

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра інформаційних технологій

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Світлана ВАЩЕНКО

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»,

освітньо-професійної програми «Інформаційні технології проектування»

на тему: Візуалізація 3D моделі проекту реконструкції
Трьох-Святительської церкви м. Лебедин

Здобувача групи ІТ-03 Павленка Андрія Володимировича

_____ (шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ (підпис)

Андрій ПАВЛЕНКО
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник доцент, к.т.н., доцент Ірина БАРАНОВА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра інформаційних технологій
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
Освітньо-професійна програма «Інформаційні технології проектування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. кафедри ІТ

_____ Світлана ВАЩЕНКО

«_____» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Павленка Андрія Володимировича

1 Тема роботи Візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин

керівник роботи Баранова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент _____,

затверджені наказом по університету від « 07 » 05 2024 р. №0482-VI

2 Строк подання студентом роботи « 26 » 05 2024 р.

3 Вхідні дані до роботи _____ технічне завдання, фото об'єкта _____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____ аналіз предметної області, постановка задачі, проєктування 3D моделі реконструкції церкви, практична реалізація моделі, висновки

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____ актуальність роботи, мета та задачі, аналіз аналогів 3D моделі церкви, вимоги до проєкту, структурно-функціональний аналіз, засоби реалізації, контекстна діаграма проєкту, діаграма декомпозиції 1-го рівня практична реалізація 3D локації: моделювання об'єктів, фінальна візуалізація, висновки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Ініціалізація та дослідження предметної області	08.04.24 – 11.04.24	
2	Оформлення технічного завдання	12.04.24-15.04.24	
3	Планування робіт проєкту	16.04.24-18.04.24	
4	Огляд останніх досліджень та аналогів	19.04.24-26.04.24	
5	Постановка задачі	27.04.24-30.04.24	
6	Вибір засобів реалізації	01.05.24- 03.05.24	
7	Структурно-функціональний аналіз	04.05.24- 08.05.24	
8	Візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин	09.05.24 – 21.05.24	
9	Оформлення документації	22.05.24-01.06.24	

Студент

(підпис)

Андрій ПАВЛЕНКО

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доц. Ірина БАРАНОВА

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин».

Пояснювальна записка складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 24 найменувань, додатків. Загальний обсяг роботи – 61 сторінку, у тому числі 43 сторінки основного тексту, 3 сторінки списку використаних джерел, 14 сторінок додатків.

Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та візуалізація 3D-моделі церкви дозволить не лише відтворити її зовнішній вигляд, а й сприятиме дослідженню її конструкції, збереженні історичного контексту та культурних особливостей.

Метою даної роботи є розробка детальної та реалістичної 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин, що відтворює її архітектурні особливості та дозволяє проводити подальший аналіз і візуалізацію.

В першому розділі досліджено предметну область та публікації команди AERO3D, спільноти “Україна Інкогніта” та окремих візуалізаторів. Після ретельного аналізу наявних програм для створення 3D моделей було обрано 3ds Max для подальшої реалізації проєкту.

В розділі 2 висвітлено проведення структурно-функціонального аналізу проєкта.

В розділі 3 показано поетапне створення та текстурування 3D моделі реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин, проведення фінальної візуалізації моделі.

Ключові слова: 3D модель, Трьох-Святительська церква м. Лебедин, полігональне моделювання, матеріал, текстура, візуалізація.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз предметної області 3D візуалізації культових споруд.....	8
1.1 Огляд останніх досліджень	8
1.2 Аналіз існуючих аналогічних моделей	10
1.3 Постановка задачі	14
1.4 Вибір засобів реалізації	14
2 Проєктування 3D моделі церкви	18
2.1 Структурно-функціональне моделювання	18
2.2 Діаграма варіантів використання	20
3 Практична розробка 3D моделі церкви.....	22
3.1 Структура та план роботи	23
3.2 Розробка моделі	25
3.3 Текстурування та розробка матеріалів	33
3.4 Візуалізація моделі церкви.....	40
Висновки	43
Список використаних джерел	44
Додаток А. Технічне завдання.....	47
Додаток Б. Планування робіт.....	51

ВСТУП

Завдяки розвитку комп'ютерних технологій, з'явилися нові можливості в області візуалізації, зокрема, 3D моделювання, що стало потужним інструментом для аналізу та відтворення архітектурних та культових споруд. Церкви, як символи духовності та архітектурної величі, завжди привертали увагу як дослідників, так і широкої громадськості. Особливо це стосується культових пам'яток, що були зруйновані і наразі недоступні для дослідників.

Такою спорудою і є зруйнована Трьох-Святительська церкви м. Лебедин [1-2]. У цьому контексті створення 3D моделі даної церкви набуває особливої важливості як для збереження культурної спадщини, так і для вивчення її історії та архітектурних особливостей.

Актуальність дослідження полягає в тому, що 3D-моделювання церкви дозволяє не лише відтворити її зовнішній вигляд, а й дослідити її конструкцію, історичний контекст та культурні особливості.

Об'єктом дослідження є візуалізація тривимірних моделей архітектурних будівель.

Предметом дослідження є тривимірна модель культової споруди, створена з використанням сучасних програмних засобів.

Метою даної роботи є розробка детальної та реалістичної 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин, що відтворює її архітектурні особливості та дозволяє проводити подальший аналіз і візуалізацію.

Для досягнення мети проєкту необхідно виконати наступні задачі:

- збір та аналіз вхідних даних;
- вибір програмного забезпечення;
- створення основної структури 3D моделі церкви;
- створення реалістичних текстур;
- перевірка та коригування моделі.

Практичне значення створеної 3D-моделі церкви полягає в збереженні культурної спадщини та візуалізації архітектурної споруди. Ця модель може служити як засіб для документування історичних об'єктів, допомагати у їх реставрації та популяризації, заохоченні широкого загалу до вивчення історії місцевості.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ 3D ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

КУЛЬТОВИХ СПОРУД

1.1 Огляд останніх досліджень

Для розуміння сучасного контексту візуалізації та реконструкції архітектурних об'єктів, будемо аналізувати одне із останніх досліджень та проектів, що здійснювалося у цій області компанією AERO3D та команди SCAN UA [3-4]. Використання методу фотограмметрії для створення 3D-моделей культових споруд, зокрема церков, дозволяє доволі непогано оцифрувати деталі і створити віртуальні моделі, які можуть використовуватися для вивчення, збереження та відтворення історично або релігійно важливих об'єктів. Це дає змогу зберегти ці споруди для майбутніх поколінь та досліджувати їх.

Переваги такого оцифрування є:

1. Фотограмметрія, як метод оцифрування, відома своєю високою точністю, оскільки вона використовує аналіз великої кількості фотографій для створення детальної 3D моделі об'єкта.

2. Ефективність методу фотограмметрії полягає в тому, що він не потребує складного обладнання і може бути проведений з використанням майже будь-якої цифрової техніки, що робить його більш доступним та економічним.

3. Фотограмметрія також дозволяє створювати 3D моделі об'єктів різного масштабу, що відкриває широкі можливості відтворення як окремих найменших архітектурних елементів, так і всієї архітектурної конструкції церкви в цілому.

Проте за даними джерела [5] також можна виділити такі недоліки методу:

1. Необхідно забезпечити достатню кількість фотографій з різних кутів та відповідною якістю для точної реконструкції об'єкта. А також для точності потрібно надати достатню кількість контрольних точок на фотографіях для визначення геометрії та освітлення.

2. Складна обробка великого обсягу фотографій та даних, яка займає доволі багато часу.

3. Складнощі у відтворенні реалістичних текстур і кольорів у 3D-моделі.

Розглянемо ще декілька публікацій за темою дослідження. Зокрема, в публікаціях [6-8] запропоноване використання параметричного формоутворення, яке враховує вимоги до технічних об'єктів протягом усього їх життєвого циклу, від початкового проектування до експлуатації та підтримки. Цей підхід передбачає створення геометричних моделей, які можуть змінюватися залежно від параметрів, визначених користувачем або від вхідних даних. Це дозволяє здійснювати швидку та ефективну адаптацію моделей до змінних вимог та умов, забезпечуючи оптимальну функціональність та ефективність об'єктів протягом їхнього життєвого циклу. Такий підхід сприяє покращенню процесів проектування, виробництва, експлуатації та обслуговування технічних об'єктів.

У роботах [9-10] було представлено нові методи декомпозиції та інтеграції структурно-параметричних геометричних моделей для моделей варіантного компонування православного храму. Ці моделі включають типізовані елементи планування, такі як вівтар, центральна частина, трапезна, паперть і притвор. Застосування нових методів декомпозиції дозволяє розбити складний храм на більш прості компоненти для подальшого аналізу та моделювання. Інтеграція структурно-параметричних геометричних моделей спрощує процес створення та редагування геометричних об'єктів, забезпечуючи більшу гнучкість та швидкість у розробці. Такий підхід дозволяє вдосконалити процес проектування та виготовлення православних храмів, забезпечуючи більш точні й ефективні результати.

Дослідження, описані у працях [11-12], спрямовані на вивчення варіантного формоутворення куполів православних храмів. Вони розглядають різноманітні типи куполів, такі як яйцеподібний, маківка, грушоподібний, а також поєднання барабанів і куполів, таких як гранчастий і двоярусне банне завершення. Ці дослідження дозволяють вивчити і розібратися в різних конструкціях куполів та їх формах, визначити їх особливості та переваги для подальшого використання у проектуванні православних храмів. Такий аналіз

сприяє розробці більш реалістичних та функціональних архітектурних рішень, а також покращує якість та естетичний вигляд цих будівель.

Тож візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви є актуальною задачею для вивчення та збереження місцевої релігійної архітектури.

1.2 Аналіз існуючих аналогічних моделей

Оцінка існуючих продуктів-аналогів моделей церков є ключовим етапом у процесі розробки інноваційних архітектурних проєктів. Цей аналіз дозволяє виявити переваги та недоліки існуючих рішень, визначити тенденції в галузі, а також з'ясувати, які аспекти потребують подальшого вдосконалення.

Порівняльний аналіз може охоплювати такі аспекти, як рівень деталізації, реалістичність відтворення, швидкість та ефективність процесу моделювання, можливості взаємодії з оточуючим середовищем, а також доступність та вартість програмного забезпечення. Основним завданням є вибір оптимального рішення, яке відповідає потребам проєкту та забезпечує найвищу якість результату.

Розглянемо декілька проєктів. Церква Воздвиженська Чесного Хреста [13] від команди AERO3D [14] доволі цікава модель (рис.1.1). Позитивні аспекти даної моделі церкви включають візуальну точність та деталізацію. Модель відображає архітектурний стиль з великою точністю, передаючи навіть найдрібніші деталі, такі як різьблення на дерев'яних елементах. Крім того, вона містить багато деталей, таких як вікна, двері, вежі та декоративні елементи, що додає реалізму та глибини моделі.

З іншого боку, негативні аспекти включають проблеми з текстурами, освітленням та розміром файлу моделі. Наприклад, текстури не відображаються достатньо реалістично, мають низьку якість, це погіршує враження від моделі. Крім того, неадекватне освітлення зменшує реалізм, а великий розмір файлу ускладнює використання моделі в реальному часі.



Рисунок 1.1 – Церква Воздвиженська Чесного Хреста [13]

Наступною розглянемо модель Введенської церкви в селі Артемівка на Харківщині [15], розробник Руслан Лукащук.

Із плюсів цієї моделі церкви – відтворення тонкої елегантності та стрункості, які властиві архітектурі. Вона передає не лише естетичний образ, але й виражає внутрішню гармонію та музичність структури. Зокрема, гранчасті зруби і стрункість верхів церкви створюють враження легкості та стійкості споруди.

З іншого боку, є недоліки, які слід врахувати. Низька якість текстур робить модель максимально не привабливою і малореалістичною. Крім того відсутність будь-якого ландшафту не дає змоги зрозуміти всі об'єми та розміри моделі.



Рисунок 1.2 – Введенська церква у селі Артемівка, 1761 рік [15]

Далі будемо оцінювати церква Спаса на Берестові 12 століття [16], розробник “Україна Інкогніта” [17].

Модель із розглянутих є найгірше реалізованою, тому що були обрані не найкращі засоби для виконання задачі. Модель є досить розмитою, не точною і не передає візуально можливі особливості будівлі. Натомість в цій моделі також промодельовані стіни, стеля із середини, та всі нариси і малюнки.



Рисунок 1.3 – церква Спаса на Берестові 12 століття [16]

Проаналізувавши всі моделі, можемо сформувавши таку порівняльну таблицю розглянутих моделей. (табл 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика аналогічних 3D моделей

Критерії порівняння	3D моделі		
	церква Воздвиженська Чесного Хреста	Введенська церква у селі Артемівка	церква Спаса на Берестові 12 століття
Інтерактивність	+	-	-
Рівень деталізації	+	+	-
Доступність	+	+	+
Реалістичність текстур	+	-	-
Освітлення	+	+	-

1.3 Постановка задачі

Метою даного дослідження є створення деталізованої 3D моделі реконструйованої церкви, що дозволить відтворити реалістичну та вірогідну репліку об'єкту.

Основні завдання проєкту включають:

- проаналізувати фотографії для відтворення атмосфери та контексту стану церкви;
- створити докладну та реалістичну 3d модель, яка відображає всі деталі та елементи тодішніх часів;
- застосувати відповідні текстури та матеріали, які найкраще передадуть структуру будівлі;
- створити освітлення, яке додасть атмосфери та реалізму, використавши спеціальні ефекти для підвищення якості моделі;
- оптимізувати модель для використання у візуальних презентаціях, навчанні та можливості для анімації об'єкта.

Створення 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин відкриває широкі можливості для подальшого використання в галузі візуалізації, навчання, архітектурного проєктування та навіть в галузі культурно-історичної реконструкції.

Більш детальні вимоги до проєкту описані у технічному завданні на розробку (додаток А).

1.4 Вибір засобів реалізації

В розділі порівняльного аналізу програм для моделювання церкви розглядається тріада популярних інструментів: ZBrush, Blender і 3ds Max. Кожен з цих програмних продуктів має свої унікальні особливості і можливості, що впливають на процес створення 3D-моделі церкви. Порівняння їхніх

можливостей дозволить визначити найбільш підходящий інструмент для даного завдання. Аналізуватимуться якість моделювання, зручність використання, а також можливості для створення реалістичних деталей та текстур.

3ds Max

3ds Max [18] – це відомий у всьому світі інструмент для 3D-моделювання та анімації, який використовується в різних галузях промисловості, від архітектури до ігрової розробки.

Ця програма дозволяє користувачам створювати складні 3D-моделі будь-якої складності, від базових форм до деталізованих органічних об'єктів.

