велика кількість доступних безкоштовних освітніх ресурсів допомагає з цим впоратись та поширювати знання між виконавцями.

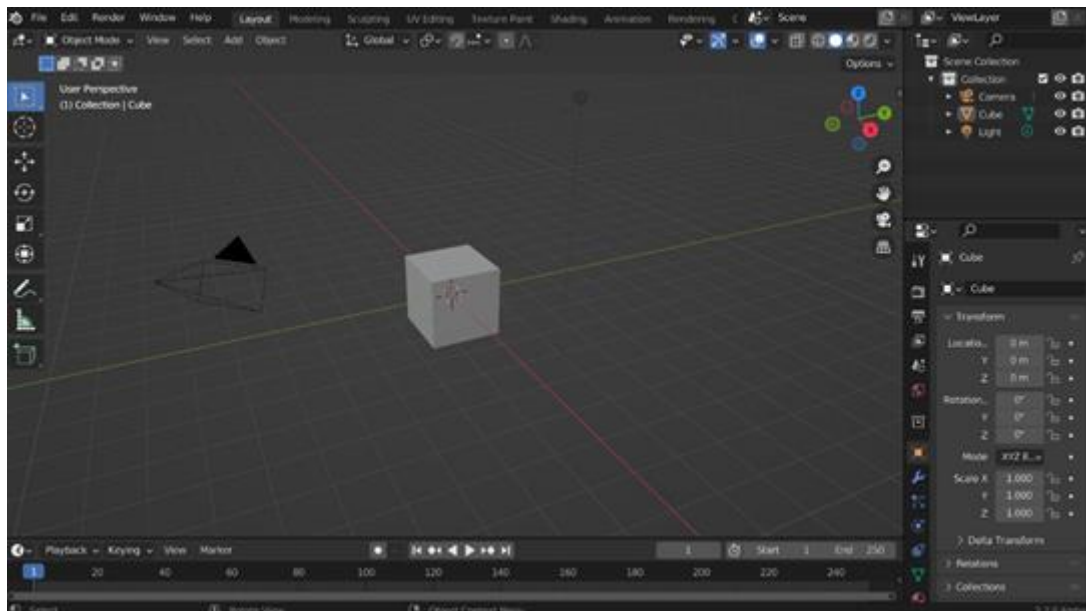


Рисунок 4.4 – Інтерфейс програми Blender

Найголовніше вікно програми – вікно попереднього перегляду сцени. В цьому вікні відбувається безпосереднє редагування моделей, їх топології та розташування. Користувачі можуть вільно додавати вікна, змінювати їх розмір та за необхідності видаляти (поєднувати між собою, отримуючи одну велику область замість двох) або змінювати їх розташування (також можна міняти обрані області місцями між собою). У верхньому лівому куточку кожного вікна розташовується кнопка вибору його типу. А провівши мишею із затиснутою лівою кнопкою по будь-якій межі дозволить провести описані зміни вікон. Відтак, вже на цьому етапі роботи з програмою можна помітити налаштованість інтерфейсу на зручність користувача.

Навігація у вікні перегляду також не викликає проблем навіть за першого користування застосунком – всі необхідні варіанти переміщень винесено у окремі кнопки в правій частині вікна з відповідними піктограмами, що змінюються в реальному часі. Також кожна функція середовища має скорочений спосіб виклику за допомогою натиснення кнопок на клавіатурі, що відповідають бажаній функції.

З часів, коли Blender початково створювався як загальнодоступний ігровий рушій, у середовищі залишилась можливість навігації у режимі ходьби чи польоту: у даних режимах можна спостерігати створені об'єкти від першої особи, та пересуватись по площинах як в умовах симуляції. Такий спосіб є надзвичайно дієвим та наочним як для оцінки розроблених моделей, так і для їх презентації.

Всі підтримувані налаштування можуть бути знайдені у власному вікні, та змінені залежно від бажання та можливостей користувача (застосунок підтримує емуляцію клавіш клавіатури та миші).

Таким чином, Blender – це потужний та універсальний пакет для створення 3D, який у багатьох аспектах конкурує з комерційним програмним забезпеченням. Його великий набір функцій у поєднанні з безкоштовністю та відкритим вихідним кодом робить його привабливим варіантом як для початківців, незалежних розробників, так і для професіоналів. Для

модельовання, анімації, візуалізації чи композиції Blender пропонує комплексне рішення для широкого спектру 3D-проектів, разом із численною кількістю найрізноманітніших вбудованих функцій та програмних модулів, створених користувачами загальносвітової спільноти застосунку.

4.5 Вибір редактора тривимірної графіки

Закінчивши огляд сучасних редакторів для створення та редагування тривимірної графіки, проведемо вибір редактору для обраного проекту, що підійде найкраще для виконання поставлених вимог. Задля цього ще раз сформуємо перелік вимог до необхідного програмного забезпечення.

До них належать:

- присутність широкого переліку інструментів для виконання полігонального моделювання;
- можливість створення та редагування UV-розгорток моделей;
- наявність вбудованого редактора обробки двовимірних зображень для накладання текстур;
- можливість налаштування матеріалів;
- гнучкість, висока можливість налаштування;
- можливість зміни виконавця/комп'ютера/операційної системи для його доопрацювання;
- легка навігація;
- безпроблемний імпорт та експорт моделей;
- доступність програмного забезпечення (за вартістю).

Відповідно до обраних вимог та проведеного дослідження можливих програмних засобів, складемо порівняльну таблицю (табл. 4.1). Зазначимо у ній назви редакторів та заповнимо поля згідно їх відповідності критеріям, де символом «+++» позначимо за умови повної відповідності вимозі, «++» – за часткової відповідності, «+» – за невідповідності або відсутності необхідного параметру в редакторі.

Таблиця 4.1 – Вибір редактору тривимірної графіки

Критерій оцінки	3ds Max	Maya	ZBrush	Blender
Вибір інструментів моделювання	+++	+++	++	+++
Створення та редагування UV-розгортки	+++	+++	+++	+++
Редактор обробки зображень	++	++	+	+++
Налаштування матеріалів	+++	+++	+++	+++
Гнучкість налаштування	++	++	++	+++
Можливість зміни параметрів системи	++	++	++	+++
Легка навігація	++	++	+	+++
Імпорт та експорт моделей	+++	+++	++	+++
Доступність програмного забезпечення (за вартістю)	+	+	++	+++
Загальна кількість балів	21	21	18	27

Отже, за результатами проведеної роботи Blender є найкращим вибором для створення 3D-моделей приміщень спеціального призначення завдяки широким можливостям полігонального моделювання та відповідності іншим важливим критеріям. Він пропонує розширені інструменти редагування розгортки, має можливість застосування неруйнівних модифікаторів, а інтегровані редактори, як-от для редагування зображень, спрощують процес виготовлення моделей та підвищують ефективність роботи.

Крім того, механізм візуалізації в реальному часі Eevee забезпечує високоякісний попередній перегляд моделей, дозволяючи побачити, як виглядатимуть приміщення в різних умовах освітлення та середовищах. Крім того, Blender є безкоштовним і має безліч можливих доданих програмних модулів, що робить його доступним варіантом без втрати функцій редакторів професійного рівня.

5 РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ЕЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСУ

5.1 Формалізація вимог стандартної документації

Проведемо дослідження вимог стандартів охорони праці, що мають бути витримані у наборах моделей. Згідно з ДБН В.2.2-10:2022 "Заклади охорони здоров'я" [16], операційні приміщення повинні відповідати ряду вимог щодо характеристик приміщень, розташування кімнат, обладнання та предметів у них. Вимоги до створюваного набору можна розділити на архітектурні вимоги та вимоги до приміщень.

