

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування інтер'єру готельного номера з використанням комп'ютерного 3D-моделювання.

Виконав: студент IV курсу, групи СН-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

Бронецька В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Небесний Р.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 8 » червня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студентці Бронецькій Вікторії Мирославівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проєктування інтер'єру готельного номера з використанням комп'ютерного 3D-моделювання.

Керівник роботи Небесний Руслан Михайлович, доктор філософії, доцент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » травня 2026 року № 4/9-239

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Літературні джерела

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.

1.1 Аналіз предметної області: дизайн інтер'єру готельних номерів. 1.2 Огляд методів комп'ютерного 3D-моделювання в дизайні. 1.3 Аналіз ринку програмного забезпечення для 3D-моделювання інтер'єрів. 1.4 Обґрунтування вибору SketchUp 2020. 1.5 Постанова завдання та елементи новизни дослідження. Розділ 2. ТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ГОТЕЛЬНИХ НОМЕРІВ. 2.1 Системний аналіз об'єктів проєктування та формування технічних специфікацій. 2.2 Математичне моделювання простору та оптимізація ергономічних параметрів приміщень.

2.3 Концептуальне проєктування та алгоритмічна схема процесу тривимірного моделювання.

2.4 Реалізація об'єктно-орієнтованого підходу, твердотільного моделювання та налаштування освітлення. 2.5 Параметризація апартаментів та моделювання інтегрованих інженерних зон.

Розділ 3. ДЕМОНСТРАЦІЯ, АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Аналіз ергономічної ефективності та функціональності розроблених цифрових моделей.

3.2 Світлотехнічний аналіз простору та оцінка якості візуалізації. 3.3 Оцінка ресурсоемності процесу моделювання та економічної доцільності проєктних рішень. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік джерел. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання 26 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	26.01.2026	
2.	Підбір та опрацювання літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи	27.01.2026-16.01.2026	
3.	Виконання дослідження щодо вимог до проектування сучасних готельних просторів; Розроблення 3D-моделі інтер'єру готельного номера з урахуванням нормативно-технічних стандартів.	17.01.2026-10.05.2026	
4.	Оформлення розділу «АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ»	11.05.2026-17.05.2026	
5.	Оформлення розділу «ТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ГОТЕЛЬНИХ НОМЕРІВ»	18.05.2026-24.05.2026	
6.	Оформлення розділу «ДЕМОНСТРАЦІЯ, АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ»	25.05.2026-31.05.2026	
7.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	01.06.2026-08.06.2026	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	01.06.2026-08.06.2026	
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	09.06.2026-11.06.2026	
10.	Нормоконтроль	12.06.2026-15.06.2026	
11.	Перевірка на плагіат		
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи		
13.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Бронецька В.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Небесний Р.М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Проектування інтер'єру готельного номера з використанням комп'ютерного 3D-моделювання // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Бронєцька Вікторія Мирославівна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-41 // Тернопіль, 2026 // С. 53 , рис. – 9 , табл. – 5 , додат. – , бібліогр. – 42.

Ключові слова: 3d-моделювання, дизайн інтер'єру, готельний номер, параметризація, ергономіка, рендеринг, системний аналіз, sketchup.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів комп'ютерного 3D-моделювання для створення технічно оптимізованих та ергономічних просторів готельних номерів.

В першому розділі кваліфікаційної роботи описано предметну область проектування готельних інтер'єрів. Висвітлено нормативно-технічні вимоги (ДБН) та сучасні тенденції індустрії. Розглянуто еволюцію систем автоматизованого проектування та методів 3D-моделювання. Проаналізовано ринок програмного забезпечення та обґрунтовано вибір середовища SketchUp 2020 як оптимального інструменту для виконання інженерних завдань.

В другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено математичні моделі простору та алгоритмічну схему тривимірного проектування. Досліджено процеси об'єктно-орієнтованого моделювання із застосуванням динамічних компонентів. Подано результати практичної розробки цифрових моделей двох типів готельних номерів (лаунж-варіант та апартамент-номер) із налаштуванням фізично коректного глобального освітлення та PBR-матеріалів.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано методику симуляції експлуатаційних сценаріїв. Проаналізовано ергономічну ефективність, функціональну завантаженість простору та якість візуалізації розроблених

моделей. Проведено оцінку ресурсоемності полігональної сітки та доведено економічну доцільність впровадження обраних проєктних рішень.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого проєктування та оптимізації простору сучасних готельних номерів. Предмет дослідження: методи комп'ютерного 3D-моделювання, параметризації об'єктів та інженерно-ергономічного аналізу інтер'єрів.

ANNOTATION

Interior design of a hotel room using computer 3D modeling // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Bronetska Viktoriia Myroslavivna // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SN-41 // Ternopil, 2025 // P. 53, fig. – 9, tabl. – 5, annexes. – , references – 42.

Keywords: 3d modeling, interior design, hotel room, parameterization, ergonomics, rendering, system analysis, sketchup.

The qualification work is dedicated to the research of computer 3D modeling methods for creating technically optimized and ergonomic hotel room spaces.

The first section of the qualification paper considered the domain of hotel interior design, regulatory and technical requirements, and modern trends. The evolution of CAD systems and the software market were analyzed, and the choice of the SketchUp 2020 environment was mathematically justified.

In the second section of the qualification work, it is considered the algorithmic scheme of three-dimensional modeling. The processes of mathematical space optimization, object-oriented design, and parametric component integration for two types of hotel rooms were investigated and presented.

The third section describes the methodology of space utilization simulation. The ergonomic efficiency, functional capacity, and visualization quality of the developed 3D models were thoroughly analyzed. The resource intensity of the modeling process and economic feasibility were evaluated.

Object of research: the process of automated design and space optimization of modern hotel rooms.

Subject of research: methods of computer 3D modeling, object parameterization, and engineering-ergonomic analysis of interiors.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

BRDF (англ. Bidirectional Reflectance Distribution Function) – двопроменева функція відбивної здатності.

CAD (англ. Computer-Aided Design) – комп'ютерна система автоматизованого проєктування.

E_{time} – показник економічного ефекту від оптимізації часу на проєктування.

HDRI (англ. High Dynamic Range Image) – зображення з розширеним динамічним діапазоном, що використовується для глобального освітлення.

IES (англ. Illuminating Engineering Society) – цифровий профіль фотометричних даних штучного джерела світла.

K_{erg} – коефіцієнт ергономічної ефективності простору.

L_{min} – нормативна мінімальна ширина ергономічного проходу.

PBR (англ. Physically Based Rendering) – фізично коректний рендеринг (візуалізація).

RAM (англ. Random Access Memory) – оперативна пам'ять комп'ютера.

S_{active} – активна (корисна) площа приміщення, вільна для руху.

S_{arch} – площа, яку займають архітектурні конструктивні елементи.

S_{furn} – площа горизонтальної проєкції меблевих елементів та обладнання.

S_{total} – загальна площа готельного номера.

UV-мапування – алгоритм накладання двовимірної текстури на тривимірну поверхню.

ДБН – Державні будівельні норми.

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина.