Завдяки розширеним інструментам анімації, 3ds Max дозволяє створювати реалістичні анімаційні сцени та спеціальні ефекти, які можуть бути використані в кіно, відеоіграх та рекламних роликах.

Крім того, програма має розширені можливості візуалізації, які дозволяють створювати фотореалістичні зображення та вражаючі візуальні ефекти для архітектурних проектів, реклами та ігор.

ZBrush

ZBrush [19]- це програмне забезпечення для цифрового скульптування та моделювання, яке вирізняється своєю потужністю та специфічним підходом до роботи з об'єктами. Його основна перевага полягає в тому, що воно дозволяє художникам та дизайнерам створювати складні, деталізовані моделі з органічними формами та високою реалістичністю.

У ZBrush використовується унікальна технологія " pixel ", що дозволяє реалістично відтворювати деталі на поверхнях об'єктів і забезпечує високу якість зображення при будь-якому масштабі. Це робить програму популярним інструментом для створення реалістичних персонажів, архітектурних об'єктів та інших цифрових моделей.

Завдяки інтуїтивному інтерфейсу та потужним інструментам для скульптування, текстурування та рендерингу, ZBrush є популярним вибором серед художників, дизайнерів і геймдевелоперів для створення вражаючих цифрових образів та персонажів.

Крім того, ZBrush володіє широким спектром бібліотек матеріалів та щіток, які дозволяють користувачам швидко та ефективно реалізувати свої творчі ідеї у цифровому середовищі.

Blender

Blender [20] - це безкоштовний і відкритий програмний продукт для 3D-моделювання, анімації, текстурування, композитингу, рендерингу та інших областей візуалізації. Він має широкий набір інструментів для створення різноманітних об'єктів та сцен.

Однією з ключових переваг Blender є його відкритість і доступність для користувачів будь-якого рівня, що робить його популярним вибором серед початківців та професіоналів.

Платформа Blender має активну спільноту користувачів та розробників, яка постійно розширює функціонал програми і надає корисні ресурси, такі як навчальні матеріали, документація та плагіни.

Крім того, Blender підтримує різні формати файлів і може інтегруватися з іншими програмами, що робить його універсальним і зручним інструментом для роботи з 3D-графікою.

Для більшої наочності порівняння графічних редакторів складено таблицю характеристик всіх додатків для моделювання (табл 1.2).

Після детального аналізу додатків для 3D моделювання було визначено, що 3ds Max є найкращим вибором для моделювання церковних споруд. Завдяки своїй високій якості рендерингу і анімації, широкому набору інструментів для моделювання та добрій інтеграції з іншими продуктами Autodesk, 3ds Max дозволяє створювати детальні та реалістичні моделі церков з високою ефективністю і точністю.

Таблиця 1.2 – Порівняння додатків для моделювання

Характеристика	Програми для моделювання		
	ZBrush	Blender	3dsMax
Візуальна якість	Висока якість текстур та деталізація.	Достатня для більшості завдань.	Висока якість рендерингу і анімації.
Можливості моделювання	Інтуїтивний і потужний інструментарій.	Різноманітні інструменти, але менш потужні.	Широкий набір інструментів для моделювання.
Доступність і ціна	Висока ціна та платний доступ.	Безкоштовний та відкритий для користувачів.	Платний продукт, але доступний для підписки.
Інтеграція з іншими програмами	Підтримує інтеграцію з іншими програмами.	Забезпечує інтеграцію з різноманітними програмами.	Має добру інтеграцію з іншими продуктами Autodesk.
Відкритість спільнота	Відкрита спільнота та активна підтримка.	Активна спільнота користувачів та розробників.	Велика спільнота та підтримка від Autodesk.
Ресурсоемність	Вимагає потужний обладнання для роботи.	Працює добре навіть на менш потужних комп'ютерах.	Потребує серйозного обладнання для повноцінної роботи.

2 ПРОЄКТУВАННЯ 3D МОДЕЛІ ЦЕРКВИ

2.1 Структурно-функціональне моделювання

Для реалізації проєкту створимо контексну діаграму. Вона допоможе розкрити ключові функції та завдання, які необхідно виконати для успішності проєкту «Візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин».

Тепер визначимо вхідні та вихідні дані, обмеження та механізми виконання:

- вхідні дані: фото церкви;
- вихідні дані: якісні рендери моделі, 3D модель;
- механізми: виконавець, 3ds Max, апаратне забезпечення;
- Обмеження: ТЗ, методики моделювання за допомогою програми 3ds Max.

Діаграма представлена на рисунку 2.1.

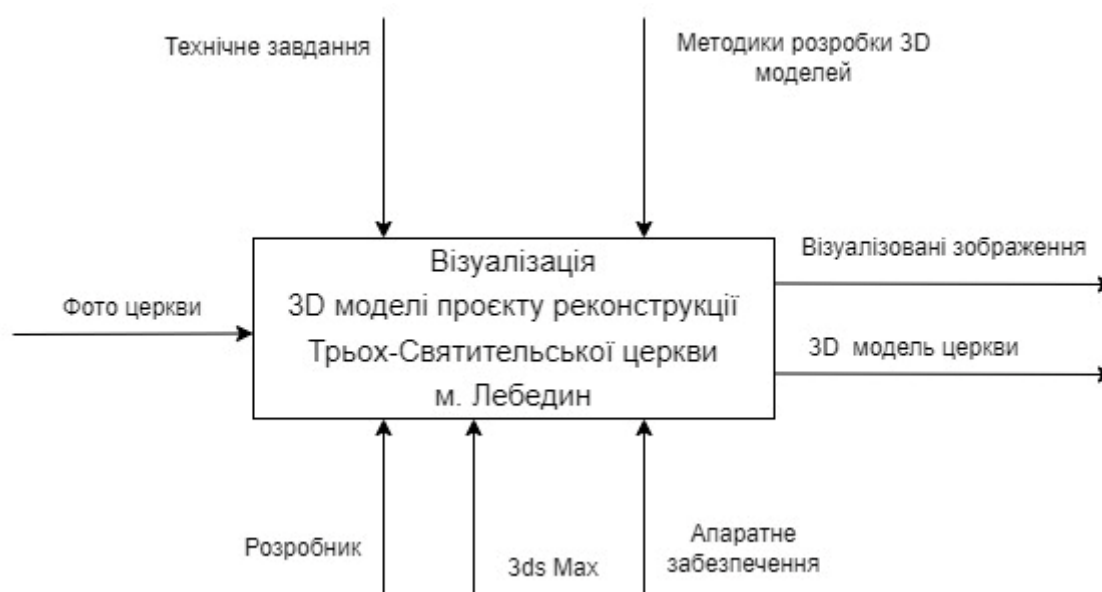


Рисунок 2.1 – Контекстна діаграма проєкту

Далі зробимо декомпозицію контекстної діаграми за методологією IDEF0. На рисунку 2.2 наведено діаграму декомпозиції блоку “Візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції Трьох-Святительської церкви м. Лебедин” що відображає послідовність та структуру цього процесу.

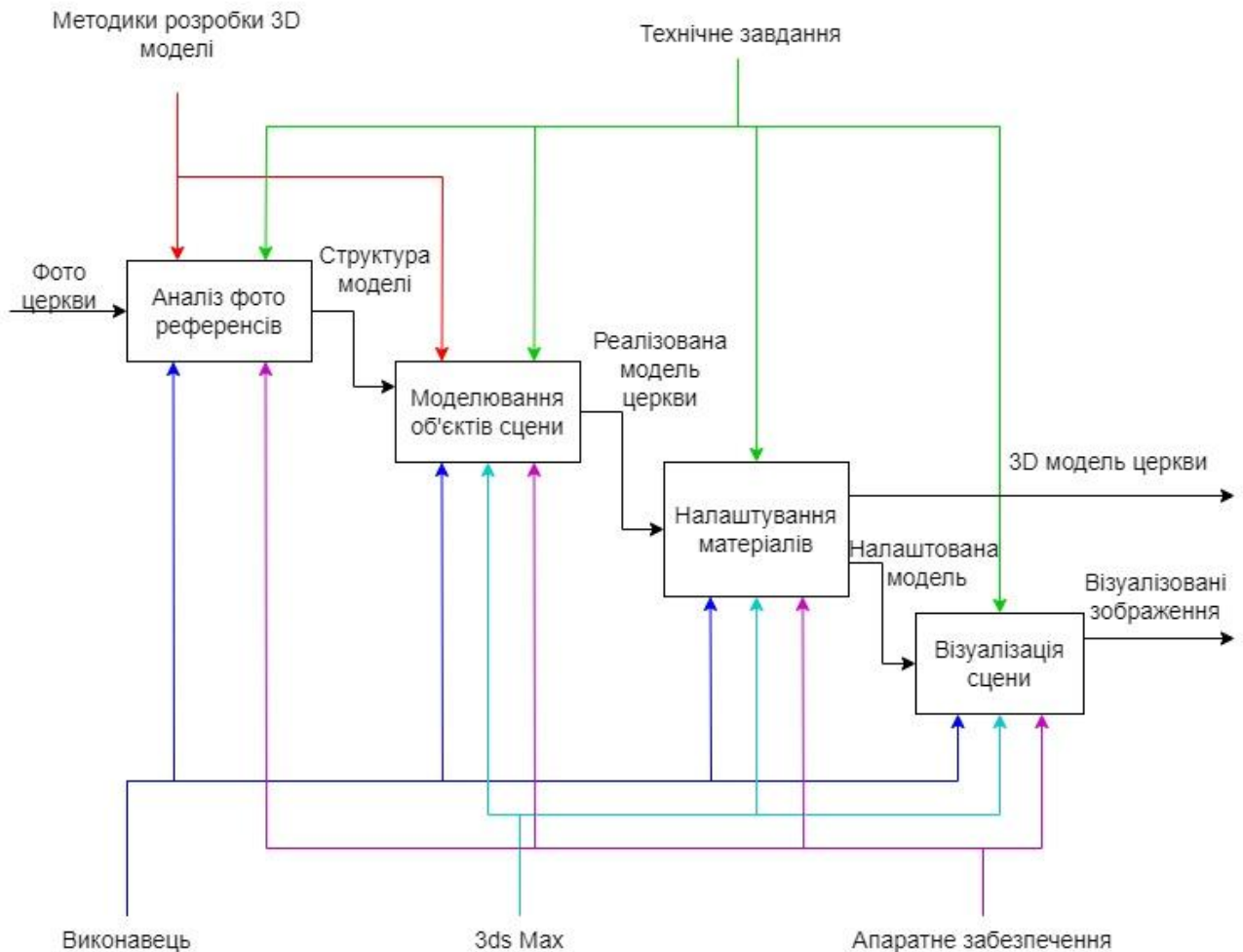


Рисунок 2.2 – Діаграма IDEF0 візуалізації проєкту

Діаграма ілюструє процес розробки 3D моделі церкви, починаючи з аналізу фото референсів. На цьому етапі, використовуючи фотографії церкви та методики розробки 3D моделі, визначається структура моделі. Наступним кроком є моделювання об'єктів сцени, де структура моделі та технічне завдання слугують вхідними даними для створення реалізованої моделі церкви.

Після цього, на етапі налаштування матеріалів, реалізована модель та технічне завдання використовуються для налаштування матеріалів моделі, що

дає налаштовану модель. Останнім етапом є візуалізація сцени, де налаштована модель і технічне завдання використовуються для створення 3D моделі церкви та візуалізованих зображень. Процес підтримується апаратним забезпеченням на кожному етапі, забезпечуючи оптимальне виконання завдань...

2.2 Діаграма варіантів використання

Для розуміння взаємодії між користувачем і моделлю зробимо діаграму варіантів використання.

Діаграма варіантів використання моделі наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Діаграма варіантів використання 3D моделі

Діаграма дає змогу зрозуміти, які права має користувач, та які функції йому доступні для використання.

В діаграмі представлено два актори: користувач і 3ds Max. Користувач взаємодіє з 3D моделлю церкви через декілька функціональних дій. Зокрема, користувач має можливість переглядати 3D модель в цілому, переглядати окремі реалізовані елементи моделі, а також переглядати види з камер, що дозволяє отримати різні перспективи на модель. Користувач також може переглядати візуалізовані зображення моделі.

З іншого боку, 3ds Max відповідає за редагування моделі та редагування матеріалів, забезпечуючи відповідні зміни в моделі та її елементах. Процес редагування моделі включає внесення змін до геометрії та структури моделі, в той час як редагування матеріалів стосується налаштування текстур і властивостей поверхонь для досягнення більшої реалістичності. Зрештою, після редагування і перегляду візуалізованих зображень, утворюється растрове зображення церкви, яке буде фінальним артефактом проекту.

3 ПРАКТИЧНА РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ ЦЕРКВИ

Перед початком створення 3D моделі реконструкції Трьох-Святительської церкви м.Лебедин було проаналізовано доступні архівні фото церкви (рис. 3.1-3.2), та визначено підхід до моделювання архітектурних елементів.

Після ретельного аналізу було обрано полігональний та сплайновий тип моделювання, спираючись на їх застосування в графіці та 3D моделюванні. Ці 2 методи зможуть гарантувати максимально реалістичний вигляд моделі.

Полігональні моделі здатні точно відтворювати різні поверхні та текстури, що є ключовим для реконструкції історичних споруд. А сплайнові будуть використані для більш складного моделювання окремих елементів.



Рисунок 3.1 – Основний вигляд церкви



Рисунок 3.2 – Вигляд заднього двору церкви

3.1 Структура та план роботи

Процес моделювання буде починатися зі створення базової структури церкви в програмі 3ds Max, включаючи основні архітектурні елементи: стіни, вежі, вікна, двері та огорожа.

Особлива увага приділялася текстурюванню, щоб підкреслити архітектурні особливості будівлі та для додавання реалістичності.

Завершальним етапом була фінальна візуалізація моделі для створення високоякісних зображень та анімацій.

Нижче представлені зображення, що демонструють план (рис. 3.3), поздовжній та поперечний (рис. 3.4) перерізи, які допомогли в процесі моделювання.