Архітектурні вимоги включають в себе стандарти розташування, розміру та співвідношень площ кімнат операційного блоку, вимоги до поверхового розташування блоку тощо. Дані для роботи знайдемо у ході виконання пошукової роботи в ряді доступних джерел [17-24]. Основні такі вимоги до розташування операційних приміщень та шляхи реалізації вимог у моделі відобразимо у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Архітектурні вимоги

№	Вимога	Коректна реалізація	Помилкова реалізація
1	2	3	4
2	Операційний блок повинен розташовуватися в окремому приміщенні або частині будівлі закладу охорони здоров'я, з'єднуватися коридором з хірургічними відділеннями	Правильний план операційного блоку	Помилковий план операційного блоку
3	Потоки в операційному блоці повинні бути розділені на «стерильний» – прохід хірургів та операційних сестер, «чистий» – для транспортування пацієнтів, проходу анестезіологів, молодшого і технічного персоналу, та «брудний» – видалення відходів, використаної білизни тощо, які не повинні перехрещуватися або стикатися.	Правильний план операційного блоку	Помилковий план операційного блоку

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
4	При розміщенні операційного блоку ізольовано від інших лікувальних корпусів необхідно передбачити зручні утеплені переходи, що з'єднують операційний блок з іншими підрозділами.	Не відтворюється в моделі	Не відтворюється в моделі
5	Операційні відділення проєктують ізольованими від усіх груп приміщень такими, що мають зручні зв'язки з приміщеннями відділень реанімації та інтенсивної терапії, палатними відділеннями хірургічного профілю, відділенням невідкладної допомоги (приймальним відділенням), структурним підрозділом з репроцесингу медичних виробів, складом стерильних медичних виробів.	Не відтворюється в моделі. Модель локальна, виключно операційний блок	Не відтворюється в моделі. Модель локальна, виключно операційний блок
6	Операційний блок не може бути прохідним, він повинен бути ізольований від інших підрозділів стаціонару шлюзом	Не відтворюється в моделі. Модель локальна, виключно операційний блок	Не відтворюється в моделі. Модель локальна, виключно операційний блок

Крім архітектурних вимог не менш важливими є вимоги до приміщень. Вони враховуються нормативи на типи об'єктів, їх призначення та кількості, розташування у кімнатах, тип обробки та покриття поверхонь (підлога стеля, стіни). Також вимоги описують необхідний ступінь освітлення та його тип – комбінацію штучного та природнього. Вимоги до об'єктів та їх розміщення реалізуються за допомогою 3D моделей цих об'єктів, що розміщуються у віртуальному приміщенні згідно вимог та у потрібній кількості. Вимоги до покриття поверхонь відображаються у моделі приміщення відповідними текстурами та матеріалами. Вимоги непередметного характеру (температура, вологість, освітленість, швидкість повітряного потоку тощо) вирішено відтворювати у віртуальному приміщенні за допомогою допоміжними об'єктів, наприклад плану приміщення, вимірювальних приладів, за якими користувач зможе дізнатися ці характеристики. Деталі вимог до приміщень та розміщених у них моделей наведемо у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вимоги до приміщень

№	Вимога	Коректна реалізація	Помилкова реалізація
1	2	3	4
1	Операційний блок має розташовуватися на окремому поверсі (але не першому) багатоповерхового хірургічного корпусу	Текстури для вікон з видом не з першого поверху	Текстури для вікон з видом з першого поверху, видна земля
2	Операційні необхідно проектувати на 1 операційний стіл, за виключенням операційних, в яких проводять операції з трансплантації	У приміщенні операційної тільки один комплект моделей операційного стола з супутнім обладнанням	У операційному приміщенні немає операційного столу, або є два столи далеко один від одного (наприклад, з протилежних боків кімнати), або ж є три та більше столів
3	Після операції персонал повертається в санпропускник через приміщення, в якому встановлюються контейнери для збору використаної білизни (халатів, хірургічних костюмів, масок, шапочок, бахил)	У спец. приміщенні (санпропускнику) мають бути моделі контейнерів для збору використаної білизни	У спец. приміщенні відсутні моделі контейнерів для збору використаної білизни, або в помилковому плані відсутні такі спец. приміщення
4	Операційний зал є основним структурним підрозділом операційного блоку та повинен бути обладнаний безтіньовими підвісними лампами, анестезіологічною апаратурою, операційним столом (або декількома), системою моніторингового контролю і столиками для стерильного матеріалу, дезінфікуючих та інфузійних засобів	Наявність у операційній залі моделей: безтіньової операційної лампи, анестезіологічної апаратури, столиків для стерильного матеріалу, дезінфікуючих та інфузійних засобів	Відсутність у операційній залі якихось з моделей: безтіньової операційної лампи, анестезіологічної апаратури, столиків для стерильного матеріалу, дезінфікуючих та інфузійних засобів
5	Поверхні стін та стелі мають бути матовими, гладкими, легкодоступними для вологого прибирання і дезінфекції. У приміщеннях, що підлягають вологому дезінфікуванню, стіни облицьовують глазурованою плиткою або іншими водостійкими матеріалами на всю висоту, стелю фарбують водостійкою фарбою	Текстура для стелі – матова фарба, текстура для стін – матова фарба або глазурована плитка на всю висоту	Текстура для стін – тканинні або паперові шпалери

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4
6	Підлогу операційних, наркозних, передопераційних та інших спеціалізованих приміщень операційного блоку покривають матеріалами, що не пропускають воду і витримують часте миття дезінфікуючими розчинами. Покриття підлоги з лінолеуму в має бути гладким, щільно підігнаним до основи, без дефектів (щілин, тріщин, дір тощо); шви листів лінолеуму – ретельно запаяні; краї у стін – підведені під плінтуси та щільно закріплені без щілин між стіною і підлогою	Текстура підлоги – гладке фарбоване покриття, цільний лінолеум без швів з'єднань або гладке бетонне епоксидне покриття	Текстура підлоги – дошки зі щілинами, старий паркет з пошкодженнями, лінолеум зі щілинами між листами або з дірками, килим
7	Передопераційні, перев'язувальні, процедурні кабінети, у яких потрібно дотримуватись особливого режиму чистоти рук обслуговуючого персоналу, необхідно обладнати умивальниками із кранами, які відкривають ліктем	Передопераційні містять модель умивальника із кранами, які відкривають ліктем	Відсутність моделей умивальників, або наявність звичайного умивальника
8	Операційні відділення повинні бути обладнані водопроводом, каналізацією, централізованим гарячим водопостачанням.	Не відтворюється в моделі	Не відтворюється в моделі
9	Будівлю лікувального закладу обладнують системами припливно-витяжної вентиляції з механічним спонуканням. Припливне повітря з системи кондиціонування має надходити у верхню зону приміщення операційної не нижче 2,5 м від підлоги. Видалення повітря з операційної здійснюють із двох зон – верхньої на 40% та нижньої 60% (0,4 м від підлоги)	У операційній та наркозній кімнаті під стелею знаходяться моделі кондиціонерів, на нижній частині стін знаходяться моделі вентиляційних сіток	Відсутність моделі кондиціонеру, відсутність моделі вентиляцій або відсутність моделей кондиціонеру та вентиляцій
10	Мікрокліматичні умови в операційній: розрахункова температура повітря в операційних згідно санітарних норм має складати 22 °С, вологість повітря – 50-55%, швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с	У операційній модель психрометра, що показує температуру 22 °С, вологість повітря – 53%; швидкість руху повітря не відтворюється в моделі	У операційній модель психрометра, що показує температуру 18 °С, вологість повітря – 65%