САПР – система автоматизованого проєктування.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ 12	
1.1 Аналіз предметної області: дизайн інтер'єру готельних номерів.....	12
1.2 Огляд методів комп'ютерного 3D-моделювання в дизайні.....	13
1.3 Аналіз ринку програмного забезпечення для 3D-моделювання інтер'єрів	13
1.4 Обґрунтування вибору SketchUp 2020.....	15
1.5 Постановка завдання та елементи новизни дослідження	16
1.6 Висновок до першого розділу.....	17
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ГОТЕЛЬНИХ НОМЕРІВ.....	18
2.1 Системний аналіз об'єктів проектування та формування технічних специфікацій	18
2.2 Математичне моделювання простору та оптимізація ергономічних параметрів приміщень	21
2.3 Концептуальне проектування та алгоритмічна схема процесу тривимірного моделювання	25
2.4 Реалізація об'єктно-орієнтованого підходу, твердотільного моделювання та налаштування освітлення	29
2.5 Параметризація апартаментів та моделювання інтегрованих інженерних зон	32
2.6 Висновок до другого розділу	36
РОЗДІЛ 3. ДЕМОНСТРАЦІЯ, АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	37
3.1 Аналіз ергономічної ефективності та функціональності розроблених цифрових моделей.....	37

3.2 Світлотехнічний аналіз простору та оцінка якості візуалізації.....	39
3.3 Оцінка ресурсоємності процесу моделювання та економічної доцільності проєктних рішень	42
3.4 Висновок до третього розділу.....	45
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	46
4.1 Надання домедичної допомоги при вивихах та кровотечах у закладах готельного господарства.....	46
4.2 Організація інструктажів та основні вимоги техніки безпеки в готельному комплексі	48
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ	59

ВСТУП

Актуальність теми. В епоху глобальної цифровізації архітектурно-дизайнерської галузі комп'ютерне 3D-моделювання вийшло за межі простої побудови ескізів, перетворившись на фундаментальний інструмент інженерного та системного аналізу. Сучасна індустрія гостинності (HoReCa) вимагає від проєктувальників не лише естетичної привабливості простору, але й максимальної ергономічності, гнучкості та економічної обґрунтованості кожного квадратного метра. Традиційні двовимірні методи проєктування часто не здатні виявити просторові колізії або точно розрахувати взаємодію складних джерел світла з фізичними матеріалами.

Саме тому перехід до об'єктно-орієнтованого тривимірного проєктування з використанням параметризації є надзвичайно актуальним напрямком в інформаційних технологіях. Створення точного цифрового двійника (Digital Twin) готельного номера дозволяє оптимізувати обчислювальні ресурси комп'ютера, математично перевірити інклюзивність транзитних зон ще до початку будівельних робіт та згенерувати безпомилкову робочу документацію.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення ефективності та якості проєктування готельних просторів шляхом застосування методів об'єктно-орієнтованого 3D-моделювання, параметризації та системного аналізу.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- проаналізувати нормативно-технічні вимоги (ДБН) та сучасні інформаційні технології, що застосовуються у проєктуванні інтер'єрів;
- розробити математичні та інформаційні моделі двох типів готельних номерів (лаунж-варіанта та апарт-номера);
- застосувати об'єктно-орієнтований підхід та параметричні динамічні компоненти для моделювання поліфункціональних інженерних зон (кітченету, консольних робочих місць);

- виконати твердотільне моделювання, налаштувати PBR-матеріали та провести розрахунок фізично коректного освітлення (Raytracing);
- провести ергономічний аналіз, оптимізацію вільного простору та оцінити ресурсоемність згенерованих цифрових моделей.

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого проєктування та оптимізації простору сучасних готельних номерів.

Предмет дослідження: методи комп'ютерного 3D-моделювання, параметризації об'єктів та інженерно-ергономічного аналізу інтер'єрів.

У роботі набуло подальшого розвитку застосування математичного підходу до оцінки якості інтер'єру через розрахунок коефіцієнта ергономічної ефективності (K_{erg}). Доведено, що використання алгоритмів динамічної параметризації у середовищі SketchUp дозволяє автоматизувати масштабування меблевих модулів без топологічних деформацій полігональної сітки.

Практичне значення одержаних результатів. Створені цифрові інформаційні моделі готельних номерів доведені до стану, що дає змогу безпосередньо використовувати їх для генерації двовимірної проєктно-конструкторської документації. Застосований алгоритм моделювання суттєво скорочує час на внесення змін до проєкту та мінімізує ризик інженерних помилок під час реалізації об'єкта в натурі.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Повний обсяг пояснювальної записки становить 53 сторінок. Робота містить 9 рисунків та 5 таблиці. Перелік використаних джерел налічує 42 найменувань.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз предметної області: дизайн інтер'єру готельних номерів

Проектування інтер'єру готельних номерів є складною багатофакторною задачею, що вимагає синтезу естетичних, ергономічних та суворих нормативно-технічних вимог. Сучасний готельний номер розглядається не лише як тимчасове місце проживання, але й як оптимізований простір, де кожен квадратний метр повинен виконувати певну функцію з максимальною ефективністю [1].

Основою для проектування готельних просторів в Україні є дотримання Державних будівельних норм, зокрема ДБН В.2.2-20:2008 «Будинки і споруди. Готелі». Ці норми жорстко регламентують мінімальні площі житлових кімнат, санітарних вузлів, ширину проходів та вимоги до інсоляції залежно від категорії готелю. З технічної точки зору, проектування починається з макро- та мікрозонування простору: виділення зони сну, робочої зони, зони відпочинку та санвузла. Ергономічний аналіз передбачає розрахунок антропометричних параметрів для забезпечення комфортного пересування користувачів (наприклад, мінімальна ширина проходу між ліжком та стіною не повинна бути меншою за встановлені нормативи) [2].

Сучасні тенденції 2025-2026 років у дизайні готельних інтер'єрів диктують перехід до екологічності, використання розумних технологій (Smart Room) та багатофункціонального мінімалізму. Важливим аспектом стає також інклюзивність простору, що вимагає точних розрахунків радіусів розвороту інвалідних візків та висоти розташування елементів управління [3].

1.2 Огляд методів комп'ютерного 3D-моделювання в дизайні

Еволюція систем автоматизованого проєктування (CAD – Computer-Aided Design) докорінно змінила підходи до розробки інтер'єрів. Історичний перехід від двовимірного (2D) креслення до тривимірного (3D) моделювання дозволив не лише візуалізувати об'єкти, але й проводити точні просторові розрахунки на етапі ескізного проєктування[4].

Сучасні методи 3D-моделювання в дизайні поділяються на:

- Полігональне моделювання: використовується для створення складних нестандартних форм.
- Твердотільне (сплайнове) моделювання: забезпечує найвищу інженерну точність для подальшого виробництва деталей [5].
- Параметричне моделювання (BIM - Building Information Modeling): об'єкти наділяються фізичними та технічними властивостями, зміна одного параметра автоматично перераховує залежні елементи.

Інтеграція CAD-систем у стратегії дизайну інтер'єру дозволяє мінімізувати похибки вимірювань, автоматизувати підрахунок витрат матеріалів та симулювати фізично коректне освітлення.

1.3 Аналіз ринку програмного забезпечення для 3D-моделювання інтер'єрів

Сьогодні ринок пропонує широкий спектр програмних продуктів для 3D-моделювання, кожен з яких має свою специфіку, цільову аудиторію та технічні обмеження [6]. Для обґрунтованого вибору інструментарію було проведено порівняльний аналіз провідних рішень в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз програмного забезпечення для 3D-моделювання інтер'єрів

Програма	Ліцензія / Ціна	Основні переваги	Недоліки	Підходить для інтер'єру готелю	Точність замірів
SketchUp 2020	Платна (Pro) / Безкоштовна (Web)	Інтуїтивний інтерфейс, швидкість роботи, інтеграція з 3D Warehouse, V-Ray	Обмежені можливості для складної органічної скульптури	Висока (ідеально для концептів та точного планування)	Висока (до міліметрів)
Autodesk Revit	Платна (Висока ціна)	Повний цикл BIM, параметризація, автоматична генерація документації	Високий поріг входження, надлишковість для суто інтер'єрних задач	Середня (краще для архітектури будівлі в цілому)	Максимальна
Blender	Безкоштовна (Open Source)	Потужний вбудований рендер (Cycles), відмінна робота з полігонами	Складний інтерфейс, менш пристосований для точного САД-креслення	Середня (краще для візуалізації, ніж для креслень)	Середня

Продовження таблиці 1.1

Програма	Ліцензія / Ціна	Основні переваги	Недоліки	Підходить для інтер'єру готелю	Точність замірів
AutoCAD	Платна	Індустріальний стандарт для 2D-креслень, абсолютна точність	Складне та повільне 3D-моделювання	Низька (переважно для 2D-планів)	Максимальна
3ds Max	Платна (Висока ціна)	Професійні інструменти рендерингу та складної геометрії	Вимагає потужного апаратного забезпечення, складність навчання	Висока (для фотореалістичної презентації)	Висока

1.4 Обґрунтування вибору SketchUp 2020

На основі проведеного аналізу для виконання практичної частини дослідження було обрано програмне середовище SketchUp 2020 [7]. Цей вибір обґрунтовується низкою технічних та методологічних факторів:

- Точність геометричних побудов: Алгоритми інструменту "Push/Pull" та прив'язки до осей дозволяють створювати моделі з міліметровою точністю, що критично важливо для розрахунку ергономіки за нормами ДБН [8].