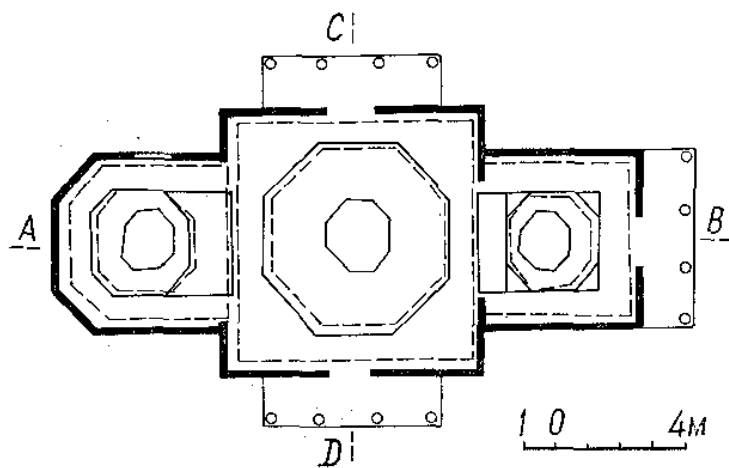


Рисунок 3.3 – План церкви

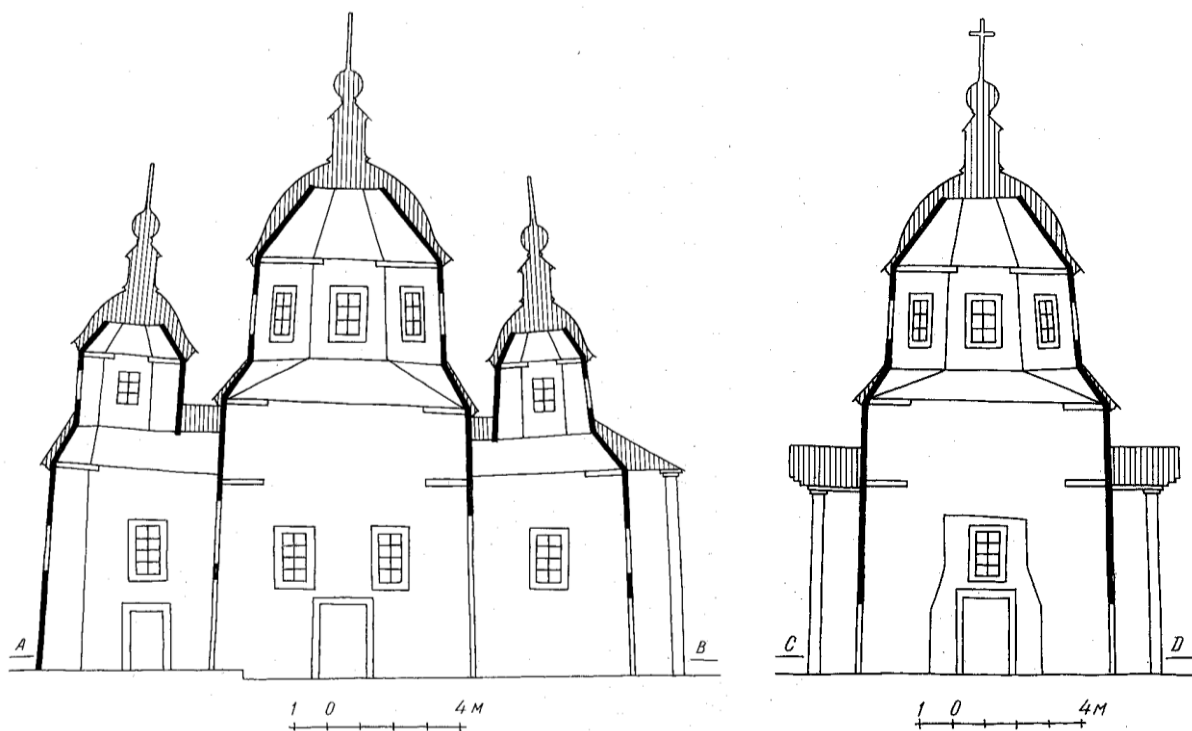


Рисунок 3.4 – Поздовжній та поперечний перерізи церкви

3.2 Розробка моделі

Щоб модель відповідала архівним фото, спочатку в сцені створено студію для моделювання, яка містить зображення перерізів церкви. Це полегшить роботу з моделлю.

Починаємо моделювання церкви із стін. Для початку створимо сплайн «Line», застосуємо модифікатор «Extrude», потім конвертуємо в «Editable poly». Знову використовуючи «Extrude», видавлюємо всі потрібні нам в подальшому сектори і отримаємо каркасну основу будівлі (рис.3.5).

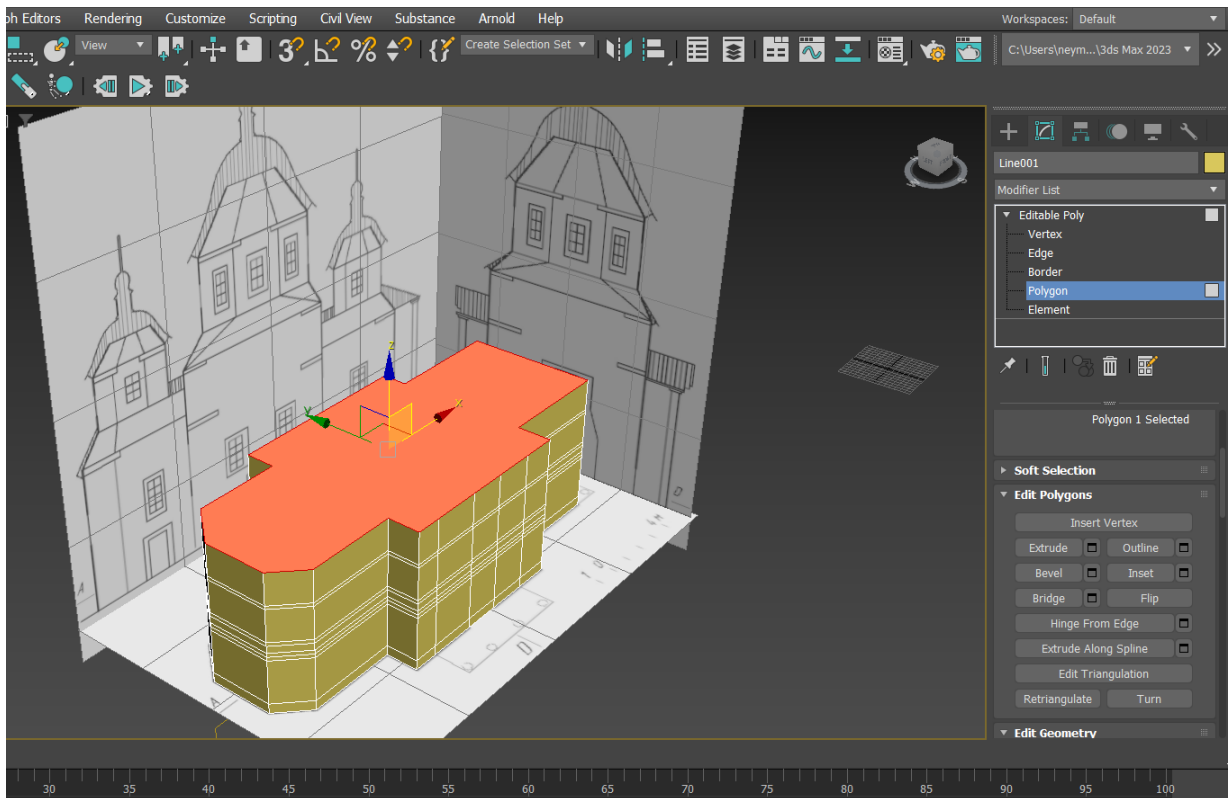


Рисунок 3.5 – Каркасна основа церкви

Далі видаляємо верхній полігон, полігони під вікна та полігони під двері, використовуємо модифікатор «Shell» і отримуємо стіни (рис.3.6).

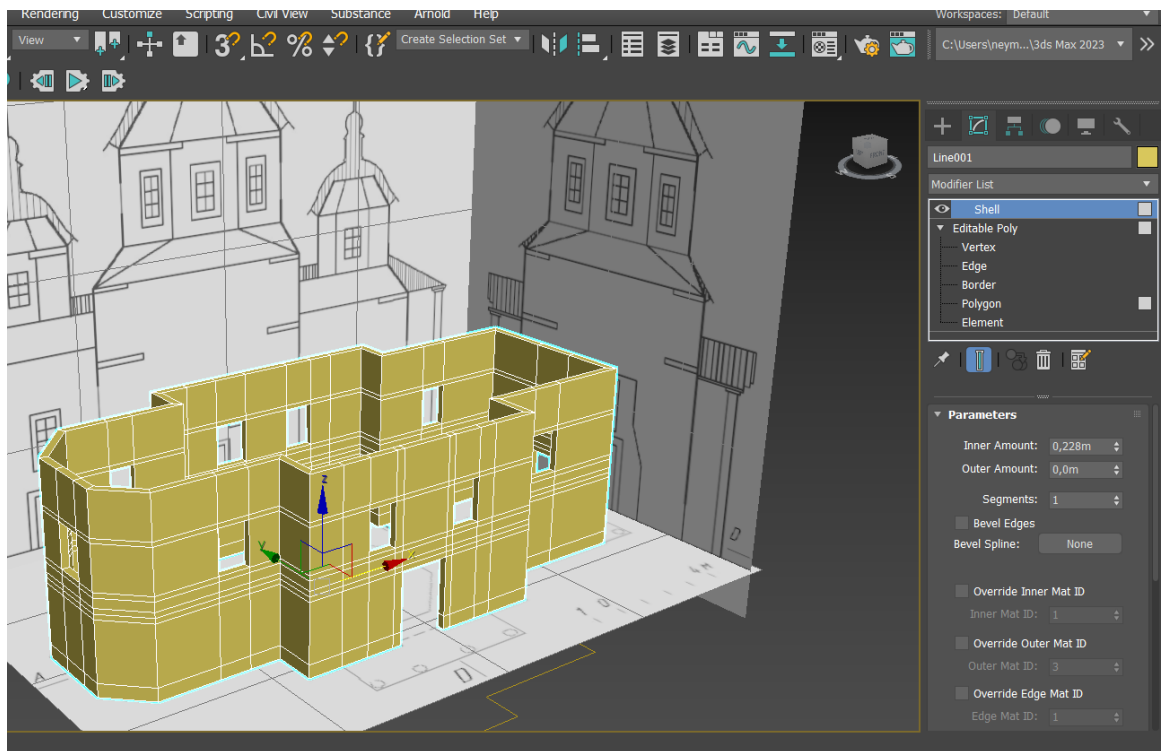


Рисунок 3.6 – Стіни церкви

Наступним створюємо умовну підлогу, щоб поставити колони. Їх створюємо з примітиву «Cylinder» і дублюємо. Разом із цим підганяємо висоту стін під восьмерик (рис.3.7).

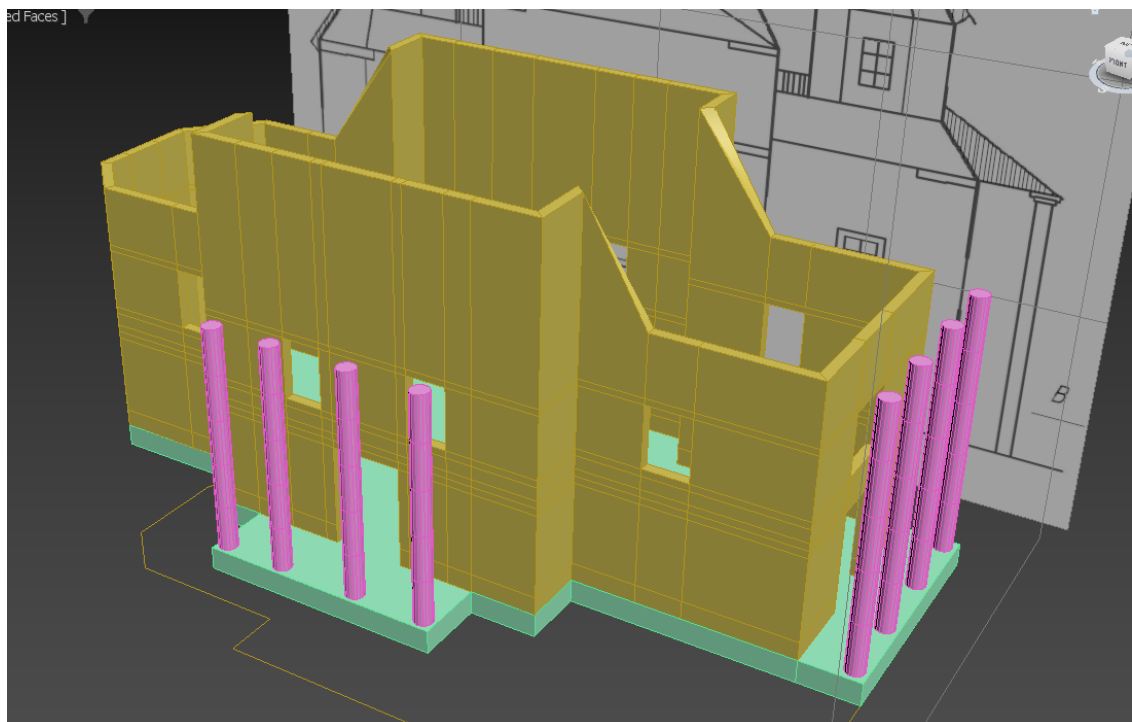


Рисунок 3.7 – Будування колон та підлоги

Створюємо восьмимерик із об'єкту «Вох», далі полігональним моделюванням підлаштуємо під потрібні нам розміри і вигляд. Аналогічно з цим робимо і вівтар (рис. 3.8).

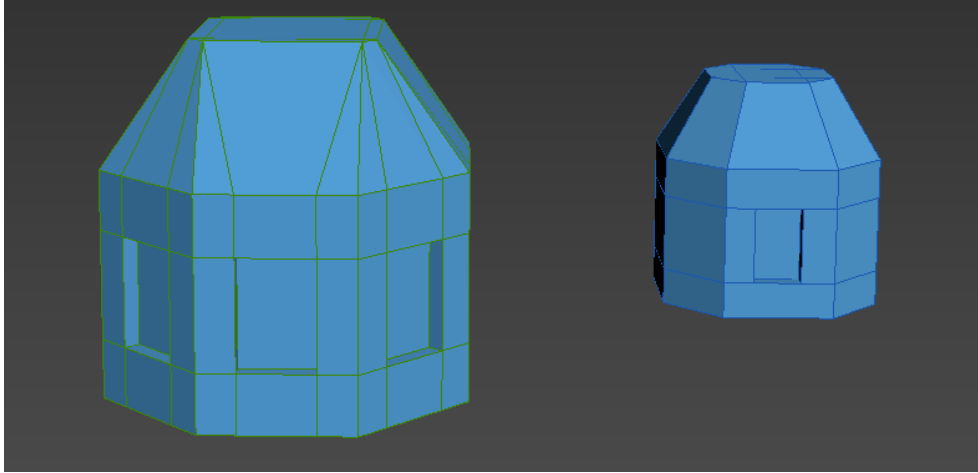


Рисунок 3.8 – Восьмерик та вівтар

Дах під восьмимерик і вівтар вже будуюмо за допомогою об'єкту «Line», потім з використанням інструментів ми обертаємо його навколо останньої точки і отримуємо майже готову модель, яку надалі переводимо у «Editable Poly», і доопрацьовуємо уже по полігонах (рис. 3.9).