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4
11	Приміщення операційного відділення повинні мати природне та штучне освітлення	У операційній має бути вікна та світильники на стелі	Відсутність вікон або відсутність світильників
12	До освітлення операційної висуваються такі вимоги: достатній рівень освітленості, рівномірність, мінімальний засліплювальний вплив джерел світла і блискучість, відсутність тіней і перепадів освітлення під час операції, відсутність нагрівання лампи, наближення спектра випромінювання штучного джерела до спектра природного світла	Спектр джерела світла сцени та штучного світла наближений до природного	Спектр джерела світла сцени та штучного світла суттєво відрізняється від природного
13	Загальна освітленість операційної - 300-500 лк, освітленість на поверхні операційного поля має бути в межах 3000-10000 лк . Освітлення, що відповідає зазначеним вимогам, забезпечують безтіньові лампи.	Наявність моделі безтіньової лампи	Відсутність моделі безтіньової лампи або наявність лише звичайної лампи

За результатами формалізації вимог до операційного блоку можна скласти перелік необхідних моделей устаткування операційної. Серед устаткування важливими є стаціонарний (фіксований) операційний стіл, над яким підвішена рухома хірургічна безтіньова лампа (розташовані, найчастіше, в центрі приміщення), інші столи (зокрема інструментальні, «анестезіологічний», малий операційний та великий операційний), хірургічний інструментарій, апарати для штучної вентиляції легень, наркозні апарати, додаткові та автономні лампи освітлення, бактерицидні лампи, підставки для тазів, біксів та мішків (для використаного матеріалу), підставки для ніг, металічні стільці, апарат для електродіатермокоагуляції, електровідсмоктувач рідин, пристрої для організації вливання рідин (штативи, стійки, інфузомати) та інше.

Існує стандартний набір компонентів, що обов'язково повинні бути у кожній операційній залі. До таких об'єктів належать:

- функціональний стіл для проведення операцій;

- освітлення;
- підвісні консолі;
- моніторингове устаткування;
- аспіратори;
- коагулятори;
- електрохірургічне обладнання.

В операційному залі обов'язково повинна бути система вентиляції, панелі та консолі для подачі медичних газів, столи для інструментів та стійки для подачі інфузійних розчинів.

Передопераційні приміщення для медичного персоналу оснащені спеціальними мийками з сенсорними або ліктьовими кранами і шафою з двома відділеннями, для упакованого стерильного одягу – полиці в правому відділенні, вішалки для халатів – зліва.

Передопераційне приміщення для хворого включає в себе шафу і каталку.

5.2 Створення ряду відповідних тривимірних об'єктів та текстур

Створення ряду відповідних 3D-об'єктів і текстур потребує детального підходу до його розробки. Першим кроком є розробка моделей під конкретні вимоги спеціалізованого приміщення. Це означає не лише дотримання візуальних та естетичних рекомендацій, що притаманні медичним закладам, але й включення функціональних елементів, які відповідають відповідним стандартам і нормам. Розроблені об'єкти також мають відображати реальні параметри розміру, форми та функціональності.

Тривимірні об'єкти було створено методом полігонального моделювання у середовищі програмного забезпечення Blender (рис. 5.1). Такий підхід виконує вимоги до точного редагування та зміни положення окремих вершин, та дає змогу утримати найнижчу кількість полігонів. Отже, розроблені моделі відповідатимуть розмірам об'єктів в реальному світі, а відносно невелика кількість вершин у моделях (їх менший розмір у пам'яті

комп'ютера) спростить подальші процеси доопрацювання: експорт та інтеграція у ігровий рушій або онлайн-сервіс перегляду тривимірної графіки для подальшого поширення.

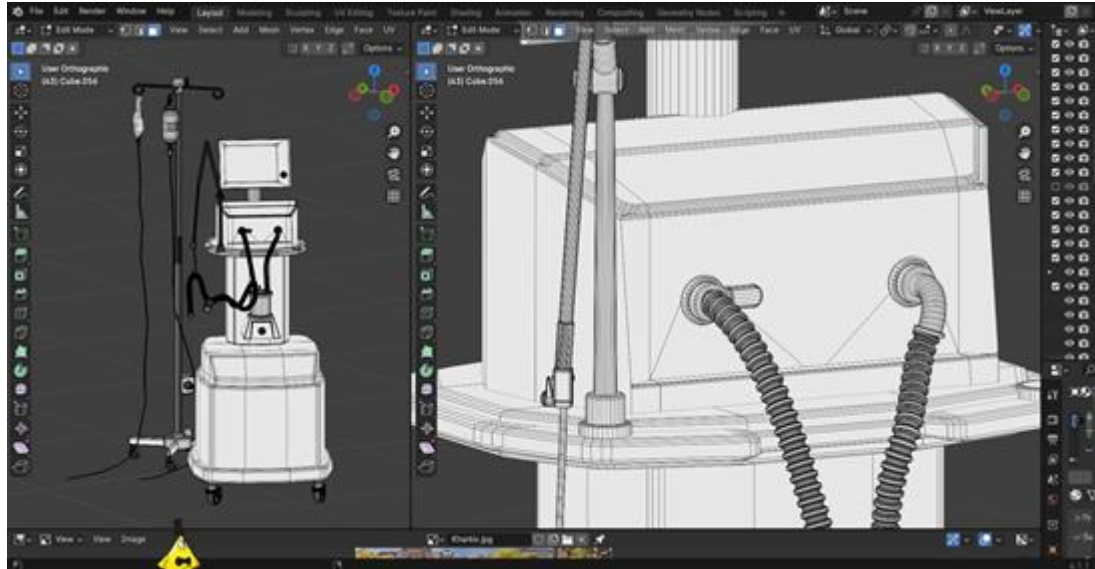


Рисунок 5.1 – Застосування полігонального методу моделювання

Найбільш часто використані інструменти редагування під час роботи – екструдкування (Extrude), переміщення, LoopCut, відносне масштабування та поворот вздовж осі.

Інструмент Extrude дозволяє створювати нову геометрію з існуючих вершин, ребер або граней, дозволяючи розширювати та формувати моделі з тривимірних примітивів. Переміщення вершин, ребер та граней було використано для зміни їх положення (координат) у 3D-просторі. Відносним масштабуванням змінено розмір вибраної геометрії відносно певної обраної точки (наприклад, осі або середини обраного ребра задля його зменшення), для зміни пропорцій окремої частини об'єкту. Обертання вздовж осі є стандартним для редакторів тривимірної графіки та допомагає змінювати кут нахилу обраної групи точок у тривимірному просторі.

Наступний етап – розробка та створення текстур, які будуть застосовані до 3D-моделей. Їх розробка вимагає розуміння потреб у конкретних матеріалах та текстурах, які є стандартними для типу спеціалізованого

приміщення Вони були описані у табл. 5.2 за формулювання вимог стандартів до приміщень операційного блоку. Текстури повинні бути створені для відображення таких поверхонь, як стіни, підлога, стеля, функціональні компоненти операційної, меблі та обладнання. Було проведено текстурування зі збереженням реалістичності та відповідності моделей стандартам та задокументованим матеріалам обладнання (пластик, скло тощо). Тож, зовнішній вигляд моделей відповідає необхідним функціональним стандартам та є естетичним для користувача.

Вибір колірної схеми та текстур для 3D-моделей було проведено після ретельного розгляду атмосфери сучасних медичних установ. Для основних площин приміщень основними кольорами обрані світлі відтінки, білий і синій. Ці кольори загалом характерні й для медичних середовищ у реальному житті, оскільки вони відображають чистоту, стерильність і довіру.