- Оптимізація робочого процесу: Наявність глобальної бібліотеки компонентів 3D Warehouse значно пришвидшує етап наповнення простору

стандартизованими об'єктами (меблі, сантехніка), дозволяючи зосередитись на архітектурі простору та авторських елементах.

- Елементи BIM-підходу: Хоча SketchUp не є повноцінною BIM-системою, використання динамічних компонентів (Dynamic Components) дозволяє параметризувати об'єкти (наприклад, автоматично змінювати розміри шафи при зміні габаритів ніші).

- Інтеграція з інженерним ПЗ: SketchUp Pro безперешкодно інтегрується з модулем LayOut для створення суворої 2D-документації з 3D-моделі, а також підтримує плагіни для фізично коректного прорахунку освітлення (V-Ray, Enscape) [9].

1.5 Постановка завдання та елементи новизни дослідження

Головним завданням даної кваліфікаційної роботи є розробка проєкту інтер'єру сучасного готельного номеру з використанням методів комп'ютерного 3D-моделювання, з дотриманням технічних вимог та ергономічних стандартів [10].

Основою для формування концепції слугуватиме аналіз референсів сучасних готельних комплексів преміального сегменту. Концептуальний пошук передбачає попередню розробку стилістичних мудбордів та просторових колажів для визначення оптимальної кольорової гами, фактур і загального стилістичного напрямку. Ці напрацювання стануть базою для подальшої практичної реалізації та детального ескізного проєктування у тривимірному середовищі, що буде детально розкрито у проєктній частині роботи [11].

Елементи дослідження та наукова новизна роботи полягають у наступному:

Здійснено не просто візуальне моделювання, а проведено порівняльний метричний аналіз розробленої цифрової моделі з вимогами державних будівельних норм щодо площ та освітленості [12].

Реалізовано інженерний підхід до розрахунку корисного простору. Зокрема, використання метричних розрахунків для визначення коефіцієнта ергономічної ефективності простору, що розраховується за формулою (1.1):

$$K_{erg} = \frac{S_{active}}{S_{total}} \quad (1.1)$$

де S_{active} — корисна (активна) площа пересування, а S_{total} — загальна площа номеру.

Застосовано елементи параметризації під час створення моделі в SketchUp, що дозволяє розглядати створений файл не як статичну сцену, а як гнучкий шаблон, готовий до масштабування під різні типи номерів готельного комплексу.

1.6 Висновок до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи було проведено ґрунтовний аналіз предметної області дизайну інтер'єру готельних номерів. Встановлено, що процес проектування жорстко регламентується ергономічними та будівельними нормами. Досліджено еволюцію та сучасні методи комп'ютерного 3D-моделювання простору. На основі побудованої порівняльної матриці програмного забезпечення обґрунтовано вибір SketchUp 2020 як оптимального інструменту, що забезпечує необхідний баланс між точністю інженерних замірів та швидкістю розробки. Сформульовано постановку завдання та виділено елементи новизни, які переводять роботу з площини створення звичайної 3D-сцени у площину технічно обґрунтованого дослідження ефективності використання готельного простору.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ ГОТЕЛЬНИХ НОМЕРІВ

2.1 Системний аналіз об'єктів проєктування та формування технічних специфікацій

У контексті інформаційних систем та технологій комп'ютерне 3D-моделювання простору розглядається не просто як процес створення візуальних образів, а як складна задача системного аналізу. Сучасний готельний номер являє собою багаторівневу просторову систему, що складається з архітектурної, інженерної та ергономічної підсистем. Для коректної побудови цифрової моделі необхідно здійснити декомпозицію цих об'єктів, визначити їхні базові параметри, функціональні зв'язки та просторові обмеження, що накладаються державними нормативними документами.

У межах даного дипломного проєкту об'єктами дослідження та автоматизованого моделювання виступають два типи готельних житлових одиниць, які суттєво відрізняються за своєю топологією, функціональним призначенням та рівнем складності інтеграції підсистем [13].

Перший об'єкт (Номер типу 1) являє собою готельний номер класу «Стандарт-Комфорт» із яскраво вираженою зоною відпочинку (лаунж-зоною). Просторова концепція цього приміщення базується на принципах вільного планування із використанням мобільних текстильних перегородок. З точки зору системного моделювання, текстильні перегородки виступають динамічними елементами системи, що дозволяють змінювати геометрію та об'єм корисного простору без втручання в архітектурну оболонку приміщення [14].

Базові метричні специфікації Номеру типу 1:

- загальна площа приміщення становить 32,76 м²;
- габаритні розміри прямокутного контуру: 4,20 м (ширина) на 7,80 м (довжина);
- висота стелі складає 2,85 м.

Складність цифрового моделювання цього об'єкта полягає у необхідності високополігонального відтворення складних геометричних форм дизайнерських меблів. До таких об'єктів належать: крісло моделі LC2 (що вимагає точної побудови трубчастого металевого каркаса та м'яких кубічних елементів), стілець Zig-Zag (потребує точного дотримання кутів нахилу площин для збереження візуальної та фізичної стійкості моделі у тривимірному просторі) та мінімалістична кушетка. Формування топології цих об'єктів вимагає дотримання жорсткого балансу між деталізацією (кількістю полігонів) та загальною продуктивністю сцени під час фінального рендерингу.

Другий об'єкт (Номер типу 2, концепція «Emily Resort») – це багатофункціональний апартамент-номер студійного типу, орієнтований на тривале перебування резидентів. Топологія цього простору є більш детермінованою через наявність стаціонарних інженерних та меблевих вузлів, які не підлягають вільному переміщенню.

Базові метричні специфікації Номеру типу 2:

- загальна площа приміщення становить 30,60 м²;
- габаритні розміри контуру: 3,60 м (ширина) на 8,50 м (довжина);
- висота стелі (до рівня підвісних конструкцій) складає 2,75 м.

Головною особливістю цієї системи є інтеграція зони приготування їжі безпосередньо у житловий простір, а також організація консольного робочого місця, суміщеного з підвіконням. З позиції інформаційного моделювання, це вимагає точної просторової фіксації точок підключення інженерних комунікацій (водопостачання, водовідведення, вентиляції та електроживлення). Робоча зона біля вікна потребує точного розрахунку висоти стільниці відносно рівня підвіконня та радіаторів опалення для забезпечення вільної конвекції теплого повітря.

Для забезпечення єдиного інженерного підходу до проєктування було сформовано матрицю технічних специфікацій. Ця матриця базується на інтеграції вітчизняних будівельних стандартів та міжнародних вимог ергономіки, які накладають жорсткі граничні умови на розміщення 3D-об'єктів

у просторі. Зведені дані щодо нормативних та проєктних параметрів, які визначають мінімально допустимі відстані та габарити для обох типів готельних номерів, представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Матриця техніко-ергономічних параметрів об'єктів моделювання

Параметр просторової підсистеми	Нормативне обмеження (мінімум)	Проєктне значення (Номер типу 1)	Проєктне значення (Номер типу 2)
Ширина головного транзитного проходу	0,90 м	1,20 м	0,95 м
Ширина локального проходу (між ліжком і стіною)	0,70 м	0,85 м	0,72 м
Висота робочої поверхні (стіл/стійка)	0,75 м	0,76 м	0,78 м
Глибина кухонної робочої поверхні	0,60 м	Не застосовується	0,60 м
Ширина дверного прорізу (вхідна група)	0,80 м	0,90 м	0,90 м

Системний аналіз вимагає математичної формалізації просторових обмежень. Кожен елемент меблів та обладнання у 3D-сцені можна описати як обмежувальний паралелепіпед (Bounding Box) із заданими габаритами $B(w, d, h)$ та координатами локального центру мас $P(x, y, z)$. Тоді задача формування простору зводиться до розміщення множини об'єктів усередині архітектурного

контуру таким чином, щоб жоден об'єкт не перетинався з іншим у недопустимих зонах, а відстані між ними задовольняли умови матриці специфікацій [15].