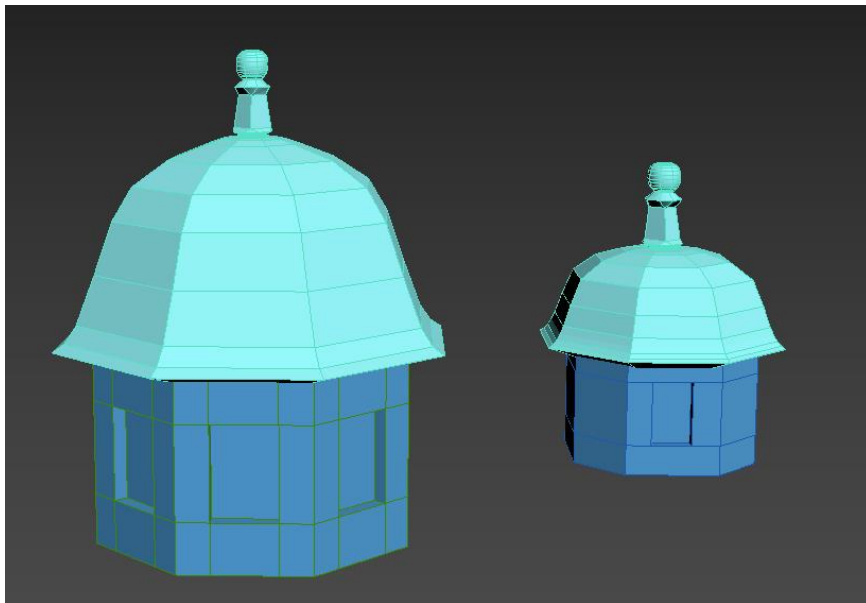


Рисунок 3.9 – Модель восьмирика та вівтаря з накриттям

Далі побудуємо дах іншої частини будівлі з об'єкту «Вох», відредагувавши полігони. Дублюємо на іншу сторону, трішки видозмінюємо під 6 сторін, і додаємо по обидві сторони вівтарі(рис. 3.10).

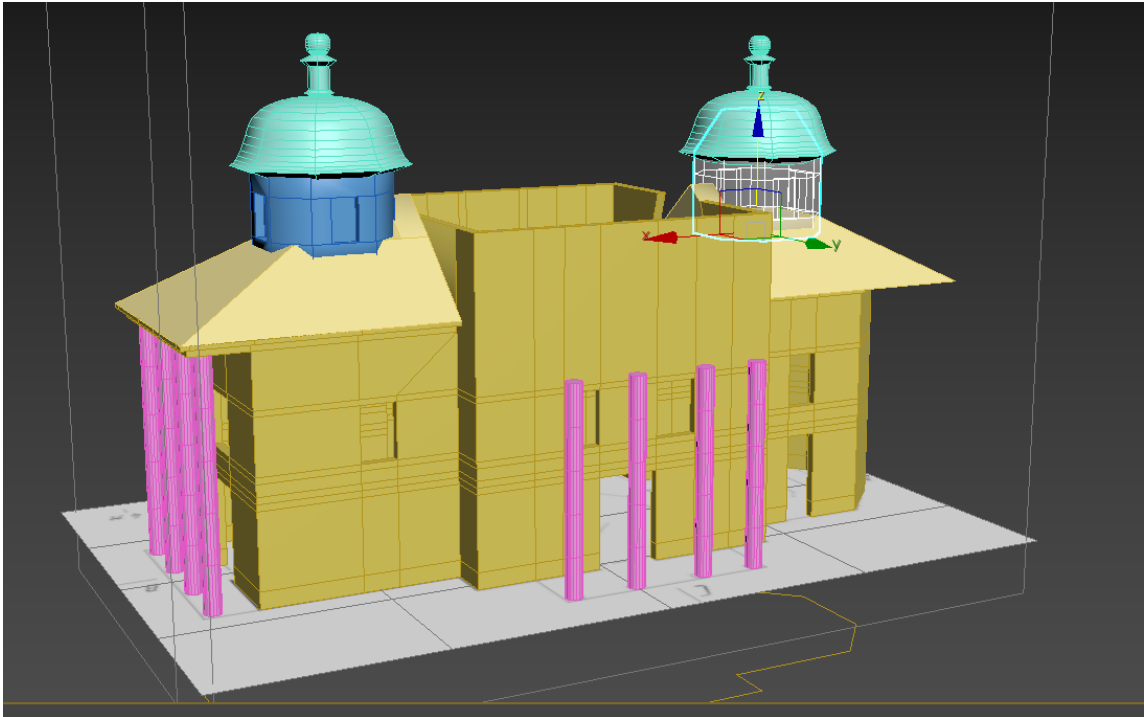


Рисунок 3.10 – Модель із частиною даху та вівтарів

Далі додаємо до моделі накриття основної частини будівлі та восьмимерик. Також будуємо навіс на колонах. Спочатку, витягнувши потрібні полігони із будівлі для накриття інструментом «Extrude», створюємо об'єкт «Вох» і потім, конвертувавши в «Editable Poly», редагуємо інструментами «Bevel» та «Extrude». Отримуємо готову покрівлю (рис. 3.11). Продублюємо через «Mirror» на іншу сторону.

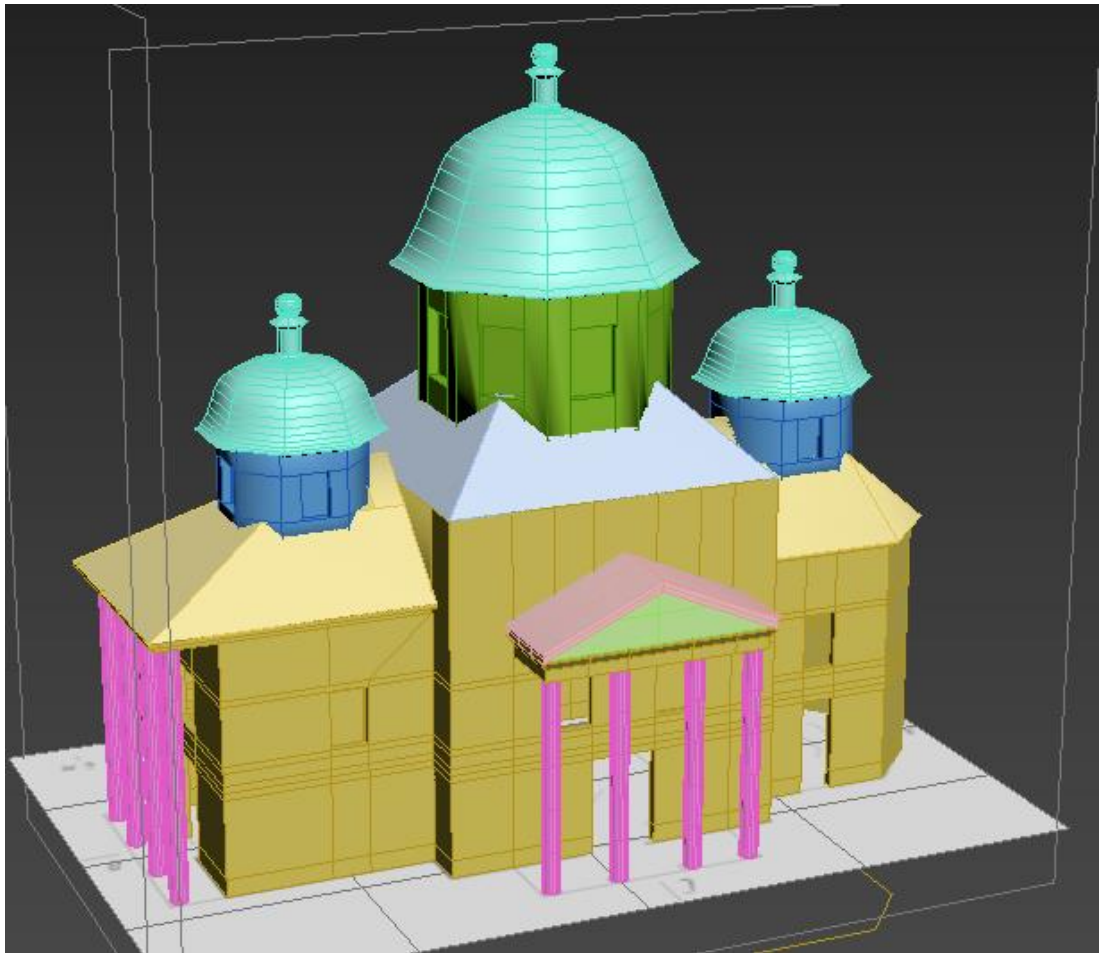


Рисунок 3.11 – Модель церкви

Наступним збудуємо двері, вони будуть 2 варіантів – із двома дверцятами та одними дверцятами. Для побудови будемо використовувати стандартний об'єкт «PivotDoor», і доопрацьовуємо вже вручну (рис.3.12).

Дверні ручки отримуємо зі сплайну «Line» і використанням модифікаторів «Extrude», «Bevel», «Shell».

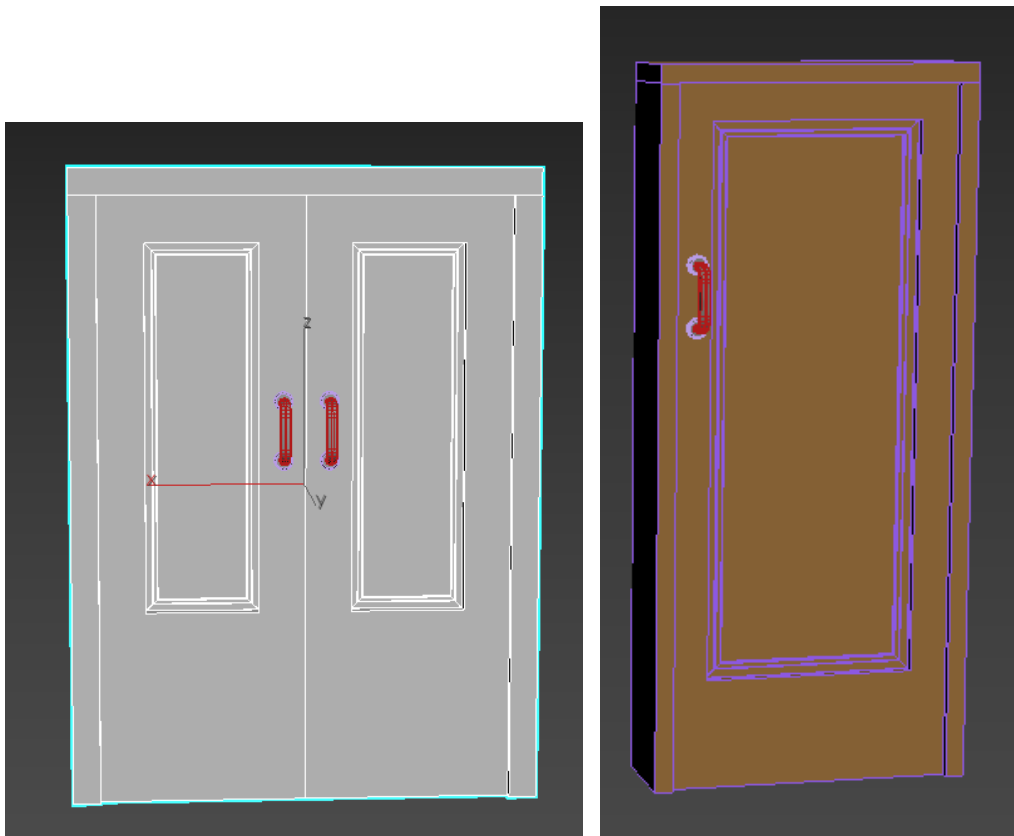


Рисунок 3.12 – Моделі дверей

Наступним змодуємо вікна. Вони будуть між собою схожими, тому що алгоритм дій один і той самий. Створюємо стандартний об'єкт «FixedWindow», який використовується для створення вікон. Далі, зміною параметрів у пункті «Modify», створюємо потрібні нам вікна (рис. 3.13).

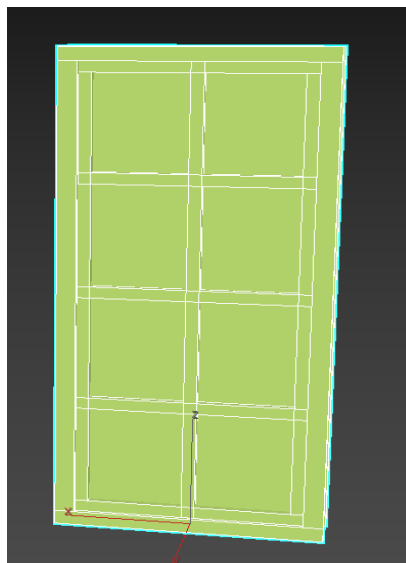


Рисунок 3.13 – Об'єкт вікно

Завершальним кроком у побудові моделі церкви буде хрест. Його побудуємо із об'єкту «Line» і надамо об'єм модифікатором «Extrude» (рис.3.14).

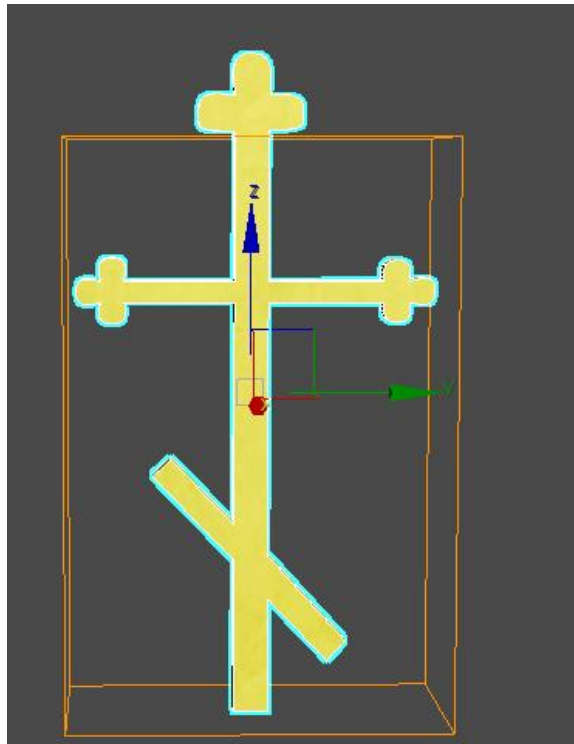


Рисунок 3.14 – Модель хреста

Далі будуємо паркан (рис.3.15) і дублюємо його навколо моделі церкви.