Процес прийняття рішення починався з розуміння психологічного впливу кольорів у медичному контексті. Білий колір у людей асоціюється з непорочністю і чистотою, створюючи враження стерильності, необхідної в медичних установах. Загалом світлі відтінки, особливо пастельні, надають заспокійливу дію, знижують стрес як для пацієнтів, так і для персоналу. Синій символізує довіру, надійність і спокій для створення атмосфери спокою в медичних установах.

Крім того, на вибір текстур вплинула необхідність відтворити в моделях матеріали реального світу, які зазвичай зустрічаються в медичних установах. Гладкі поверхні, які легко миються, необхідні для дотримання гігієнічних стандартів. Тому було обрано текстури, що імітують такі матеріали, як пластик, скло, полірований метал та кераміка для деяких деталей обладнання. Ці текстури не тільки виглядають відповідними до професійної сфери приміщень, але й підсилюють відчуття чистоти.

Обрані кольори та текстури істотно впливають на варіативність і потенційну унікальність створюваного приміщення. Як і сітка моделі, вони здатні створити унікальний вигляд моделі, але при цьому не потребують

додаткового місця у пам'яті комп'ютера або докорінної зміни моделі у середовищі редактору. Дотримуючись узгодженої колірної палітри світлого, білого та блакитного, проте одночасно змінюючи текстури та оздоблення, створено ряд різноманітних варіацій моделей та просторів. При цьому, вони все ще зберігають єдиний вигляд та гармонійно поєднуються між собою.

Наприклад, поєднання глянцевої білої плитки, пастельно-блакитних стін і світлих металевих світильників у стелі приміщення створює чудову естетику для реалістичного та гарного вигляду отримуваних наборів моделей.

Також варіативність нанесення текстури та кольору дозволяє відділяти різні зони в медичних приміщеннях.

Цей підхід гарантує, що незважаючи на незмінність загальної колірної гами, кожна кімната отримає власний унікальний вигляд, підвищуючи як підсвідому наочність для споглядачів через відповідність реальному світу, так і функціональність адже легкість сприйняття входила до мети розробленого комплексу.

Було проведено перевірку розміру та взаємного розташування цих об'єктів у віртуальному просторі середовища, щоб переконатися, що вони відповідають стандартам безпеки, доступності та зручності використання.

У середовищі редактора Blender, ще з часів його існування як ігрового рушія, залишилась можливість навігації у режимі ходьби чи польоту. У даних режимах можна спостерігати створювані об'єкти від першої особи (рис. 5.2), та пересуватись по площинах як в умовах симуляції.

Такий спосіб є надзвичайно дієвим та наочним як для оцінки розроблених моделей, так і для їх презентації.

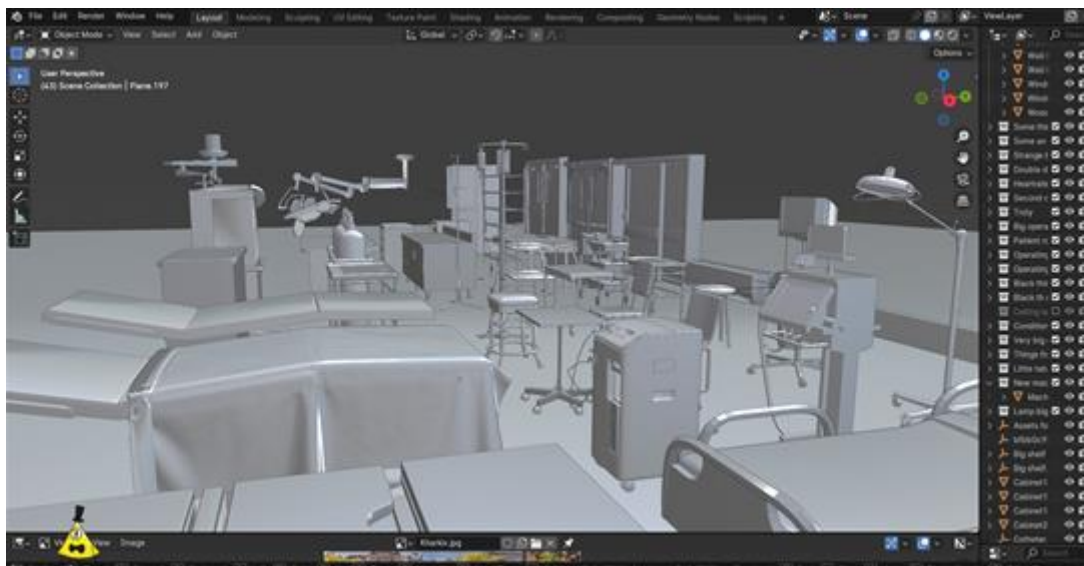


Рисунок 5.2 – Перевірка розмірів моделей у режимі ходьби

5.3 Розробка сценаріїв компонування тривимірних моделей

Для проведення компонування наборів визначимось з приміщеннями операційного блоку. До обов'язкових приміщень належать:

- 1 – передопераційна (для персоналу);
- 2 – передопераційна (для хворих);
- 3 – операційна;
- 4 – стерилізаційна;
- 5 – матеріальна;
- 6 – післяопераційна;
- 7 – ординаторська;
- 8 – коридор (шлюз).

Додатковими приміщеннями виступають:

- 9 – сан. пропускник;
- 10 – душова;
- 11 – кімната для переодягання;
- 12 – наркозна;
- 13 – анестезіологічна;
- 14 – інструментальна;

15 – апаратна;

16 – технічне приміщення;

17 – склад стерильних мед. виробів;

18 – склад білизни;

19 – приміщення дослідження або зберігання препаратів.

З отриманими даними розробимо орієнтовний план розміщення кімнат в межах операційного блоку (рис. 5.3).