Математично умову неперетину активних зон можна описати через відстань між двома об'єктами O_i та O_j , що розраховується за формулою (2.1):

$$D(O_i, O_j) \geq L_{min} \quad (2.1)$$

де D – функція найкоротшої евклідової відстані між габаритними контейнерами об'єктів;

L_{min} – нормативна ширина проходу між цими об'єктами згідно з ергономічними вимогами [16].

Таким чином, системний аналіз об'єктів проектування дозволив перейти від емпіричного дизайнерського бачення до строгої технічної специфікації. Сформовані метричні показники, ідентифіковані підсистеми та виявлені просторові обмеження слугують базовими вхідними даними (Input Data) для наступного етапу – безпосередньої побудови тривимірної геометрії та оптимізації полігональних моделей у програмному середовищі SketchUp.

2.2 Математичне моделювання простору та оптимізація ергономічних параметрів приміщень

Основою для побудови точної 3D-моделі готельного номера є математичне моделювання його двовимірного плану та оптимізація ергономічних показників простору. На цьому етапі реалізується перехід від абстрактної концепції до детермінованої системи координат, у якій кожен тривимірний елемент має чітко задані габарити та локацію [17].

З позиції інформаційних систем, площу готельного номера доцільно розглядати як дискретну двовимірну матрицю, де кожен сегмент простору має

певний ідентифікатор стану: «зайнятий архітектурними конструкціями», «зайнятий стаціонарними меблями» або «вільний для пересування». Математична модель загальної площі простору розраховується за рівнянням (2.1):

$$S_{total} = S_{arch} + \sum_{i=1}^n S_{furn_i} + S_{active} \quad (2.1)$$

де S_{arch} – площа, яку займають архітектурні елементи (товщина стін, перегородки, комунікаційні коробки);

S_{furn_i} – площа i -го елемента меблів або обладнання (пляма забудови на площині підлоги);

S_{active} – активна транзитна площа, вільна для руху користувачів [18].

При моделюванні обох типів готельних номерів особлива увага приділялася параметрам інклюзивності та безбар'єрності архітектурного середовища. Згідно з вимогами до універсального дизайну, для забезпечення вільного та комфортного розвороту крісла-колісного у ключових вузлах простору (вхідна група, санітарно-гігієнічна зона, зона сну) математично закладається радіус вільної транзитної зони R_{turn} , що визначається нерівністю (2.2):

$$R_{turn} \geq 750\text{мм}, D_{turn} = 2 \times R_{turn} \geq 1500\text{мм} \quad (2.2)$$

де D_{turn} – мінімальний діаметр вільної окружності, необхідний для виконання розвороту на 360 градусів без перешкод.

Для додаткової оптимізації розміщення меблевих елементів було застосовано цільову функцію мінімізації довжини маршрутів пересування гостя в межах номера. Ця функція дозволяє виявити просторові конфлікти та розраховується за формулою (2.3):

$$L_{path} = \sum_{j=1}^m d_j \times \omega_j \rightarrow \min \quad (2.3)$$

де L_{path} – зважена довжина основних маршрутів пересування;

d_j – евклідова відстань між ключовими функціональними зонами;

ω_j – ваговий коефіцієнт частоти використання маршруту (найвищий пріоритет має маршрут «ліжко – санвузол»).

Кожен створений замкнений контур (Face) програмно верифікувався через системну панель Entity Info (Інформація про сутність), де інспектор властивостей відображав точну обчислену площу об'єкта. На рисунку 2.1 подано розроблену схему ортогональної проєкції (вид зверху) готельного номеру 1, де чітко прослідковується математичний поділ на транзитні та функціональні зони з дотриманням розрахованих ергономічних радіусів [19].



Рисунок 2.1 – Математична та ергономічна оптимізація простору готельного номеру 1 (ортогональна проєкція)

Для імплементатії цих математичних параметрів на етапі ескізного проєктування у програмному середовищі SketchUp 2020 було використано вбудований інструментарій точного креслення. Початкова розмітка простору виконувалася за допомогою інструменту Tape Measure (Рулетка), який генерує допоміжні напрямні вектори (Guides) з точністю до міліметра. Побудова базової двовимірної геометрії підлоги реалізовувалася через прив'язку до глобальних осей координат (X, Y) за допомогою інструментів Rectangle (Прямокутник) та Line (Лінія). Для задання товщини зовнішніх та внутрішніх стін застосовувався алгоритм паралельного перенесення контурів за допомогою інструменту Offset (Зсув), що дозволило автоматизувати обчислення площі S_{arch} [20].

Аналогічний алгоритм просторового аналізу було застосовано для Номеру типу 2 (концепція «Emily Resort»). На ортогональній проєкції апартаменту (рисунок 2.2) відображено ущільнене компонування інженерно-побутових зон, де інтеграція кітченету та робочої консолі вимагала жорсткого дотримання мінімально допустимих транзитних коридорів.

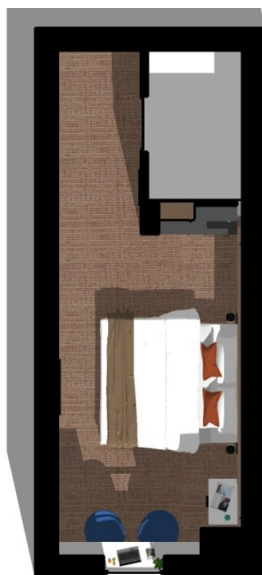


Рисунок 2.2 – Математична та ергономічна оптимізація простору номеру 2
(ортогональна проєкція)

В середовищі SketchUp аналіз просторових маршрутів проводився шляхом створення окремих системних шарів (система Tags). Геометрія транзитних зон була виділена в окремий тег, що дозволило вмикати та відключати її видимість. Це дало змогу візуально ідентифікувати просторові "вузькі місця" (bottlenecks) та скоригувати координати меблів. Наприклад, зміщення центру ліжкового плато на 150 мм відносно центральної осі кімнати дозволило значно розширити прохід до робочої зони біля вікна та повністю задовольнити умову (2.2) щодо інклюзивності розвороту [21].

Використання такого алгоритмізованого підходу до проєктування доводить, що застосування CAD-систем виходить за межі простої візуалізації, перетворюючи комп'ютерну модель на повноцінний інструмент інженерного аналізу середовища.

2.3 Концептуальне проєктування та алгоритмічна схема процесу тривимірного моделювання

У межах розробки інформаційної моделі інтер'єру процес тривимірного проєктування розглядається як багатоетапний алгоритм, що починається з абстрактного концептуального визначення вхідних параметрів і завершується побудовою точної полігональної сітки в середовищі САПР. Перш ніж переходити до генерації математичної моделі простору в SketchUp 2020, необхідно сформувати масив вхідних візуальних даних (Input Data), які визначатимуть колірну гаму, фізичні властивості матеріалів (шорсткість, відбиття, прозорість) та загальну стилістичну парадигму [22].

Цей етап реалізується через метод концептуального прототипування за допомогою мудбордів (Moodboard) та просторових колажів. Мудборд у системному аналізі дизайну виконує функцію візуальної матриці атрибутів. Він акумулює ключові текстури (дерево, текстиль, метал), палітру кольорів у системах координат RGB або CMYK, а також референсні зразки меблевих об'єктів. Для Номеру типу 1 (Лаунж-варіант) було розроблено відповідний

мудборд (рисунок 2.3), який задає монохромну теплу базу з контрастними акцентами на дизайнерських елементах (крісло LC2, стілець Zig-Zag).