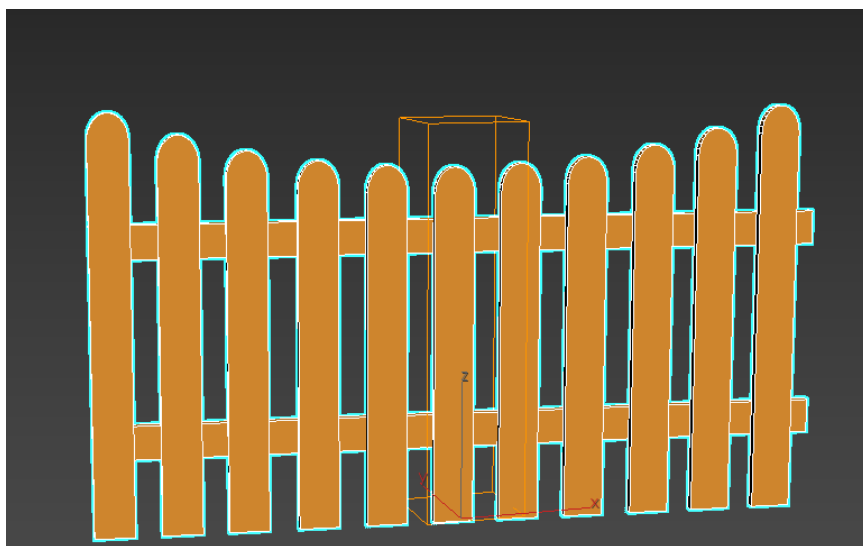


Рисунок 3.15 – Модель паркану

Порівнюючи з фото оригіналу – на фото ростуть дерева, змодельюємо і їх також. Використовуючи об'єкт «Foliage» створюємо дерева. Змінюючи параметри у вкладці «Modify» об'єкту, ми налаштуємо потрібні моделі, розмір, висоту, положення гілок, початок їх росту та густину листя тощо (рис.3.16-3.17).

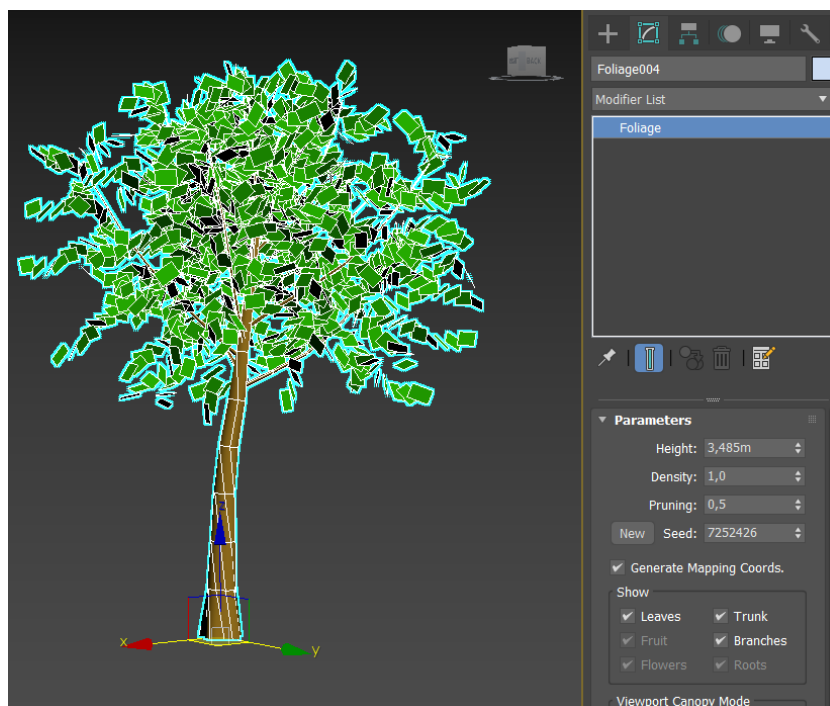


Рисунок 3.16 – Налаштування моделі дерева



Рисунок 3.17 - Загальний вигляд створених дерев

3.3 Текстурування та розробка матеріалів

Текстурування 3D моделі будемо робити за допомогою вбудованого редактора матеріалів в 3ds Max (рис.3.18).

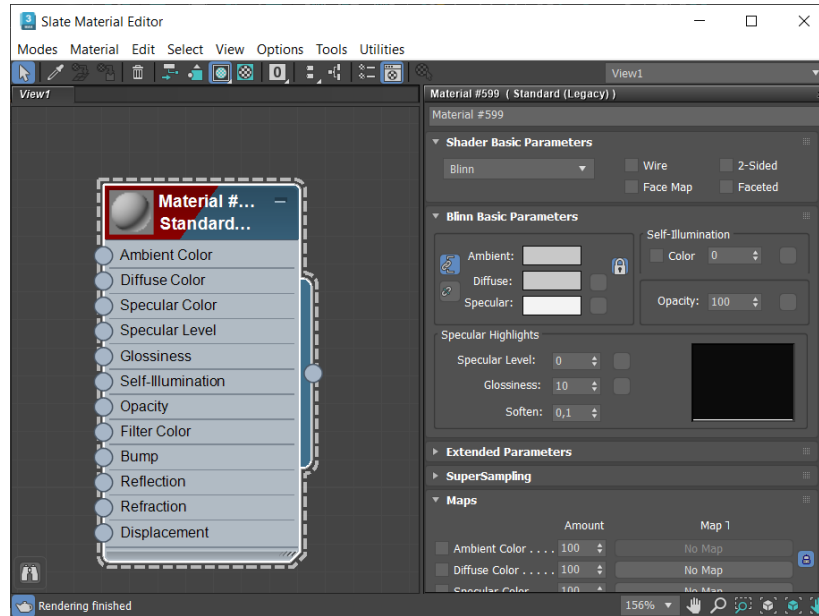


Рисунок 3.18 – Вбудований редактор матеріалів

Почнемо із налаштування стін – використавши фото старих дерев'яних дощок, додаємо його через «Bitmap» в параметр «Diffuse Color» матеріалу. Чорно-білу версію аналогічно додаємо в канал «Bump» – це надасть матеріалу рельєфності. Отримуємо готовий матеріал стін церкви (рис.3.19).

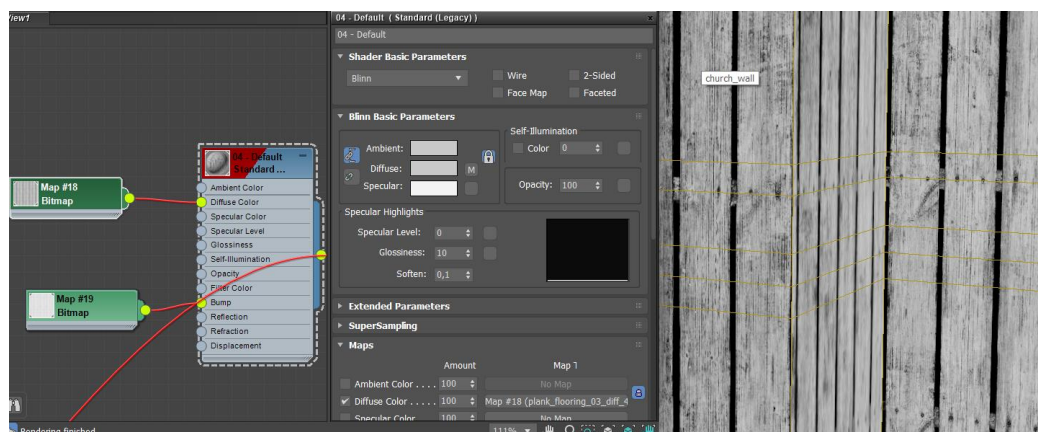


Рисунок 3.19 - Матеріал стін церкви

Далі зробимо матеріал колони. Підберемо фото із відповідною текстурою, та аналогічними методами створюємо потрібний матеріал (рис. 3.20), і текстуруємо всі колони.

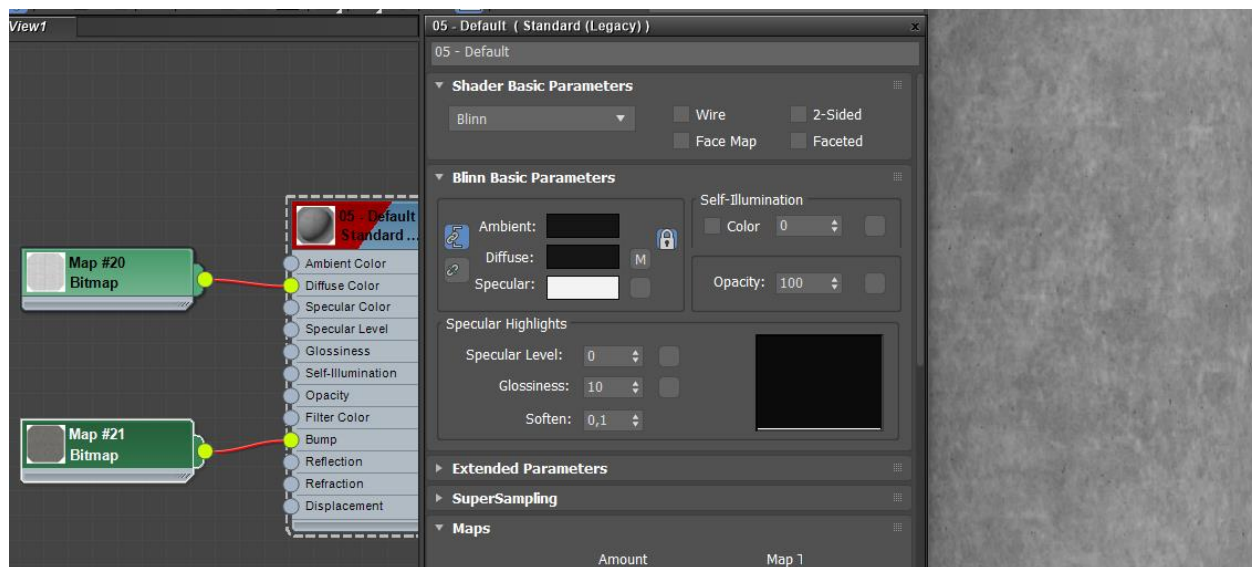


Рисунок 3.20 – Текстура колони

Наступну зробимо текстуру накриття. Через параметр «Mix» додаємо 2 фото з потрібними текстурами через «Bitmap» в параметр «Diffuse Color», щоб вони наклалися одна на одну, і ми отримали потрібний матеріал.

Також встановимо чорно-білу карту через «Bitmap» в параметр «Bump» для надання рельєфності.

Потім через модифікатор моделі «Unwrap UVW» корегуємо положення текстурних координат на полігонах, щоб текстура розміщувалася правильно (рис. 3.21).

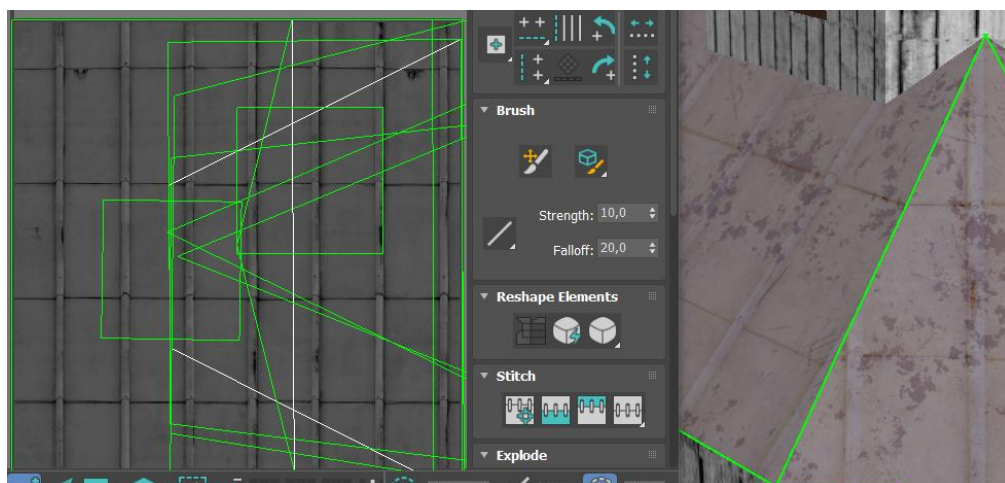


Рисунок 3.21 – Дах віттаря

Продублюємо дії на всіх накриттях моделі церкви (рис. 3.22– 3.23).

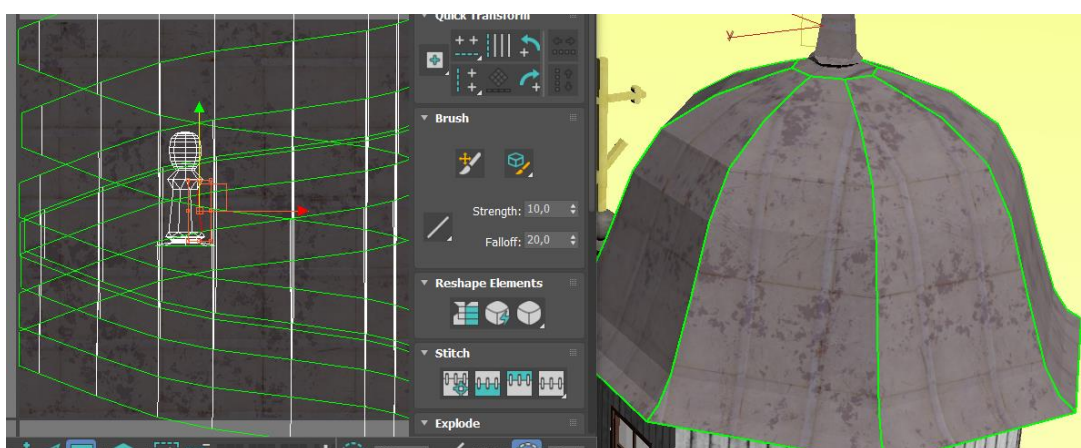


Рисунок 3.22 – Дах восьмерика

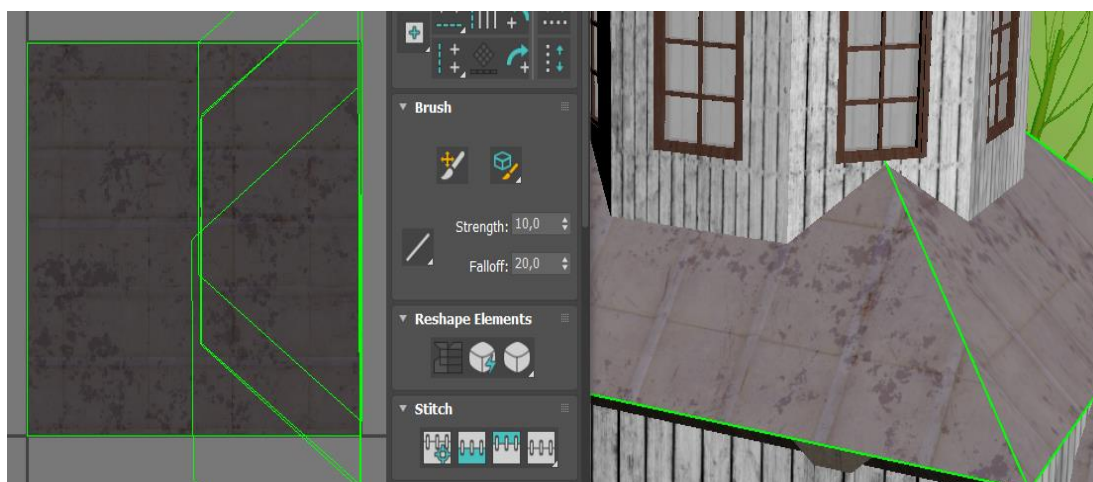


Рисунок 3.23 – Дах центральної частини будівлі

Наступним зробимо матеріали для дверей і вікон. Для матеріалу дверей ми обираємо фото текстури зістареного дерева (щоб текстура відповідала оригінальному фото), і додаємо його через «Bitmap» в параметр «Diffuse Color» матеріалу, модифікатором об'єкту «UVW Map» вирівнюємо текстурні координати для коректного відображення текстури (рис. 3.24).