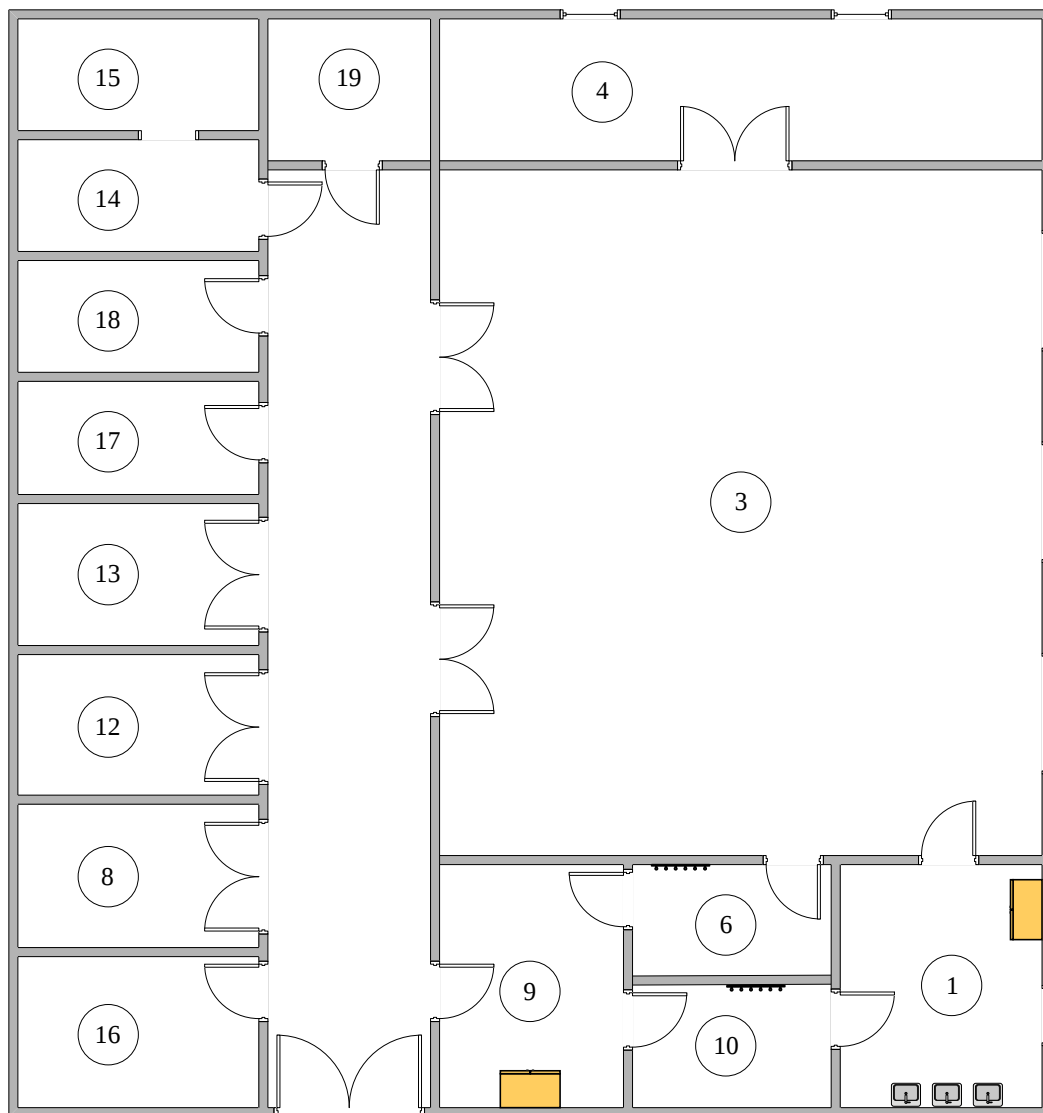


Рисунок 5.3 – План операційного блоку

Щоб розробити схему та алгоритм генерації наборів моделей для формування кімнати, було розроблено структурований процес, що полягає у визначенні ключових і другорядних моделей, з подальшим заповненням

кімнати та її деталізацією об'єктами. Такий підхід забезпечує функціональність та естетичну узгодженість кожного типу приміщення. Розробимо орієнтовний алгоритм компоновки набору об'єктів.

Заповнення віртуального приміщення починатимемо з розміщення основних моделей, які визначають основну функцію кімнати. Ці моделі мають бути ключовими, оскільки вони визначають тип приміщення, а отже план і структуру кімнати. Наприклад, операційний стіл і безтіньовий світильник в операційній.

Визначивши первинні моделі, розмістимо вторинні, які за функціоналом у медичних закладах реального світу підтримують ключові об'єкти. Наприклад, в операційній серед додаткових моделей можна розмістити візки для хірургічних інструментів, анестезіологічні апарати та підставки для моніторів.

Після цього слід додати й об'єкти, які є необхідними згідно описаних вимог та правил охорони праці та техніки безпеки під час роботи працівників, такі як вентиляційні системи та відповідні освітлювальні прилади.

Додамо об'єкти наповнення для остаточного завершення кімнати, збільшивши реалістичність та покращивши зовнішній вигляд. Серед них використано шафи для зберігання, стільці, столи, настінні годинники, проводи обладнання та розетки.

За необхідності, після проведення компоновки налаштовані текстури та кольори моделей можна змінити. Обрана колірна гама передбачає використання світлих, білих і блакитних тонів та їх різноманітних відтінків в для відображення чистоти та стерильності.

6 РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПОНОВКИ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ

Застосуємо розроблений алгоритм для компоновки моделей в межах операційної кімнати.

Визначимо розміри приміщення та встановимо межі розміщення об'єктів (стіни кімнати).

Розмістимо ключові моделі: встановимо операційний стіл у центрі кімнати, безтіньову лампу – над операційним столом, що забезпечило б необхідну якість освітлення під час проведення операцій в реальному світі.

Розташуємо вторинні моделі – візки для хірургічних інструментів біля операційного столу в межах легкої досяжності персоналу.

Розташуємо наркозний апарат поруч із передньою частиною операційного столу, де була б розташована голова пацієнта.

Розмістимо підставки для моніторів навколо столу для роботи хірургів.

Додамо об'єкти нормативів. Для додаткового освітлення встановимо настінні світильники, розмістимо вентиляційні отвори згідно досліджених вимог, щоб забезпечити стерильний потік повітря.

Результати зображено на рис. 6.1.

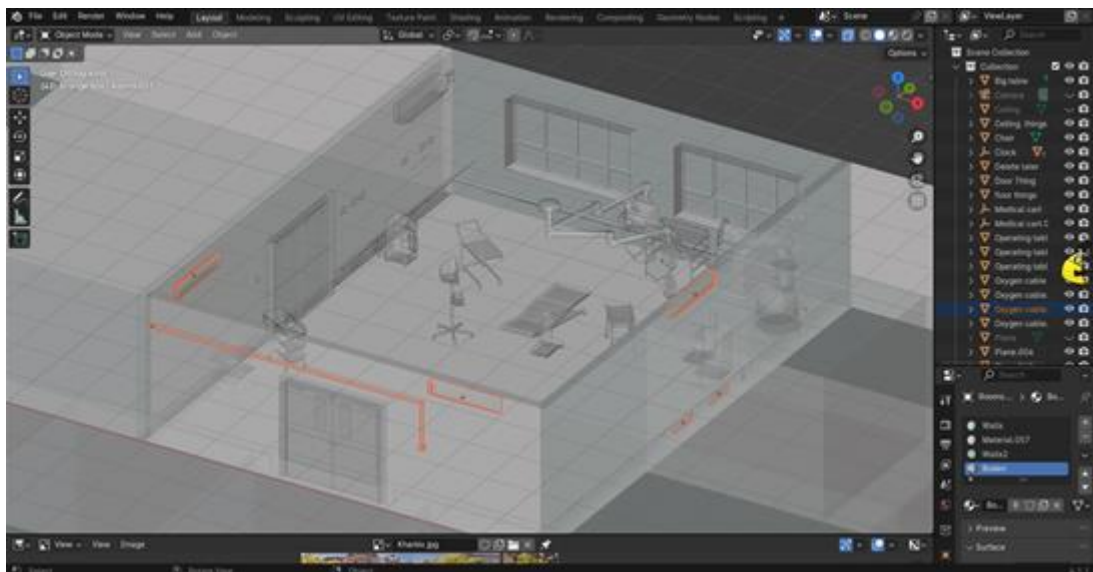


Рисунок 6.1 – Ортогональне зображення розташованих моделей

Встановимо у доступних місцях таке обладнання медичної допомоги пацієнту в екстрених ситуаціях, а саме дефібрилятори та кисневі балони.

Додамо об'єкти наповнення. Розташуємо вздовж стін шафи для зберігання додаткових речей і обладнання. Поставимо моделі стільців та невеликі столики для персоналу, переконавшись, що вони не загороджують важливі шляхи у кімнаті.

Для ефективного відображення результату використаємо режим попереднього перегляду Wireframe (рис. 6.2).