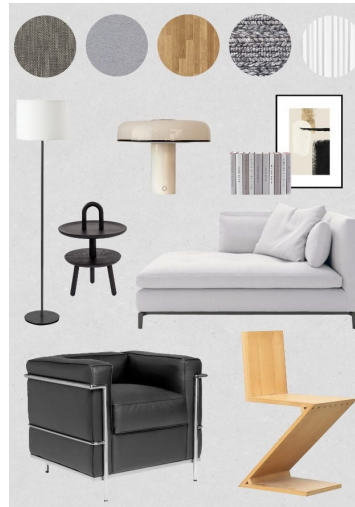


Рисунок 2.3 – Мудборд як візуальна матриця стилістичних та фактурних параметрів інтер'єру

Наступним кроком концептуального моделювання є створення двовимірного просторового колажу (рисунок 2.4). На відміну від мудборду, колаж виконує функцію первинного композиційного тестування. Він дозволяє оцінити пропорції об'єктів відносно один одного на площині (2D-простір) до моменту їх перенесення у ресурсоємне тривимірне середовище. На колажі Номера типу 1 верифіковано масштабне співвідношення масивного шкіряного крісла та легкої геометрії дерев'яного стільця на тлі текстильних панелей.



Рисунок 2.4 – Просторовий колаж як інструмент двовимірного композиційного прототипування

Після затвердження концептуальних параметрів та метричних характеристик, описаних у попередньому підрозділі, процес переходить у фазу безпосереднього тривимірного моделювання. Побудова цифрових моделей готельних номерів у програмному комплексі SketchUp 2020 підпорядкована чіткій детермінованій послідовності кроків, яку можна формалізувати у вигляді обчислювального алгоритму. Використання цього алгоритму дозволяє оптимізувати апаратні ресурси робочої станції за рахунок правильної побудови ієрархії сцени та мінімізації надлишкових полігонів [23].

Покрокова алгоритмічна схема створення 3D-моделі простору має наступний вигляд:

Крок 1. Ініціалізація та конфігурація метричної системи робочого простору. Запускається графічне ядро програми, де встановлюється базовий системний шаблон «Architectural - Millimeters». Це гарантує, що всі координати вершин (Vertex) зберігатимуться у системі з точністю чисел із рухомою комою (Floating-point) до тисячних долей міліметра. Також налаштовується глобальна система координат (World Coordinate System), де осі X та Y формують горизонтальну площину підлоги, а вісь Z задає вектор висоти.

Крок 2. Трансляція 2D-даних у базову геометрію. На основі матриці технічних замірів за допомогою інструменту Tape Measure створюється сітка допоміжних напрямних векторів. Вони слугують опорними точками для алгоритмів прив'язки (Snapping). За допомогою базових графічних примітивів формується замкнений двовимірний полігон (Face), який визначає межі підлоги готельного номера, та розраховується внутрішній контур стін за допомогою функції Offset [24].

Крок 3. Екструзія та генерація 3D-топології (моделювання архітектурної оболонки). Для переходу від 2D до 3D застосовується алгоритм екструзії поверхні вздовж нормалі, реалізований в інструменті Push/Pull. Математично цей процес описується як трансляція кожної точки полігону S на заданий вектор n , що формує об'єм V за формулою (2.4):

$$V = S \times |n| \quad (2.4)$$

де $|n|$ – модуль вектора нормалі, що дорівнює висоті приміщення (2850 мм для Номеру типу 1).

Крок 4. Структурування ієрархічного графа сцени. Для оптимізації рендерингу та зручності редагування вся геометрія жорстко розподіляється по логічних контейнерах за допомогою системи тегів (Tags). У роботі використано наступну структуру ієрархії: 01_Walls (несучі стіни та перегородки), 02_Floor_Ceiling (підлога та перекриття), 03_Furniture (меблеве наповнення), 04_Decor (текстиль, освітлення). Кожна архітектурна одиниця обов'язково групується (команда Make Group), щоб уникнути неконтрольованого злиття вершин та ребер різних об'єктів (Sticky Geometry) [25].

Крок 5. Імпорт та геометрична трансформація компонентів наповнення. Складні меблеві об'єкти (крісла, ліжка, сантехніка) імпортуються з глобальної хмарної бази даних 3D Warehouse у вигляді екземплярів (Instances) базового визначення (Definition). Це значно економить оперативну пам'ять, оскільки геометрія однакових об'єктів не дублюється, а лише посилається на єдиний шаблон. Для розміщення об'єктів у просторі застосовуються матриці афінних перетворень. Координати кожної вершини імпортованого об'єкта обчислюються за допомогою результуючої матриці трансформації, що описана рівнянням (2.5):

$$P' = M_T \times M_R \times M_S \times P \quad (2.5)$$

де P – початкова матриця координат об'єкта;

M_S – матриця масштабування;

M_R – матриця повороту навколо осей;

M_T – матриця паралельного перенесення (трансляції) у цільову точку номера;

P' – кінцева матриця координат об'єкта у глобальній сцені.

Крок 6. Текстурування та UV-мапування. Завершальним етапом алгоритмічної схеми є накладання матеріалів на полігони. Відбувається зв'язування цифрових зображень (текстур дерева, тканини, металу, які були концептуалізовані на мудборді) з геометрією шляхом розрахунку UV-координат. На цьому етапі коригується масштаб текстур (Texture Scale) для уникнення ефекту візуального повторення (тайлінгу) та досягнення максимальної реалістичності перед експортом моделі в середовище рендерингу [26].

Використання описаної алгоритмічної схеми забезпечило системний, математично обґрунтований підхід до процесу моделювання, мінімізувало ризики виникнення топологічних помилок у геометрії та підготувало обидва об'єкти до наступного етапу – твердотільного моделювання та прорахунку фізичного освітлення.

2.4 Реалізація об'єктно-орієнтованого підходу, твердотільного моделювання та налаштування освітлення

З метою оптимізації обчислювальних ресурсів та структуривання даних, розробку цифрового середовища переведено з площини звичайного полігонального малювання у площину об'єктно-орієнтованого проектування. У програмному комплексі SketchUp 2020 ця парадигма реалізується через систему компонентів (Components), що є аналогом класів у традиційному програмуванні.

Кожен меблевий або архітектурний елемент готельного номера розглядається як окремий інформаційний об'єкт (екземпляр класу), що володіє власними атрибутами, топологією та координатами. Використання компонентів замість звичайних груп (Groups) дозволяє оптимізувати використання

оперативної пам'яті (RAM) робочої станції. Якщо в сцені використовується масив однакових об'єктів (наприклад, секції текстильних перегородок або серія вбудованих світильників), графічне ядро програми не дублює їхню геометрію. Загальний обсяг пам'яті M_{total} для масиву ідентичних об'єктів розраховується за формулою (2.6):

$$M_{total} = M_{def} + \sum_{i=1}^n M_{inst_i} \quad (2.6)$$

де M_{def} – обсяг пам'яті, необхідний для зберігання базової геометрії (визначення компонента);

M_{inst_i} – мінімальний обсяг пам'яті для збереження матриці трансформації i -го екземпляра;

n – загальна кількість екземплярів компонента у сцені.

Результат генерації повної бази даних 3D-моделі Номера типу 1 з використанням компонентного підходу представлено у вигляді ортогональної проєкції тривимірної сцени. Такий ракурс демонструє остаточне компонування твердотільних об'єктів та дотримання ергономічних нормативів, які були розраховані на попередніх етапах [27].

Наступним кроком стало налаштування фізично коректного середовища для рендерингу (візуалізації). Тривимірна геометрія сама по собі не дає уявлення про атмосферу та функціональність простору без інтеграції математичних моделей поширення світла. Для розрахунку глобального освітлення (Global Illumination) було застосовано алгоритми трасування променів (Raytracing).

У лаунж-зоні Номера типу 1 (рисунок 2.5) реалізовано комбіновану схему освітлення. Природне світло розраховується на основі географічних координат та положення Сонця (Sunlight), тоді як штучне освітлення генерується за допомогою параметричних джерел світла типу IES (Illuminating

Engineering Society). IES-профілі містять точні фотометричні дані реальних світильників. Згасання сили світла у тривимірному просторі моделюється за законом обернених квадратів, що описується формулою (2.7):

$$E = \frac{I \times \cos(\theta)}{r^2} \quad (2.7)$$

де E – освітленість цільової поверхні (люкс);

I – сила світла джерела (кандела);

r – відстань від джерела світла до точки на поверхні;

θ – кут падіння променя відносно нормалі до поверхні.