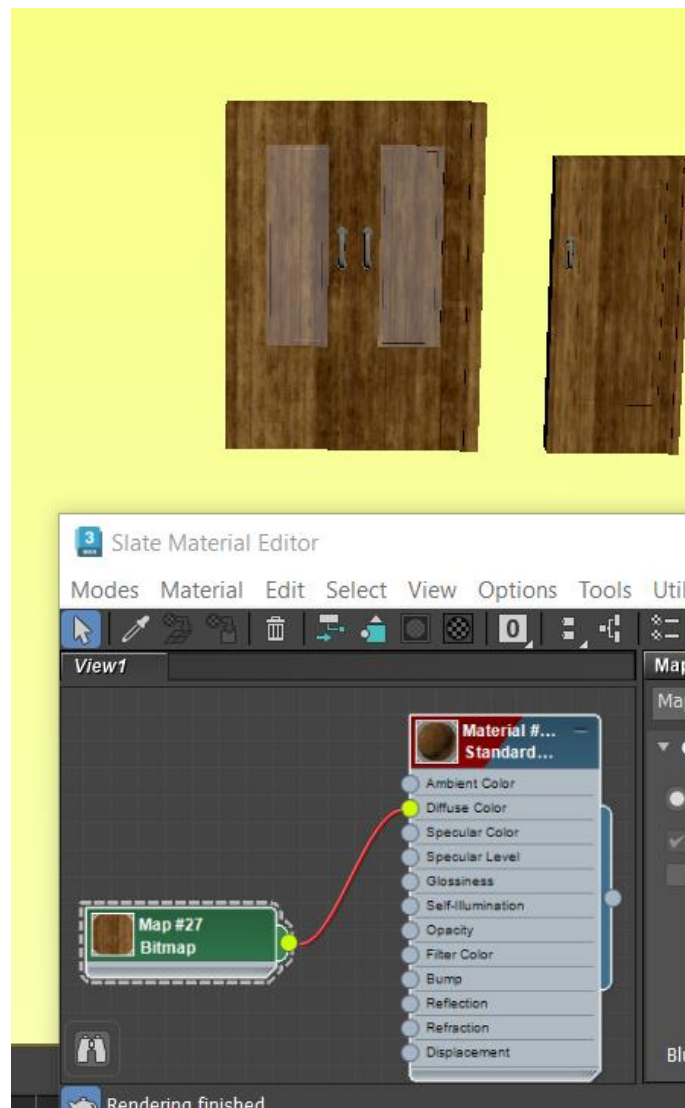


Рисунок 3.24 – Матеріал та текстура дверей

Далі зробимо матеріал для вікон. Буде використовуватись в параметрі «Diffuse Color» матеріал дерева(рис. 3.25). Окремо робимо матеріал для скла, змінюючи налаштування для отримання прозорого скла (рис.3.26). На виході отримуємо текстуроване вікно (рис. 3.27).

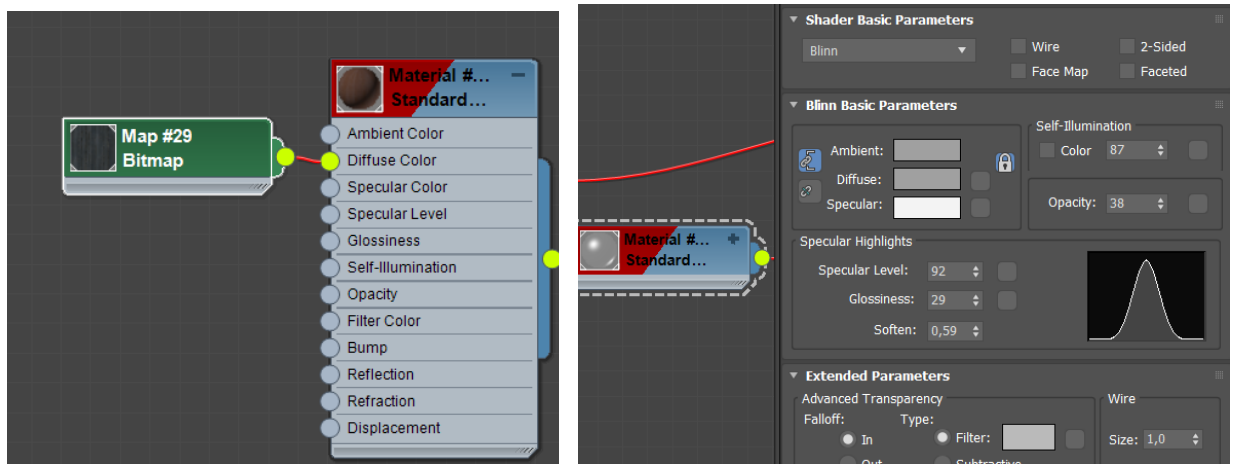


Рисунок 3.25 – Матеріал дерева та скла для вікна



Рисунок 3.27 – Текстуроване вікно

Наступною додамо текстуру на хрести. Матеріал буде складатися теж із фото текстури, яку будемо використовувати, та будемо змінювати її параметри, щоб отримати потрібний результат (рис. 3.28).

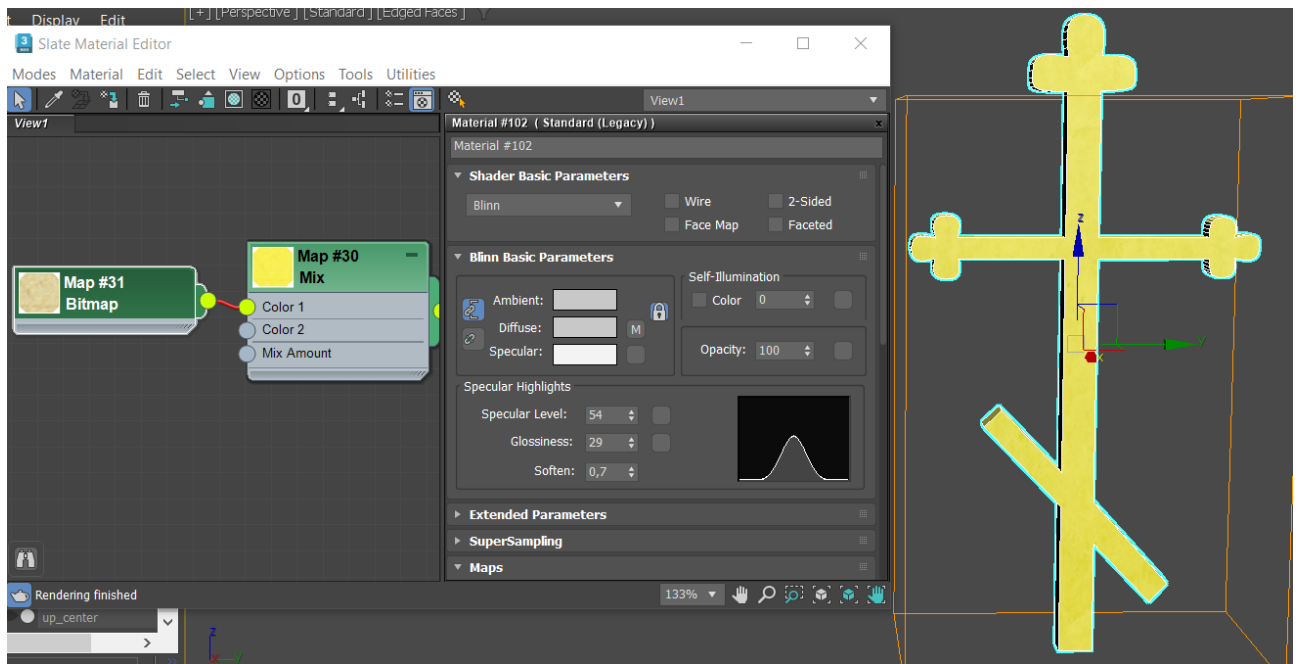


Рисунок 3.28 – Матеріал для хреста

Накладання текстури на паркан буде проходити аналогічним чином, як на хрест, тобто залишається підібрати потрібну текстуру (рис.3.29).

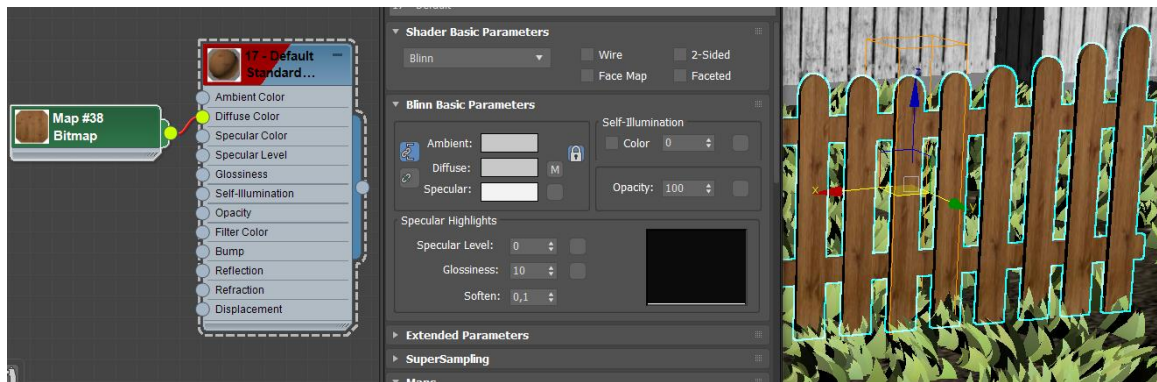


Рисунок 3.29 – Текстура паркану

До трави був застосований модифікатор Hair&Fair для імітації окремих травинок (рис. 3.30).



Рисунок 3.30 – Текстура трави

Для дерева було використано матеріал типу Multi/Sub-Object. Це дозволило налаштувати окремий матеріал для частин дерева – окремо для гілок, стовбура, листя тощо (рис. 3.31)

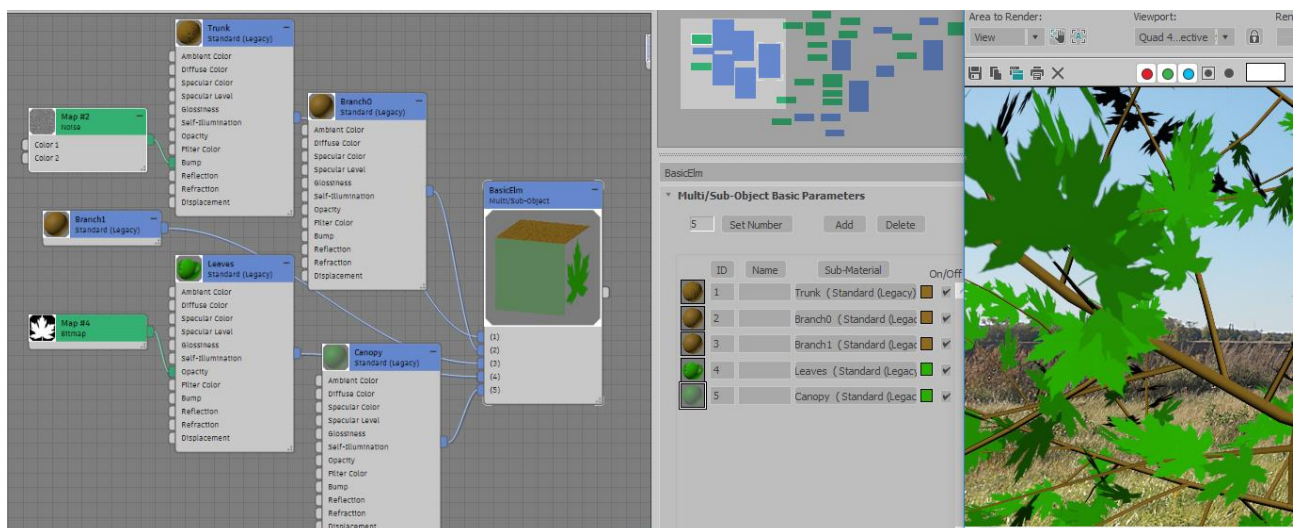


Рисунок 3.31 – Матеріал для дерева

3.4 Візуалізація моделі церкви

Після проробленої роботи можемо зробити рендери готової 3D моделі (рис. 3.32- 3.33).



Рисунок 3.31 – Вигляд моделі з 1-ого ракурсу



Рисунок 3.32 - Вигляд моделі з 2-ого ракурсу

Для кращого представлення моделі та її сприйняття виконана анімація обльоту камери навколо сцени. Для цього була налаштована PhysCamera та анімовано її рух навколо моделі церкви (рис. 3.33).