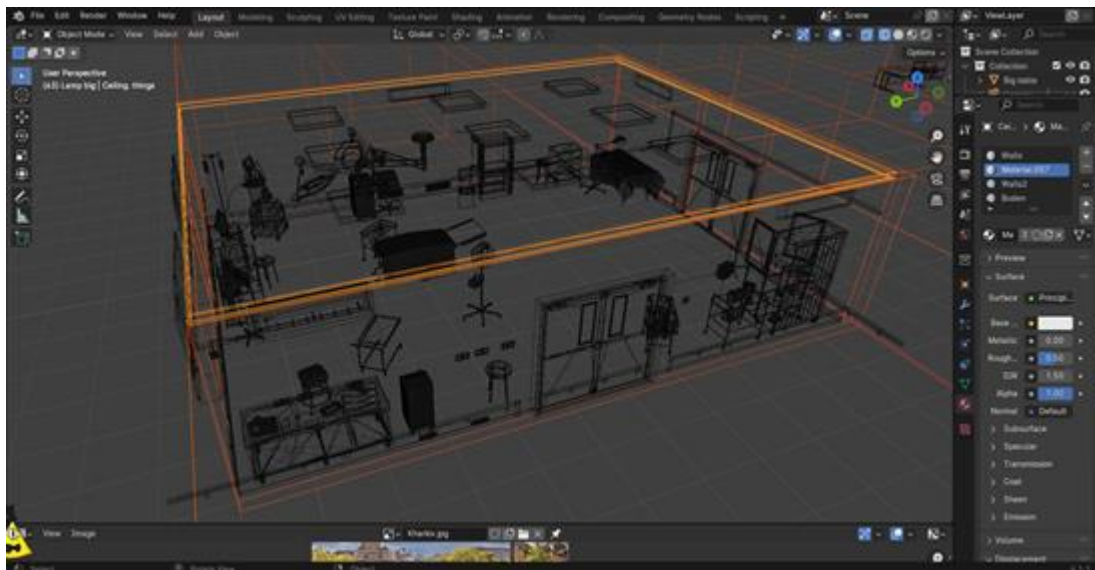


Рисунок 6.2 – Розташування об'єктів у моделі кімнати

Дотримуючись розробленого підходу, алгоритм гарантує, що кожен тип приміщення буде повністю функціональним, відповідатиме стандартам і буде візуально привабливим. Отже, розроблений комплекс моделей та скомпонований план приміщень можуть слугувати основою універсального інструменту для створення детальних і точних 3D-моделей приміщень спеціального призначення, а саме приміщень операційних блоків.

7 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ

В результаті роботи було створено складний набір тривимірних об'єктів в редакторі 3D-графіки Blender. Такий набір містить різноманітні моделі об'єктів, необхідні для створення віртуальних кімнат спеціального призначення (операційного блоку).

Було розроблено декілька варіацій тривимірних моделей окремих об'єктів. Загальна кількість створених моделей – 119. Сформований перелік назв устаткування та відповідних варіацій зображено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Перелік створених тривимірних моделей

№	Назва устаткування	Кількість
1	2	3
1	Апарат для електродіатермокоагуляції	1
2	Апарат для штучної вентиляції легень	1
3	Аспіратор	1
4	Бактерицидна лампа	2
5	Бікс медичний	2
6	Вагонка пластикова	1
7	Вентиляційна решітка	2
8	Вимикач світла	2
9	Візок медичний	2
10	Годинник настінний	2
11	Електрична розетка	3
12	Електровідсмоктувач рідин	1
13	Зовнішнє вікно	2
14	Інструментальний стіл	4
15	Інфузомат	1
16	Кисневий балон	2
17	Коагулятор	1
18	Колба Ерленмейера	1

Продовження таблиці 7.1

1	2	3
19	Колба круглодонна	2
20	Комп'ютерна клавіатура	1
21	Кондиціонер	1
22	Контейнер для біоматеріалу	3
23	Контейнер медичний	3
24	Корпусна киснева розетка	1
25	Лампа підвісна	2
26	Лампа-лупа підлогова	1
27	Лоток ниркоподібний	3
28	Медичне функціональне ліжко	2
29	Медичні герметичні двері	4
30	Металічний стілець	4
31	Міжкімнатне вікно	1
32	Мікроскоп	1
33	Монітор настільний	1
34	Моніторингове устаткування	4
35	Накладний світильник	1
36	Наркозний апарат	1
37	Підвісна консоль	2
38	Підставка для використаного матеріалу	1
39	Підставка для моніторів	1
40	Пластикові ємність для пігулок	3
41	Полиця	4
42	Рухома хірургічна безтіньова лампа	2
43	Скляний флакон для ліків	4
44	Стійка медична	2
45	Стіна кімнати	3
46	Фіксований операційний стіл	4
47	Хірургічний інструмент	8
48	Циліндр мірний	1
49	Шафа з двома відділеннями	2
50	Шафа медична	3

Продовження таблиці 7.1

1	2	3
51	Ширма медична	2
52	Штатив для пробірок	3
53	Штатив медичний	4
54	Шухляда	3
	Всього:	119

Частина моделей була використана для створення моделі операційної кімнати згідно розробленого плану операційного блоку (рис. 5.3).

Огляд результату було виконано за допомогою навігації від першої особи, що дозволило дослідити віртуальне середовище та переконатися, що макет і розміщення об'єктів є точними та відповідають поставленим вимогам. Для створеної сцени також було протестовано три варіанти освітлення. У першому варіанті використано умовно природне світло (виключно від сонця), що симулює реалістичне освітлення в кімнаті до початку роботи команди лікарів (рис. 7.1).



Рисунок 7.1 – Розроблена сцена під впливом природнього освітлення

У другому варіанті перевіряли ефективність штучного освітлення, зосереджуючись на безтіньовій лампі та світильників на стелі, що є основним джерелом світла при проведенні операцій (рис. 7.2). Отриманий результат

забезпечив належне освітлення всіх необхідних ділянок без тіней в області операційного столу.

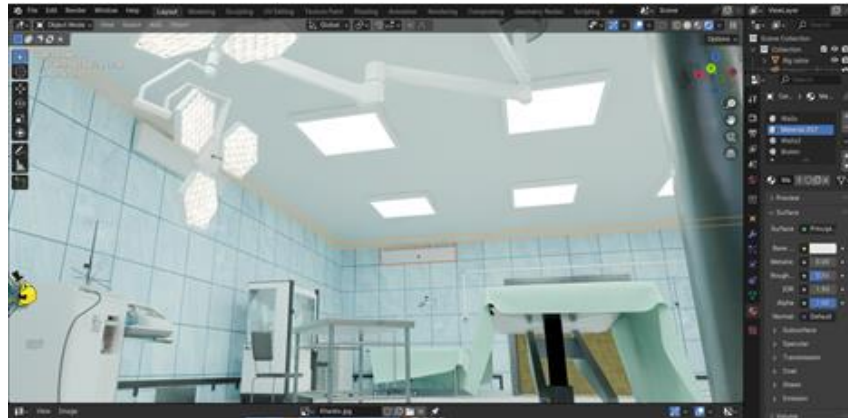


Рисунок 7.2 – Реалізація штучного освітлення

Третій варіант освітлення імітував роботу настінних ультрафіолетових ламп. Їх призначення в реальному світі полягає у охопленні світлом більшості доступних площин кімнати та їх знезараженні. Симуляція освітлення підтвердила ефективну роботу ультрафіолетових ламп, адже їх світло дійсно покриває всі доступні поверхні приміщення для ефективної дезінфекції (рис.7.3).



Рисунок 7.3 – Симуляція ультрафіолетового світла ламп

Як результат, було перевірено вплив різних налаштувань освітлення віртуальної сцени та підтверджено відповідність об'єктів та текстур визначеним у ході роботи вимогам.

8 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У результаті роботи було розроблено електронний комплекс з наборів 3D-моделей приміщень спеціального призначення (операційного блоку), що відповідає вимогам стандартної документації щодо охорони праці.