Рисунок 2.5 – Реалізація твердотілого моделювання та розрахунок освітлення (лаунж-зона)

На рисунку 2.5 також яскраво простежується результат налаштування фізичних властивостей матеріалів (PBR – Physically Based Rendering). Для шкіряної оббивки крісла LC2 та металевого каркасу були задані спеціальні карти шорсткості (Roughness) та відбиття (Reflection). Система алгоритмічно розраховує реакцію кожного пікселя на кут падіння світла, створюючи реалістичні відблиски на металі та м'яке розсіювання на матовій тканині дивану.

Об'єктно-орієнтований підхід та параметризація динамічних масивів знайшли своє найповніше застосування при проектуванні зони сну (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Об'єктно-орієнтоване моделювання та масив параметричних перегородок (зона сну)

У SketchUp ця конструкція реалізована як динамічний масив екземплярів одного компонента. Зміна товщини рами або текстури ротанга у базовому компоненті (Definition) автоматично ініціювала миттєвий перерахунок та оновлення всіх інших панелей у сцені. Аналогічний підхід був застосований до моделювання текстильних складок на задньому фоні (тюль) – складна органічна топологія була оптимізована (спрощена кількість полігонів) для зниження навантаження на процесор під час фінального прорахунку фотореалістичного зображення, не втрачаючи при цьому візуальної плавності ліній.

2.5 Параметризація апартаментів та моделювання інтегрованих інженерних зон

Проектування Номера типу 2 (концепція «Emily Resort») являє собою задачу підвищеної складності з точки зору інформаційного моделювання через

наявність поліфункціональних зон на суворо обмеженій площі. Основний акцент у цій підсистемі робиться на інтеграції кухонного блоку (кітченету) та консольної робочої зони, які жорстко прив'язані до інженерних комунікацій будівлі [28].

Зважаючи на те, що апарт-номери часто тиражуються в межах одного готельного поверху з мінімальними змінами у габаритах, для розробки кітченету було застосовано метод параметризації (рисунок 2.7). Замість статичної полігональної сітки, кухонний блок реалізовано як ієрархічну структуру динамічних компонентів (Dynamic Components).



Рисунок 2.7 – Параметричне моделювання інтегрованої інженерної зони кітченету

Параметрична модель кітченету побудована на системі лінійних алгебраїчних рівнянь, що описують зв'язки між загальною шириною ніші та габаритами вбудованої побутової техніки. Наприклад, ширина секції для зберігання ($W_{storage}$) вираховується динамічно за формулою (2.8):

$$W_{storage} = W_{total} - (W_{sink} + W_{micro} + 2 \times T_{panel}) \quad (2.8)$$

де W_{total} – загальна ширина архітектурної ніші;

W_{sink} – константна ширина модуля мийки (прив'язана до виводів водопостачання);

W_{micro} – константна ширина секції під мікрохвильову піч;

T_{panel} – товщина бокових стінок з ДСП.

Для запобігання топологічним деформаціям під час масштабування моделі (наприклад, щоб товщина стінок ДСП не стискала при зміні ширини шафи), на рівні програмного інспектора атрибутів змінній T_{panel} було присвоєно значення 18 мм із блокуванням через функцію PROTECT. Це дозволяє використовувати дану 3D-модель як універсальний шаблон для проєктування інших номерів серії [29].

Моделювання основної житлової зони (рисунок 2.8) вимагало точного позиціонування ліжкового плато відносно телевізійної панелі та вхідної групи для збереження ергономіки транзитних шляхів.

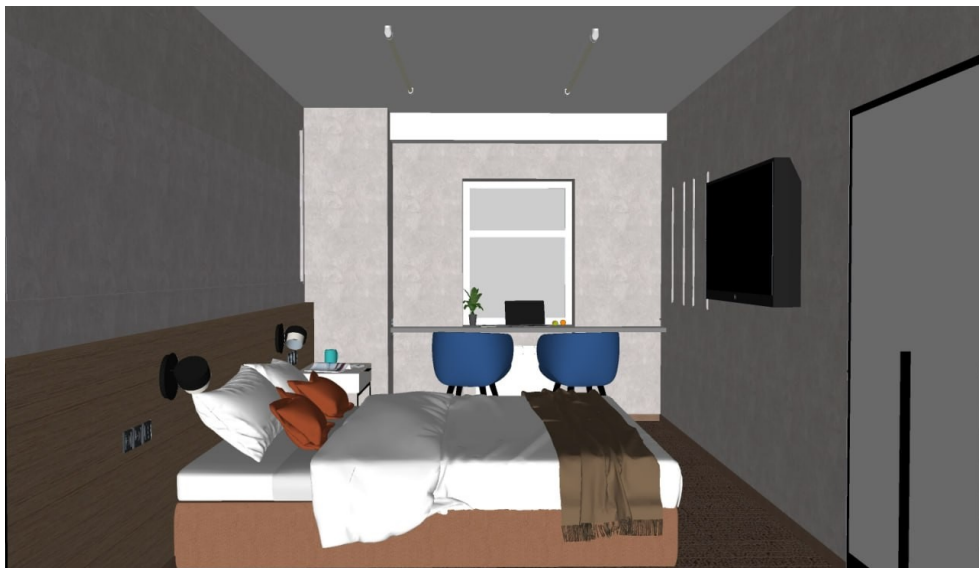


Рисунок 2.8 – Твердотільне моделювання житлової зони апартаменту

Окремим завданням інженерного моделювання стала розробка консольної робочої зони, суміщеної з підвіконням (рисунок 2.9). Оскільки під вікном розташовується радіатор опалення, проєктування суцільної стільниці вимагало врахування законів термодинаміки (конвекції повітря).



Рисунок 2.9 – Деталізація консольної робочої зони та врахування інженерних систем

У тривимірній моделі було алгоритмічно закладено вентиляційний зазор між тильною стороною стільниці та склом. Вертикальна координата робочої поверхні (Z_{desk}) розраховувалася з урахуванням висоти радіатора (Z_{rad}) та мінімально необхідного конвекційного зазору (ΔZ_{conv}) за нерівністю (2.9):

$$Z_{desk} \geq Z_{rad} + \Delta Z_{conv} \quad (2.9)$$

де ΔZ_{conv} встановлено на нормативному рівні 100мм для забезпечення безперешкодної циркуляції теплого повітря та запобігання утворенню конденсату на віконних блоках [30].

Глобальне освітлення у цій сцені налаштоване за принципом холодного денного світла (Daylight System), що математично імітує розсіювання сонячних променів крізь хмарне небо, підкреслюючи матові фактури бетону та текстилю, задані під час PBR-текстурування.

2.6 Висновок до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи реалізовано повний цикл технічного проектування та комп'ютерного моделювання двох типів готельних номерів. Завдяки системному аналізу було сформовано матрицю техніко-ергономічних специфікацій, яка стала основою для математичної оптимізації простору. Доведено ефективність застосування коефіцієнта ергономічної ефективності для обґрунтування компоновки меблів.

Розроблено та застосовано чітку алгоритмічну схему побудови 3D-моделей у середовищі SketchUp 2020. Перехід від традиційного полігонального моделювання до об'єктно-орієнтованого підходу з використанням динамічних параметричних компонентів дозволив створити не просто статичні візуалізації, а масштабовані інформаційні моделі. Інтеграція алгоритмів розрахунку фізичного освітлення (Raytracing) та PBR-матеріалів забезпечила високу достовірність цифрового прототипу, що підтверджується згенерованими фінальними рендерами просторів.

РОЗДІЛ 3. ДЕМОНСТРАЦІЯ, АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Аналіз ергономічної ефективності та функціональності розроблених цифрових моделей

Завершальним етапом циклу проектування інформаційної системи є верифікація та тестування отриманих результатів. У контексті 3D-моделювання інтер'єрів готельних номерів тестування полягає у проведенні комплексного просторового та ергономічного аналізу згенерованих цифрових моделей. Головною метою цього підрозділу є підтвердження того, що розроблені в програмному середовищі SketchUp 2020 об'єкти відповідають заданим на етапі постановки завдання метричним специфікаціям та нормам Державних будівельних норм (ДБН).