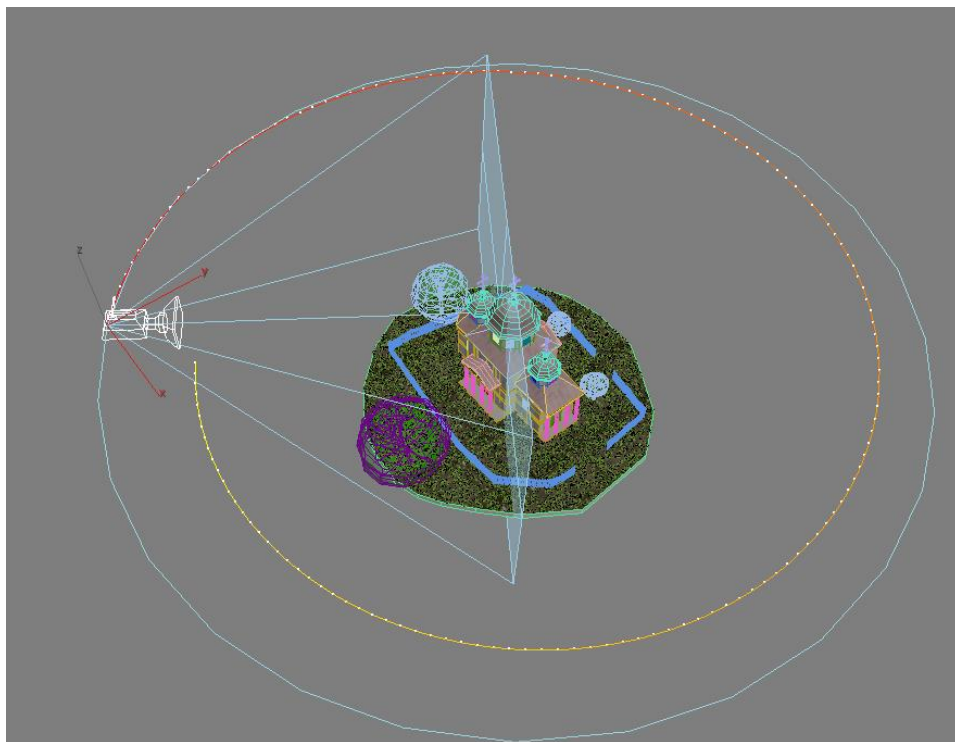


Рисунок 3.33 – Анімація камери

З отриманих рендерів 3D моделі можна зробити висновок, що поставлені задачі були виконані, а модель побудована згідно вимогам.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено аналіз предметної області, дослідження актуальності розробки за тематикою реконструкція церков та аналогічні проекти. В результаті підтверджено, що тема роботи є актуальною. Аналіз подібних проектів дозволив сформулювати вимоги до моделі.

Також проаналізовано найбільш поширені графічні редактори для моделювання церковних локацій, та за результатами порівняння обрано програмне забезпечення для реалізації проекту 3ds Max.

Сформульована постановка задачі та технічне завдання на виконання проекту.

Проведено планування робіт та проаналізовано можливі ризики при виконання проекту.

В проекті було створено контекстну діаграму, яка розкрила ключові функції та завдання проекту. Ця діаграма допомогла визначити вхідні та вихідні дані, обмеження та механізми виконання, що забезпечило цілісність та ефективність підходу до реалізації проекту. Крім того, було побудовано діаграму використання та діаграму IDEF0, які надали чітке уявлення про процеси та взаємодії в рамках проекту.

Детально описано процес створення та текстурування 3D моделі Трьох-Святительської церкви м. Лебедин. Було обрано полігональний та сплайновий типи моделювання, які забезпечують максимально реалістичний вигляд моделі, що є ключовим для реконструкції історичних споруд. Для елементів моделі розроблено відповідні матеріали.

Результатом роботи стала детально розроблена та текстурована 3D модель Трьох-Святительської церкви м. Лебедин, виконана з максимальною реалістичністю, також виконана візуалізація з різних ракурсів та анімацію обльоту сцени.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лебедин – Церква Трьох святителів С. Таранушенко - 1976 р. Монументальна дерев'яна... *Прадідівська слава: база даних українських пам'яток і визначних місць*. URL: https://www.pslava.info/LebedynM_CerkTrohSvjatyteliv_1976MonumentalnaDerevjanaArxit,143521.html#google_vignette (дата звернення: 02.05.2024).
2. Сторінками буремної історії: церква Трьох Святителів у Лебедині. *Сумські Дебати* – debaty.sumy@gmail.com. URL: <https://debaty.sumy.ua/news/storinkami-buremnoyi-istoriyi-tserkva-troh-svyatiteliv-u-lebedini> (дата звернення: 02.05.2024).
3. Оцифрування 10 церков Дрогобиччини - Aero3D. *Aero3D*. URL: <https://aero3d.ua/otsyfruvannia-10-tserkov-drohobychchynu/> (дата звернення: 18.04.2024).
4. SCAN UA. URL: <https://scanua.com/> (date of access: 23.04.2024).
5. Пеньков В. О. Фотограмметрія: конспект лекцій для бакалаврів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / В. О. Пеньков; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 100с.
6. Плоский В., Регіда О., Терещук М. Комп'ютерне геометричне моделювання як засіб підвищення ефективності архітектурно-будівельного проектування. Київ, 2018.
7. Церква Богородиці Десятинна. *Мандруй Україною – Пам'ятки, 3D-тури, маршрути, гід* / DISCOVER.UA. URL: <https://discover.ua/church-of-the-tithe/> (дата звернення: 24.04.2024).
8. Tereschuk M. Variant planning orthodox churches in an integrated computer environment Excel-Dynamo-Revit. *Danish Scientific Journal*. 2020. Vol. 1, no. 42. P. 3–7.

9. Терещук М. О. Структурно-параметричний спосіб формоутворення куполів православних храмів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 103-тє вид. Київ, 2022. С. 200–212.

10. Kutsevych, V. Канонічна структура побудови православних храмів. *Збірник наукових праць «Українська академія мистецтва»*, 2021. Вип.30, – С.5-13. <https://doi.org/10.33838/naoma.30.2021.5-13>

11. Терещук М. О. Структурно-параметричні геометричні моделі поверхонь куполів православних храмів. *Прикладні питання математичного моделювання*. 5-те вид. Одеса, 2022. С. 96–101.

12. Дячок, О., Шулдан, Л., & Янбухтіна, А. Особливості та комплексне дослідження сакральних будівель кінця ХХ-початку ХХІ ст. (на прикладі храму св. Петра в м. Тернопіль). *Містобудування та територіальне планування*, 2021, вип. 77. – С.181–195. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.77.181-195>

13. Українська дерев'яна церква увійшла в ТОП кращих 3D моделей всесвітньої платформи. *СПА-готель «Респект Карпати» Східниця*. URL: <https://www.respecthotel.com.ua/ukrayinska-derev-yana-tserkva-uvijshla-v-top-krashhyh-3d-modelej-vsesvitnoyi-platfomu/> (дата звернення: 28.04.2024).

14. Головна - Aero3D. URL: <https://aero3d.ua> (дата звернення: 28.04.2024).

15. Введенська церква 1761 року в селі Артемівка на Харківщині - . *Видавець Олександр Савчук*. URL: <https://savchook.com/news/vvedenska-tserkva-1761-roku-v-seli-artemivka-na-harkivshhyni/> (дата звернення: 28.04.2024).

16. Активісти створили 3D-модель церкви Спаса на Берестові 12 століття. *The Village Україна*. URL: <https://www.village.com.ua/village/culture/culture-news/348413-aktivisti-stvorili-3d-model-tserkvi-spasa-na-berestovi-12-stolittya> (дата звернення: 28.04.2024).

17. Україна Інкогніта | Подорожі маловідомими та заповідними місцями. *Україна Інкогніта*. URL: <https://ukrainaincognita.com> (дата звернення: 28.04.2024).

18. Autodesk. 3dsMax. Free. Version 2023. Autodesk.
URL: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.

19. ZBrush. *Maxon*. URL: <https://www.maxon.net/en/zbrush> (date of access: 29.04.2024).

20. Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. *blender.org*. URL: <https://www.blender.org> (date of access: 29.04.2024).

21. How to write SMART goals (with examples). *Work Life by Atlassian*. URL: <https://www.atlassian.com/blog/productivity/how-to-write-smart-goals> (date of access: 02.05.2024).

22. Work Breakdown Structure (WBS): The Ultimate Guide (with Examples). *ProjectManager*. URL: <https://www.projectmanager.com/guides/work-breakdown-structure> (date of access: 02.05.2024).

23. Моралес Дж. Gantt Chart: Everything You Need to Know About Gantt Chart. *MindOnMap | Free Mind Mapping Tool to Draw Ideas Easily Online*. URL: <https://www.mindonmap.com/uk/blog/gantt-chart/> (date of access: 02.05.2024).

24. Управління ризиками в проекті. *Pidru4niki*. URL: https://pidru4niki.com/74435/ekonomika/upravlinnya_rizikami_proekti (дата звернення: 02.05.2024).

ДОДАТОК А.
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на створення графічного продукту
«Візуалізація 3D моделі проєкту реконструкції
Трьох-Святительської церкви м. Лебедин»

ПОГОДЖЕНО:

Доцент кафедри інформаційних технологій

_____ Баранова І.В.

Студент групи ІТ- 03

_____ Павленко А.В.

Суми 2024

1 Призначення й мета створення 3D моделі реконструкції церкви

1.1 Призначення 3D моделі

3D модель реконструкції церкви з використанням реалістичних текстур повинна надати можливість побачити деталі тодішньої архітектурної споруди.

1.2 Мета створення 3D моделі зруйнованої церкви

Створення 3D моделі має на меті використання у медійному просторі, щоб нагадати суспільству важливість зберігання пам'яток не лише в пам'яті. Також можлива реалізація цього проєкту у реальному житті.

1.3 Цільова аудиторія

3D модель повинна охопити таку аудиторію як:

1. Співробітники музеїв;
2. Архітектори;
3. Інвестори у пошуках перспективного відновлення спадщини.

2 Вимоги до 3D моделі реконструкції церкви

2.1 Вимоги до 3D моделі реконструкції церкви в цілому

Модель повинна бути відтворена з високою деталізацією, щоб точно передати архітектурні особливості й деталі церкви. Вона має відобразити реальні розміри та пропорції споруди.

2.2 Вимоги до функції моделі

3D модель повинна бути досить гнучкою, щоб можна було використовувати її для різних цілей, таких як навчальні, дослідницькі або мистецькі проєкти.

2.3 Вимоги до програмного та апаратного забезпечення

Системні вимоги до програмного та апаратного забезпечення для використання та побудови моделі повинні бути такими зі встановленим середовищем 3Ds Max:

- ОС: Microsoft® Windows 10 / Windows 11;
- ЦП: 64-розрядний багатоядерний процесор Intel® або AMD® із набором інструкцій SSE4.2;
- Графічний процесор: GTX 1650 4 GB або альтернативна;
- Пам'ять: мінімум 4 ГБ ОЗУ (рекомендується 8 ГБ або більше);
- Місце: 16 ГБ вільного дискового простору для встановлення або більше.

3 Структура 3D моделі реконструкції церкви

3.1 Наповнення 3D моделі

В 3D моделі церкви повинно бути враховане усе, що може вплинути на її зовнішній вигляд. Це створить вірогідну і деталізовану модель, яка відобразатиме реальність. Додавання деталей внутрішнього простору, таких як віттар, меблі та ікони, може поглибити реалістичний вигляд моделі, надаючи більше контексту і атмосфери.



Рисунок А.1- Архівне фото церкви

3.2 Дизайн та структура 3D моделі

Під час створення 3D моделі важливо врахувати автентичність архітектурних елементів і деталей, зберігаючи всі особливості та історичний характер. Також у разі необхідності модель має включати відтворення навколишнього середовища та прилеглих об'єктів. Важливо реалістично передати ландшафт та оточення, що оточує церкву.

4. Склад і зміст робіт зі створення 3D моделі зруйнованої церкви

Детальний опис етапів роботи зі створення 3D моделі церкви наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Етапи створення 3D моделі зруйнованої церкви

№	Склад і зміст робіт	Строк розробки
1	Збір вихідних даних про зруйновану церкву	5 днів
2	Аналіз архітектурних елементів та характеристик	7 днів
3	Вибір методів моделювання та програмного забезпечення	2 дні
4	Моделювання основної структури церкви у програмі 3ds Max	10 днів
5	Текстурування та додавання деталей до моделі	8 днів
6	Освітлення та налаштування реалістичності	5 днів
7	Тестування та виправлення помилок	4 дні
8	Підготовка документації про створену модель	3 дні
9	Завершення роботи, остаточні виправлення та оптимізація	4 дні
	Загальна тривалість робіт	48

ДОДАТОК Б.

ПЛАНУВАННЯ РОБІТ

Метою даної роботи є розробка та реалізація візуалізації 3D моделі проєкту реконструкції церкви за допомогою програмного забезпечення 3ds Max. Детальне вивчення архітектурних особливостей церкви та створення реалістичного відображення її структури для подальшого використання у візуалізації, дослідженні та освітніх цілях є ключовими завданнями цієї роботи.

Для досягнення мети проєкту необхідно виконати наступні задачі:

- дослідження архітектурних особливостей та деталей церкви;
- відтворення реалістичних зображень структури, з урахуванням кожної деталі історичної цінності об'єкта;
- визначення потенційного використання моделі для відтворення історичного контексту для дослідження та освіти;

Б.1 Деталізація мети проєкту методом SMART

Деталізація мети проєкту за методом SMART [21] полягає у конкретизації та формулюванні таким чином, щоб вона була специфічною, вимірюваною, досяжною, реалістичною та має визначений часовий рамки. Такий підхід сприяє уточненню цілей та їх успішному досягненню шляхом чіткого планування та виконання проєкту.

Отже, можемо сформулювати мету нашого проєкту за цими п'ятьма факторами. Результати наведені у таблиці Б.1.

Таблиця Б.1 – Формалізація мети за технологією SMART

Критерій	Опис
Specific	Створення деталізованої та реалістичної 3D моделі церкви, яка передасть усі архітектурні особливості та зовнішній вигляд споруди до моменту руйнування.
Measurable	Модель повинна відображати архітектурні елементи та текстури церкви з високою ступенем деталізації. Вартість створення моделі у реальних умовах не менше 1000\$.
Achievable	Незважаючи на існуючих конкурентів у галузі 3D моделювання, існує попит на реалістичні та деталізовані моделі культурних об'єктів, що можуть знайти застосування в історичних та освітніх проектах.
Relevant	Створення 3D моделі церкви є значимим для збереження культурної спадщини, відтворення історичних пам'яток та навчальних цілей. Модель може бути використана в музеях, освітніх програмах або реконструкційних проектах.
Time-framed	Виконання проекту планується до завершення 4 курсу (30 травня 2024 року).