Створений комплекс виконує функції наявності та можливості поєднання ряду створених просторових моделей у набори об'єктів із забезпеченням унікальності кожного створеного набору, та варіабельність отриманих результатів за умови обмеженої кількості використовуваних моделей.

Загалом, розроблений набір моделей придатний для подальшого використання у проєктах з навчальними, планувальними та верифікаційними цілями, забезпечує матеріал для створення комплексних інструментів для візуалізації та перевірки принципів і стандартів розташування об'єктів у спеціалізованих приміщеннях.

Розглянемо переваги проєктованого комплексу.

Створюваний проєкт складається з ряду низькополігональних тривимірних моделей та може бути розроблений за допомогою використання мінімальної кількості інструментальних засобів, що дозволяє заощадити витрати часу на навчання кадрів.

Проєкт являє собою повну бібліотеку об'єктів, необхідних для облаштування віртуальних приміщень, що рятує від необхідності витрачати додаткові часові та грошові ресурси на його підтримку, доповнення та регулярне оновлення.

При створенні моделей використовується безкоштовне програмне забезпечення (редактор тривимірної графіки Blender з відкритим кодом), що загалом суттєво скорочує загальну вартість проєкту.

Обрані тривимірні моделі розробляються методом полігонального моделювання, що знижує кількість вершин моделі та обсяг займаного ними

дискового простору, що дозволяє використання доступних онлайн-платформ для їх подальшого поширення.

Створюваний комплекс відповідно до тематики не має явно вираженого середовища конкуренції. Наразі не просунуто подібних наборів, що могли б використовуватись в подібних цілях, а труднощі пошуку окремих моделей є незручним для дослідження нішової тематики. У зв'язку з цим за використання комплексу, що проєктується, передбачається явна перевага з наступних причин:

- моделі виконані в межах одного набору, що поліпшує сприйняття інформації та модифікації через відсутність зайвих посилань, розгалуженої структури, додаткових файлів і так далі;
- проєкт не вимагає оплати за використання;
- проєкт являє собою повну бібліотеку об'єктів, необхідних для облаштування віртуальних приміщень, тому є найбільш зручним для відповідного користувача.

Розглянемо джерела економії, доходу, джерела фінансування.

Для фірми-розробника джерелом доходу є навчання, установка й персональне вдосконалення даного комплексу. Витрати фірми містять у собі витрати на розробку ряду моделей. Джерелом фінансування є власні кошти фірми-розробника.

Для підприємства-замовника джерелом економії виступає відсутність необхідності у фізичних моделях приміщень та їх безпосереднього огляду, що в значній мірі скорочує час.

Економічна ефективність проєкту розраховується перед його проєктуванням і розробкою, у результаті чого можливо спрогнозувати потенційний ефект і доцільність його використання. Спочатку розраховується собівартість розробки, потім визначається ціна. Розроблений комплекс не має на меті тримання вигоди у вигляді матеріального прибутку. Розрахуємо витрати на виготовлення даного проєкту.

Для початку розглянемо порядок проєктування комплексу.

Електронний комплекс створюється відповідно до наступних етапів:

- початковий етап, аналіз вимог та визначення обсягу проєкту, вибір відповідного програмного забезпечення;
- збір даних шляхом обстеження сучасних законів та стандартів з охорони праці в приміщеннях операційного блоку, а також збору існуючої документації, як-от креслень і зображень предметів та обладнання в реальному світі;
- безпосереднє моделювання для створення обраних об'єктів;
- застосування текстур і матеріалів до розроблених моделей, що підвищить реалістичність та сприятиме сприйняттю інформації користувачем;
- розробка плану приміщень операційного блоку;
- реалізація плану в середовищі редактору тривимірної графіки;
- заключний етап, огляд створеної моделі приміщення в режимі навігації від першої особи та перевірка точності розмірів та розташування моделей, за необхідності проведення необхідних коригувань.

Здійснимо розрахунок собівартості розробки комплексу.

У собівартість його розробки входять наступні статті витрат:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок;
- інші витрати.

Розробкою комплексу займаються три фахівці: менеджер проєкту, 3D-візуалізатор та 3D-дженераліст. Заробітна плата менеджера проєкту становить 57,38 грн/год, 3D-візуалізатора – 79,55 грн/год, 3D-дженераліста – 82,95 грн/год. При цьому тривалість робочого дня кожного з них становить 8 годин. Проєкт розробляється 7 днів.

Розрахунок основної заробітної плати наведено у табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Етап	Вид робіт	Виконавець		Годинна ставка, грн	Тривалість виконання, дні	Заробітна плата, грн
		к-сть, ос.	посада			
1. Початковий	Формулювання функціональних вимог	1	менеджер	57,38	0,5	229,52
2. Збір даних	Дослідження стандартів та документації	1	менеджер	57,38	1	459,04
3. Моделювання	Створення тривимірних моделей	1	візуалізатор	79,55	2	1272,80
4. Текстурування	Накладання матеріалів	1	візуалізатор	79,55	1	636,40
5. Розробка плану	Створення плану приміщень	1	менеджер	57,38	0,5	229,52
6. Реалізація плану	Розробка моделі приміщень згідно плану	1	дженераліст	82,95	1,5	995,40
7. Заключний етап	Огляд та перевірка моделі на відповідність	1	дженераліст	82,95	0,5	331,80
Разом					7	4154,48
Додаткова заробітна плата (10 %)						415,45
Усього						4569,93

Додаткова заробітна плата – це винагорода за працю понад установлені норми, за трудові успіхи та винахідливість і за особливі умови праці. Вона включає доплати, надбавки, гарантійні та компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством; премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій. У даному випадку додаткова заробітна плата становить 10 % від основної:

$$4154,48 * 0,1 = 415,45 \text{ грн.}$$

Ставка єдиного соціального внеску становить 22 % від величини основної і додаткової заробітної плати:

$$(4154,48 + 415,45) * 0,22 = 1005,38 \text{ грн.}$$

До інших витрат слід віднести витрати на обслуговування комп'ютерної техніки, що використовується виконавцями проєкту, і плату за електроенергію.

Витрати на електроенергію розраховуються виходячи зі споживаної потужності пристрою і тарифу на електроенергію. У даному випадку передбачається використання однієї комп'ютерної системи (ноутбука) з потужністю 1,3 кВт/год. Вартість 1 кВт/год електроенергії прийнято у розмірі 2,64 грн. Час використання електроенергії в процесі розробки:

$$7 * 8 = 56 \text{ год.}$$

Отже, плата за електроенергію складе:

$$1,3 * 2,64 * 56 * 1 = 192,19 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування техніки визначаються виходячи з її вартості та часу експлуатації, після закінчення якого, вона підлягає заміні (зазвичай цей час не перевищує 3-х років). Отже, враховуючи, що вартість однієї комп'ютерної системи дорівнює 43000,00 грн, а протягом року техніка використовується 254 робочих дні, отримаємо наступну суму витрат на обслуговування за час виконання проєкту:

$$(43000,00 / (3 * 8 * 254)) * 56 = 395,01 \text{ грн.}$$

За впровадження проєкту для однієї компанії, собівартість розробки становитиме:

$$(4569,93 + 1005,38 + 395,01 + 192,19) / 1 = 6162,51 \text{ грн.}$$

Оскільки від розробки комплексу не передбачається отримання прибутку, то розрахована сума повних витрат виступає базою оподаткування податком на додану вартість (ПДВ), що складає 20 % та дорівнює:

$$6162,51 * 0,2 = 1232,50 \text{ грн.}$$

З урахуванням проведених розрахунків ціна розробки комплексу з ПДВ складає:

$$6162,51 + 1232,50 = 7395,01 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наведено у табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Розрахунок витрат на розробку комплексу

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн
1	Основна заробітна плата	4154,48
2	Додаткова заробітна плата	415,45
3	Єдиний соціальний внесок	1005,38
4	Витрати на обслуговування техніки	395,01
5	Витрати на електроенергію	192,19
6	Собівартість розробки комплексу	6162,51
7	Ціна без урахування ПДВ	6162,51
8	ПДВ	1232,50
9	Ціна з урахуванням ПДВ	7395,01

Таким чином, вартість розробки комплексу складе 7395,01 грн. Термін виконання усіх етапів розробки становить 7 днів для команди, до якої входять менеджер проєкту, 3D-візуалізатор та 3D-дженераліст.