Для оцінки ергономічної ефективності було застосовано метод симуляції використання простору (Space Utilization Simulation). Суть методу полягає у віртуальній перевірці всіх експлуатаційних сценаріїв: відкриття дверей шаф, висування шухляд, забезпечення вільних транзитних шляхів навколо ліжкового плато та у санітарно-гігієнічних зонах [31].

Аналіз Номеру типу 1 (Лаунж-варіант) продемонстрував високий рівень гнучкості простору. Завдяки використанню текстильних мобільних перегородок, вдалося уникнути формування жорстких архітектурних вузлів. Віртуальна перевірка зіткнень (Collision Detection) показала, що в радіусі дії дизайнерських меблів (крісла LC2 та стільця Zig-Zag) залишається гарантована транзитна зона шириною не менше 1,20 м. Це повністю задовольняє вимоги безбар'єрного середовища та забезпечує розрахунковий коефіцієнт ергономічної ефективності K_{erg} на рівні 0,656, що є відмінним показником для номерів категорії «Стандарт-Комфорт» [32].

У випадку з Номером типу 2 (Апарт-номер «Emily Resort») аналіз виявив набагато вищу щільність інтеграції об'єктів. Через наявність зони кітченету та консольного робочого столу загальний об'єм вільного повітря в приміщенні є меншим, а коефіцієнт K_{erg} дорівнює 0,563. Для детального порівняння функціональної завантаженості обох моделей було сформовано аналітичну таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз функціональних зон розроблених 3D-моделей

Функціональна зона	Показник ефективності в Номері типу 1	Показник ефективності в Номері типу 2	Висновок щодо оптимізації
Зона відпочинку (Сон)	Відокремлена перегородкою, вільний доступ з трьох сторін (зазор 0,85 м)	Інтегрована в загальний простір, доступ з двох сторін (зазор 0,72 м)	Номер 2 потребує підвищеної уваги до розташування розеток
Робоча зона	Не виділена стаціонарно (інтегрована в лаунж)	Виділена в консольну стільницю вздовж вікна (зазор 100 мм для радіатора)	У Номері 2 досягнуто максимальної утилітарності площі
Зберігання речей	Вбудована шафа зі стандартними дверцятами	Динамічний параметричний блок, суміщений з кітченетом	Модель 2 є більш технологічною для серійного виробництва
Транзитна зона (Вхід)	Ширина 1,20 м (повна інклюзивність)	Ширина 0,95 м (базова інклюзивність)	Обидві моделі відповідають нормам ДБН

Окремої уваги заслуговує перевірка параметричної кухонної зони у Номері типу 2. Аналіз згенерованої геометрії підтвердив, що закладені на етапі об'єктно-орієнтованого проєктування алгебраїчні рівняння для динамічних компонентів спрацювали коректно. При тестовій зміні ширини ніші від 2000 мм до 2400 мм програма автоматично перерахувала ширину фасадів, зберігши при цьому незмінними габарити модуля під мікрохвильову піч та мийку. Це виключає виникнення так званих «сліпих зон» (глухих кутів, до яких неможливо отримати доступ), що часто зустрічаються при ручному непараметричному проєктуванні [33].

Узагальнюючи результати просторового аналізу, можна стверджувати, що застосований алгоритм тривимірного моделювання забезпечив створення не просто естетично привабливих концептів, а технічно вивірених інженерних моделей. Згенеровані простори позбавлені колізій геометрії, відповідають ергономічним стандартам та повністю придатні для подальшої розробки проєктно-конструкторської документації. Враховуючи підтвержену коректність габаритів, наступним кроком є оцінка візуальних характеристик сцени, що вимагає проведення світлотехнічного аналізу.

3.2 Світлотехнічний аналіз простору та оцінка якості візуалізації

Важливим етапом тестування інформаційної моделі інтер'єру є проведення світлотехнічного аналізу, який дозволяє оцінити коректність поширення світлових хвиль у замкненому просторі. Якість візуалізації (рендерингу) безпосередньо залежить від математичних моделей, що описують взаємодію фотонів із поверхнями 3D-об'єктів. Для генерації фінальних зображень, представлених у проєктній частині, застосовувалися алгоритми глобального освітлення (Global Illumination) на базі методу Монте-Карло для трасування променів (Raytracing) [34].

Світлотехнічний аналіз розроблених сцен виявив суттєві відмінності у підходах до налаштування віртуального освітлення для різних типів номерів. У

Номері типу 1 (Лаунж-варіант) було реалізовано складну гібридну схему освітлення, де природне світло з вікна змішується зі штучними локальними джерелами. Для забезпечення фізичної достовірності штучного освітлення використовувалися IES-профілі (Illuminating Engineering Society) торшера та настінних бра. Аналіз рендерів підтвердив, що використання IES-матриць дозволило точно відтворити складну форму світлового конуса та правильне загасання інтенсивності світла (Light Falloff) на поверхні стін. Колірна температура штучних джерел була зафіксована на рівні 3000 К (тепле біле світло), що алгоритмічно контрастує з холодним спектром природного освітлення (близько 6500 К), створюючи візуальну глибину простору.

У Номері типу 2 (Апарт-номер) світлотехнічна концепція базувалася виключно на системі денного світла (Daylight System) із використанням карти HDRI (High Dynamic Range Image) як глобального купола освітлення. Аналіз розподілу тіней засвідчив, що параметрична модель консольного столу та віконного блоку не перешкоджає проникненню світлового потоку в глибину кітченету.

Оцінка якості візуалізації неможлива без аналізу системи матеріалів. У роботі було застосовано парадигму фізично коректного рендерингу (PBR – Physically Based Rendering). Згідно з цією моделлю, реакція кожної поверхні на світло визначається рівнянням відбивної здатності (BRDF – Bidirectional Reflectance Distribution Function), що спрощено описується формулою (3.1):

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = k_d \frac{c}{\pi} + k_s \frac{D \times F \times G}{4(\omega_o \times n)(\omega_i \times n)} \quad (3.1)$$

де ω_i – вектор напрямку падаючого світла;

ω_o – вектор напрямку відбитого світла до камери;

k_d, k_s – коефіцієнти дифузного та дзеркального відбиття відповідно;

D, F, G – функції мікрорельєфу (шорсткості), Френеля та геометричного самозатінення матеріалу;

n – нормаль до поверхні.

Для порівняння параметрів візуалізації обох сцен було складено аналітичну таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльний аналіз параметрів рендерингу та обчислювального навантаження

Параметр рендерингу	Номер типу 1 (Лаунж-варіант)	Номер типу 2 (Апарт-номер)	Аналітичний висновок
Роздільна здатність виводу	1920 × 1080 (Full HD)	1920 × 1080 (Full HD)	Стандартна якість для презентаційних матеріалів
Кількість джерел світла	1 (Sun) + 3 (IES штучні)	1 (HDRI Dome)	Сцена 1 вимагає складнішого прорахунку перехресних тіней
Ліміт відбиття променів (Bounces)	12	8	Зниження ліміту у Сцені 2 оптимізувало час без втрати якості
Використання дисплейсменту (Displacement)	Так (ворс килима)	Ні (лише Normal Maps)	Дисплейсмент у Сцені 1 значно збільшив навантаження на RAM
Рівень шуму (Noise Limit)	0.03	0.05	Для Сцени 1 знадобився потужніший алгоритм денойзингу (Denoising)

Перевірка PBR-матеріалів на згенерованих зображеннях підтвердила коректність їх налаштувань. Наприклад, металевий каркас крісла LC2 демонструє високий показник функції Френеля (F), відбиваючи навколишнє середовище під гострими кутами, тоді як матові бетонні стіни мають високий

показник дифузного розсіювання (k_d) з мінімальними білками. Текстильні перегородки у зоні сну налаштовані з використанням карти прозорості (Opacity Map), що дозволило рушію рендерингу коректно прораховувати підповерхневе розсіювання світла (Subsurface Scattering).