Б.2 Планування змісту робіт та структури виконавців

Елементарні роботи у процесі розробки повноцінної 3D моделі проекту реконструкції церкви в середовищі програми 3ds Max – це конкретні завдання, які мають однозначний результат і виконуються відповідальною особою. Кожна з цих дій спрямована на створення частини чи етапу моделі, призначення для якого може бути обчислене у витратах праці та тривалості виконання. Це може бути представлено у вигляді робочої розбивки (WBS) [22], яка деталізує етапи та завдання у процесі розробки 3D моделі зруйнованої церкви в середовищі програми 3ds Max (рис. Б.1).

На рисунку Б.2 показано структуру планування проєкту. Список виконавців, що функціонують в проєкті, описано в таблиці Б.2.

Таблиця Б.2 – Виконавці проєкту

Роль	Ім'я	Проектна роль
3D Моделювальник	Павленко А.В.	Відповідає за моделювання зовнішньої та внутрішньої структури зруйнованої церкви в програмі 3D modeling software.
Текстур-артист	Павленко А.В.	Відповідає за створення текстур для моделі.
Технічний арт-директор	Павленко А.В.	Визначає технічні стандарти, вирішує технічні проблеми та сприяє забезпеченню реалістичності моделі.
Керівник проєкту	Баранова І.В.	Відповідає за керування проєктом в цілому, включаючи планування, розподіл завдань, контроль термінів та координацію роботи між учасниками команди.
QA/Тестувальник	Павленко А.В.	Виконує тестування 3D моделі, виявляє та допомагає виправити будь-які недоліки чи помилки у моделі.
Консультант архітектури	з Павленко А.В.	Надає консультації щодо архітектурних деталей зруйнованої церкви, допомагає зробити модель більш реалістичною та відповідною реальним архітектурним особливостям.



Рисунок Б.1 – WBS-структура робіт проєкту

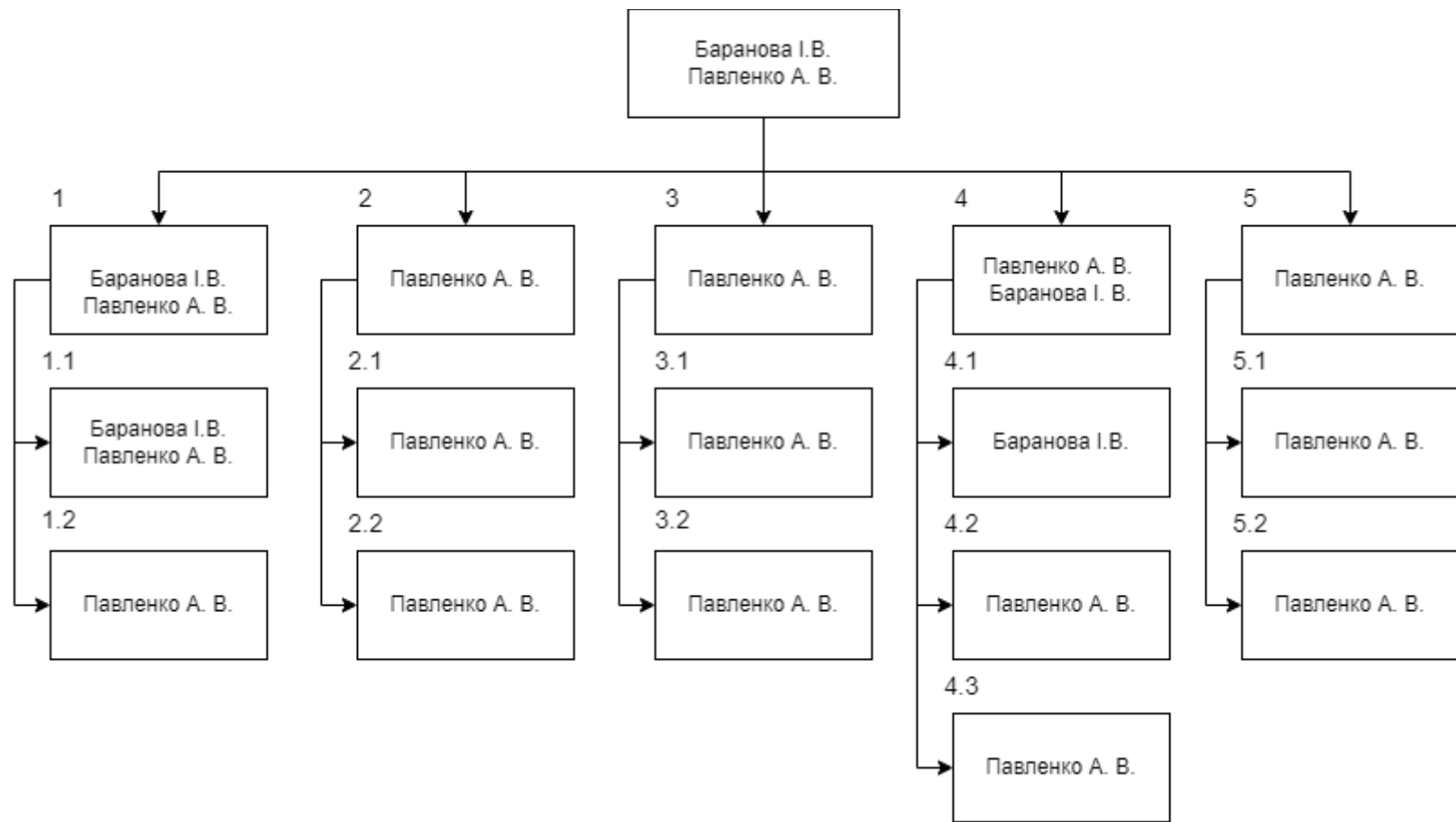


Рисунок Б.2 – OBS-структура робіт проекту

Б.3 Діаграма Ганта

Побудова календарного графіку (діаграми Ганта) є важливим етапом планування проєкту, що відображає розклад виконання робіт з реальним розподілом дат [23]. Це дозволяє отримати чітке уявлення про тривалість процесів з урахуванням обмежень у ресурсах, вихідних днів та свят.

Календарний графік проєкту зображено на рисунку Б3.

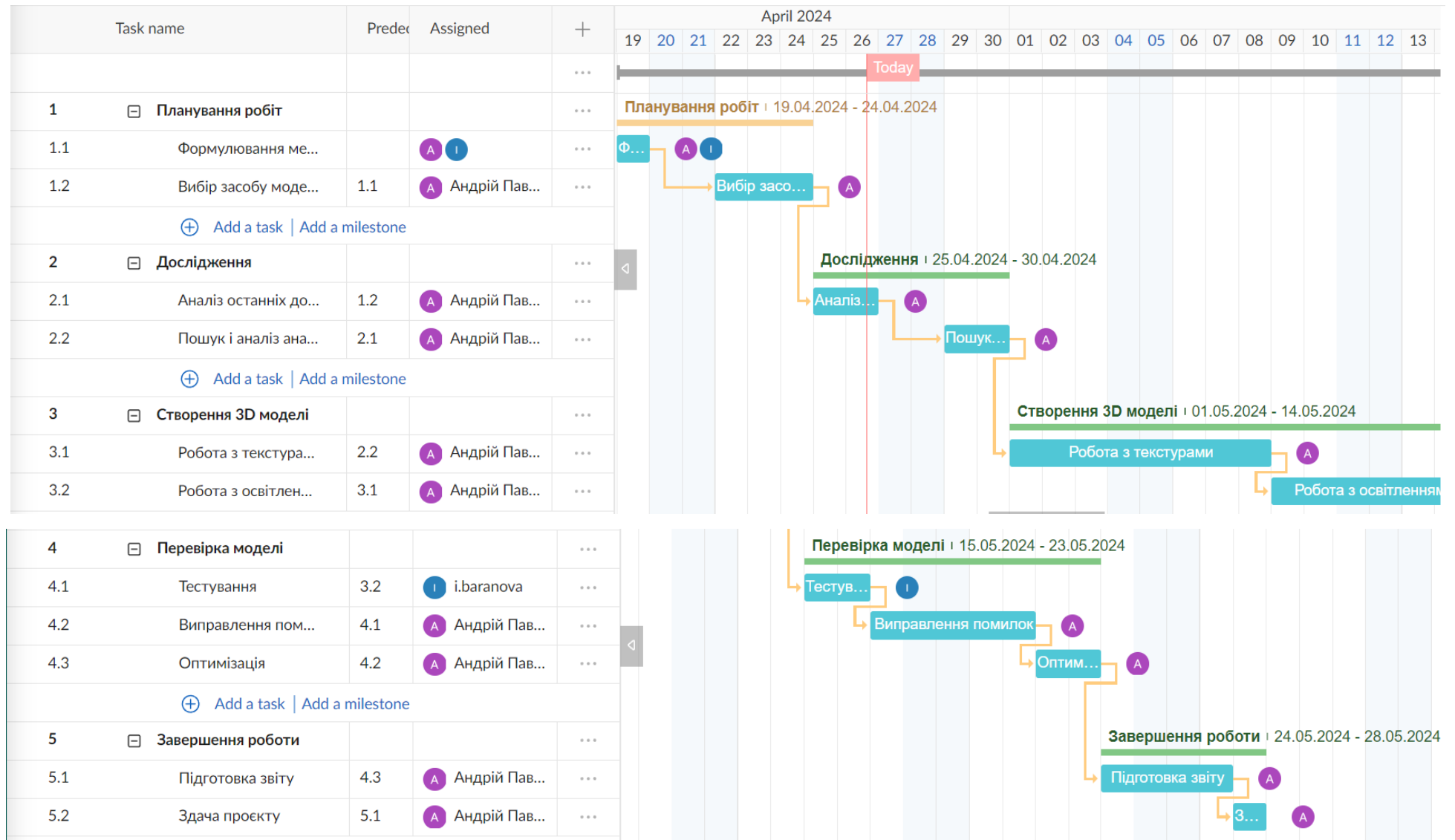


Рисунок Б.3 – Діаграма Ганта

Б.4 Управління ризиками проєкту

Під час виконання оцінки ризиків важливо ідентифікувати ті, які потребують негайного врегулювання [24]. Реагування на ризики залежить від їх значимості. Виконання кількісної оцінки ризиків є наступним кроком. Ці два види оцінки можуть проводитись одночасно або окремо, залежно від потреб проєкту. У таблиці Б.3 зазначені ризики для даного проєкту, а результати оцінки містяться у таблиці Б.4.

Таблиця Б.3 – Ризики проєкту

№ ризику	Назва (опис) ризику
R1	Хвороба учасника команди
R2	Аварійне вимкнення світла
R3	Непорозуміння із замовником і ПМ/ТЗ
R4	Повітряні тривоги
R5	Непередбачувані дії терористів
R6	Зниження бюджету
R7	Некомпетентність співробітника

Таблиця Б.4 – Визначення ймовірності, впливу та рангу ризиків проєкту

№ ризику	Назва (опис) ризику	Ймовірність (0,1-0,9)	Вплив (0,05-0,8)	Ранг
R1	Хвороба учасника команди	0,1	0,05	0,005
R2	Аварійне вимкнення світла	0,3	0,4	0,12
R3	Непорозуміння із замовником і ПМ/ТЗ	0,3	0,2	0,06
R4	Повітряні тривоги	0,7	0,8	0,56
R5	Непередбачувані дії терористів	0,3	0,8	0,24
R6	Зниження бюджету	0,3	0,2	0,06
R7	Некомпетентність співробітника	0,1	0,1	0,01

Для зменшення негативного впливу ризиків на проєкт необхідне планування заходів щодо їх управління. Цей процес включає оцінку наслідків впливу ризиків на проєкт та розробку відповідних заходів. Оцінка проводиться за показниками, зазначеними у таблиці Б.4. У результаті планування заходів управління ризиками для проєкту була створена матриця ймовірності виникнення та впливу ризиків (таблиця Б.5). Зеленим кольором на матриці позначені прийнятні ризики, жовтим – прийнятні за умови вжиття заходів, а червоним – неприйнятні.

Таблиця Б.5 – Матриця ймовірності та впливу згідно проєкту

Ймовірність ризиків (Й)	Вплив загрози (ризиків)				
	Дуже малий	Малий	Середній	Великий	Дуже великий
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
0,9	0,045	0,09	0,18	0,36	0,72
0,7	0,035	0,07	0,14	0,28	0,56 R4
0,5	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4
0,3	0,015	0,03	0,06 R3 R6	0,12 R2	0,24 R5
0,1	0,005 R1	0,01 R7	0,02	0,04	0,08

Класифікація ризиків проєкту за рівнем відповідно до отриманого значення індексу подана у таблиці Б.6. У таблиці Б.7 наведено опис ризиків разом із стратегіями реагування на кожен з них.

Таблиця Б.6 – Шкала оцінювання за рівнем ризику

№	Назва	Межі	Ризики, які входять (номера)
1	Прийнятні	$0,005 \leq R \leq 0,05$	1, 7
2	Виправдані	$0,05 < R \leq 0,14$	2, 3, 6, 4, 5
3	Недопустимі	$0,14 < R \leq 0,72$	

Таблиця Б.7 – Ризики та стратегії реагування

ID	Статус ризику	Опис ризику	Ймовірність виникнення	Вплив ризику	Ранг ризику	План А	Тип стратегії реагування	План Б
R1	Прийняті	Хвороба учасника команди	0,1	0,05	0,005	Регулярні медичні огляди та профілактичні заходи	Ухилення	Перенести строки виконання робіт
R2	Виправдані	Аварійне вимкнення світла	0,3	0,4	0,12	Встановлення резервних джерел електроживлення (генераторів тощо)	Ухилення	Впровадження системи автоматичного зберігання даних, щоб уникнути втрати в разі вимкнення світла.
R3	Виправдані	Непорозуміння із замовником і ПМ/ТЗ	0,3	0,2	0,06	Створення детального плану комунікацій, уточнення вимог та процесів комунікації з усіма сторонами	Попередження	Організація додаткових зустрічей з замовником для виправлення непорозумінь та уточнення вимог
R4	Виправдані	Повітряні тривоги	0,7	0,2	0,14	Розроблення та впровадження протоколу поведінки в разі тривоги	Ухилення	Перенести строки виконання робіт

Продовження таблиці Б.7

ID	Статус ризику	Опис ризику	Ймовірність виникнення	Вплив ризику	Ранг ризику	План А	Тип стратегії реагування	План Б
R5	Виправдані	Непередбачувані дії терористів	0,3	0,4	0,12	Проведення оцінки загроз і розробка плану заходів з безпеки	Ухилення	Переміщення в інше місто
R6	Виправдані	Неправильні вхідні дані	0,3	0,2	0,06	Детальні пошук та перевірка всіх можливих джерел	Ухилення	Перебудова моделі
R7	Прийнятні	Некомпетентність співробітника	0,1	0,1	0,01	Надання можливостей для навчання та професійного розвитку співробітників	Попередження	Чіткий перерозподіл завдань між членами команди для покриття можливих прогалин у компетентності