Розроблений комплекс не має на меті отримання вигоди у вигляді матеріального прибутку, проте його використання у проєктах з навчальними, планувальними та верифікаційними цілями вказує на його потенціал та доцільність впровадження.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведено розробку електронного комплексу зі створення наборів тривимірних моделей спеціального призначення.

Створений комплекс виконує функції наявності та можливості поєднання ряду створених просторових моделей приміщень у набори об'єктів із забезпеченням унікальності кожного створеного набору, та варіабельність отриманих результатів за умови обмеженої кількості використовуваних моделей.

Виконана робота відповідає вимогам розташування об'єктів згідно можливих планів приміщень та вимог охорони праці.

У межах проєкту було створено ряд моделей тривимірної графіки, що відповідають розмірам існуючих об'єктів, та відносяться до однієї з трьох категорій: специфічні та значущі для обраного типу кімнати, необхідні згідно вимог з охорони праці предмети та об'єкти-наповнення.

В роботі проведено формалізацію вимог до моделей приміщень операційного блоку згідно зі стандартною документацією щодо охорони праці.

У результаті розробки було створено та проведено успішну реалізацію розробленого сценарію компонування об'єктів всередині наборів приміщень спеціального призначення, що задовольняє описані технічні та функціональні вимоги. Розроблений набір моделей придатний для подальшого використання у проєктах з навчальними, планувальними і верифікаційними цілями, забезпечує можливість вирішення задач створення комплексних інструментів для візуалізації та перевірки принципів і стандартів розташування об'єктів у спеціалізованих приміщеннях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 3D modeling. 403 Forbidden. URL: https://app-help.vectorworks.net/2021/eng/VW2021_Guide/Shapes2/3D_modeling.htm (дата звернення: 08.06.2024).
2. 3D rendering vs 3D modeling | notriangle studio. NoTriangle Studio. URL: <https://notrianglestudio.com/3d-rendering-vs-3d-modeling/> (дата звернення: 08.06.2024).
3. Modeling – blender.org. blender.org. URL: <https://www.blender.org/features/modeling/> (дата звернення: 08.06.2024).
4. Subject guides: digital creativity: a practical guide: 3D modelling. Subject Guides homepage - Subject Guides Home - Subject Guides at University of York. URL: <https://subjectguides.york.ac.uk/digital-creativity/3d-modelling> (дата звернення: 08.06.2024).
5. ThePro3DStudio. Overview on various types of 3D modeling techniques. ThePro3DStudio. URL: <https://professional3dservices.com/blog/3d-modeling-techniques.html> (дата звернення: 08.06.2024).
6. Alvarez L. What is 3d modeling in architecture?. AmazingArchitecture. URL: <https://amazingarchitecture.com/articles/what-is-3d-modeling-in-architecture> (дата звернення: 08.06.2024).
7. Кулішова Н.Є., Зуєвський Д.Р. Створення та використання динамічних масок при розробці тривимірних моделей для мобільних ігор //Технологія і техніка друкарства, вип. 4 (74), 2021. С. 95 – 102.
8. Дейнеко Ж.В., Гаманець А.О. Сплайнове моделювання при розробці тривимірної сцени. VII Міжнародна науково-технічна конференція «Поліграфічні, мультимедійні та WEB-технології».Харків.ТОВ «Друкарня Мадрид» 2021. С. 79 – 82
9. 3D-моделі та доповнена реальність у цифровому маркетингу. PhotoRobot Рішення для автоматизації фотозйомки продукту.

URL: <https://uk.photorobot.com/blog/augmented-reality-in-digital-marketing> (дата звернення: 08.06.2024).

10. CGHero. The stages of creating a 3D model. CGHero. URL: <https://cghero.com/articles/stages-of-creating-3d-model> (дата звернення: 08.06.2024).

11. Ліхініна Р.В. Про задачу розробки електронного комплексу зі створення наборів тривимірних моделей спеціального призначення // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. Харків: ХНУРЕ, 2024. Т. 6. С. 940-941.

12. Ngai J. 15 best tools for 3D modeling software. Medium. URL: <https://njoanna.medium.com/15-best-tools-for-3d-modeling-software-a7939fded451> (дата звернення: 08.06.2024).

13. Tech for architects: 8 top 3D modeling tools for designers. Journal. URL: <https://architizer.com/blog/practice/tools/top-tech-tools-for-architectural-3d-modeling/> (дата звернення: 08.06.2024).

14. 3D modelling tools: the 5 biggest problems and how to get around them | symetri.co.uk. Symetri | We challenge people to work smarter | Symetri.co.uk. URL: <https://www.symetri.co.uk/insights/blog/3d-modelling-tools-the-5-biggest-problems-and-how-to-get-around-them/> (дата звернення: 08.06.2024).

15. You need to design a 3D model for a client. What are the best tools to use?. LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com/advice/1/you-need-design-3d-model-client-what-best-tools-use-uphne> (дата звернення: 08.06.2024).

16. ДБН В.2.2-10:2022. Заклади охорони здоров'я. Основні положення. На заміну ДБН В.2.2-10-2001; чинний від 2022-03-01. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2022.

17. Охорона праці в медичних закладах : довідник / за ред. Д. В. Зеркалова. - Київ : Основа, 2016. - 323 с.

18. Зеркалов Д. Охорона праці в медичних закладах : довідник. Основа, 2016. 328 с.

19. Інструктаж з охорони праці в медичних закладах: важливий аспект безпеки працівників. Південне міжрегіональне управління Державної служби з питань праці. URL: <https://pd.dsp.gov.ua/news/instrukтаж-z-okhorony-pratsi-v-medychnykh-zakladakh-vazhlyvyi-aspekt-bezpeky-pratsivnykiv/> (дата звернення: 08.06.2024).

20. Медсестринство в хірургії: Практикум / Р. О. Сабадишин та ін. Вінниця: Нова кн., 2017. 360 с.

21. Охорона праці в закладах медичної галузі – Методичні матеріали. Центр охорони праці Колібри. URL: <https://www.ohrana-truda.in.ua/materials/labor-protection-in-industries/medicine/> (дата звернення: 08.06.2024).

22. Яворовський О., Веремей М., Зенкіна В. Охорона праці в медичній галузі: навч.-метод. посіб. Всеукр. спеціаліз. вид-во «Медицина», 2017. 208 с.

23. Яворовський О., Паустовський Ю., Зенкіна В. Практична охорона праці в медичній галузі: навч. посіб. Всеукр. спеціаліз. вид-во «Медицина», 2023. 391 с.

24. Право на належні умови професійної діяльності. Про нас – Всеукраїнська громадська організація «Фундація медичного права та біоетики України». URL: <http://medicallaw.org.ua/index.php?id=204> (дата звернення: 08.06.2024).