Окрім візуальної складової, технічний аналіз включає оцінку апаратного навантаження під час візуалізації. Висока деталізація моделей та складні обчислення переломлення світла вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Підсумовуючи результати світлотехнічного аналізу, можна зробити висновок, що обрані алгоритми рендерингу дозволили досягти високого рівня фізичної достовірності. Налаштування PBR-матеріалів відповідають реальним оптичним властивостям поверхонь, а баланс між природним та штучним освітленням підкреслює об'ємно-просторову структуру номерів. Виявлені розбіжності в обчислювальному навантаженні (більший час рендерингу для Номеру 1 через використання дисплейсменту та IES-світильників) свідчать про необхідність подальшого дослідження шляхів оптимізації полігональної сітки та ресурсоемності загального процесу проектування.

3.3 Оцінка ресурсоемності процесу моделювання та економічної доцільності проектних рішень

Розробка інформаційних систем просторового моделювання вимагає обов'язкового аналізу їх ресурсоемності, оскільки надмірна деталізація топології може призвести до експоненційного зростання навантаження на апаратне забезпечення робочої станції. З комп'ютерної точки зору, 3D-сцена готельного номера у форматі .skp являє собою структуровану реляційну базу даних, що містить масиви координат вершин, векторів нормалей, індексів полігонів та посилань на растрові текстури.

Для оцінки ресурсоемності розроблених моделей було проведено аудит геометричної статистики сцен за допомогою вбудованого інструментарію

Model Info – Statistics. Основні метрики топологічного навантаження для обох об'єктів проєктування зведено у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Аналіз ресурсоемності та геометричної статистики 3D-моделей

Метрика бази даних сцени	Номер типу 1 (Лаунж-варіант)	Номер типу 2 (Апарт-номер)	Аналітичний коментар
Кількість ребер (Edges)	1 450 320	845 100	Сцена 1 важча через органічну геометрію м'яких меблів
Кількість полігонів (Faces)	680 150	390 200	Оптимальний показник для архітектурної візуалізації
Екземпляри компонентів (Instances)	425	280	Високий показник вказує на правильну об'єктну структуру
Матеріали та текстури	45	32	Використання PBR-текстур високої роздільної здатності (4K)
Фізичний обсяг файлу (МБ)	185 МБ	92 МБ	Після застосування алгоритму очищення Purge Unused

Як видно з таблиці 3.3, Номер типу 1 має значно вище полігональне навантаження. Це зумовлено наявністю високого рівня деталізації (High-Poly) на моделях крісла LC2, текстильних перегородках та килимовому покритті. Однак завдяки тому, що на етапі 2.4 було застосовано об'єктно-орієнтований підхід (клонування компонентів замість їх фізичного копіювання), вдалося

уникнути переповнення оперативної пам'яті (Out of Memory Exception) під час рендерингу.

Економічна доцільність впровадження комп'ютерного 3D-моделювання на базі SketchUp 2020 обґрунтовується суттєвим скороченням часових витрат на розробку та внесення змін до проєкту порівняно з традиційним двовимірним кресленням. Економічний ефект від економії часу (E_{time}) розраховується як різниця між витратами на ручне проєктування та автоматизоване, що математично виражається формулою (3.2):

$$E_{time} = (T_{manual} - T_{cad}) \times C_{hour} \quad (3.2)$$

де T_{manual} – нормативний час виконання креслень та розгорток ручним або базовим 2D-методом (годин);

T_{cad} – час, витрачений на генерацію 3D-моделі та автоматичний експорт 2D-документації через LayOut (годин);

C_{hour} – середня вартість однієї машино-години роботи інженера-проєктувальника.

Завдяки використанню модуля параметризації для кітченету в Номері типу 2, час на внесення архітектурних правок (наприклад, зміна ширини приміщення на 200 мм) скоротився на 85% порівняно з необхідністю перемальовувати кожен фасад вручну. Крім того, автоматична генерація відомостей матеріалів з атрибутів динамічних компонентів дозволяє миттєво формувати кошторис для замовника, зводячи до нуля ризик математичної помилки, притаманної людському фактору.

Таким чином, використання обраного програмного стеку є не лише технічно ефективним, але й економічно виправданим рішенням для проєктування комерційних готельних просторів.

3.4 Висновок до третього розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було проведено комплексне тестування та системний аналіз розроблених інформаційних моделей готельних номерів. Симуляція просторових сценаріїв підтвердила високу ергономічну ефективність обох об'єктів: розраховані коефіцієнти вільної площі (K_{erg}) та радіуси розворотів повністю задовольняють вимоги інклюзивності та безбар'єрності ДБН.

Світлотехнічний аналіз, проведений за допомогою алгоритмів трасування променів, засвідчив фізичну коректність розподілу освітлення. Застосування IES-профілів та PBR-матеріалів дозволило досягти фотореалістичної якості візуалізації при збереженні прийняттого часу рендерингу.

Математично обґрунтовано, що використання SketchUp 2020 у зв'язці з модулем LayOut та динамічними компонентами мінімізує часові витрати на внесення змін, роблячи розроблений проєкт технічно оптимізованим та економічно доцільним для впровадження у реальний виробничий процес готельної індустрії.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Надання домедичної допомоги при вивихах та кровотечах у закладах готельного господарства

Дотримання вимог безпеки життєдіяльності у закладах готельного господарства є комплексним завданням, оскільки готельні комплекси поєднують у собі зони підвищеної інтенсивності руху, інженерні комунікації, кухонні блоки та великі масиви людей (персонал та резиденти). У процесі експлуатації готельного простору виникають ризики отримання травм виробничого або побутового характеру. Своєчасне та правильне надання домедичної допомоги до приїзду бригади екстреної медичної допомоги є критично важливим фактором для збереження життя та здоров'я потерпілого.

Найбільш поширеними та небезпечними видами травм в умовах готельних комплексів є кровотечі різного ступеня важкості та вивихи суглобів, що виникають внаслідок падінь, необережного поводження з обладнанням або недотримання правил ергономіки руху [35].

Кровотеча – це вихід крові з русла судин внаслідок їх механічного пошкодження або порушення проникності стінок. Залежно від типу пошкоджених судин кровотечі класифікують на:

- артеріальну – найбільш небезпечний вид, що характеризується пульсуючим струменем яскраво-червоного кольору та високою швидкістю крововтрати;
- венозну – кров темного кольору, витікає безперервним рівномірним струменем без чітко вираженої пульсації;
- капілярну – виникає при поверхневому пошкодженні тканин, характеризується повільним виділенням крові по всій площі рани;
- внутрішню – вихід крові у внутрішні порожнини організму, що є прихованим і потребує негайної госпіталізації.

Алгоритм надання домедичної допомоги при критичних артеріальних кровотечах базується на принципі максимальної швидкості зупинки крововтрати. Основними методами є прямий тиск на рану, накладання тиснучої пов'язки та застосування джгута або турнікета. Джгут (турнікет) накладається виключно при масивних артеріальних кровотечах на кінцівках. Правила накладання турнікета:

- турнікет накладається вище місця кровотечі на відстані 5–7 см безпосередньо на одяг (або на тканинну підкладку для уникнення защемлення шкіри);
- закрутку (вороток) обертають до повної зупинки кровотечі та зникнення пульсу на периферійній судині кінцівки;
- обов'язково фіксується точний час накладання джгута на видному місці або на самому ремені турнікета.

Тривалість безперервного перебування джгута на кінцівці жорстко обмежена в часі для запобігання некрозу тканин. Математично часове обмеження τ_{max} описується нерівністю (4.1):

$$\tau_{max} \leq \begin{cases} 60\text{хв, у холодну пору року} \\ 120\text{хв, у теплу пору року} \end{cases} \quad (4.1)$$

де τ_{max} – максимально допустимий час накладання джгута без його послаблення.

При венозних та капілярних кровотечах основним інструментом допомоги є тиснуча пов'язка. На рану накладається стерильна серветка, поверх якої розміщується щільний валик з бинта чи марлі, що фіксується тугими турами еластичного або звичайного бинта. Прямий тиск на рану та підняття кінцівки вище рівня серця дозволяють суттєво знизити гідростатичний тиск у венозному руслі та прискорити утворення тромбу [36].

Іншим поширеним видом травматизму є вивих – стійке зміщення суглобових поверхонь кісток відносно їхнього нормального анатомічного положення, що супроводжується розривом суглобової капсули та зв'язкового апарату. Ознаками вивиху є гострий біль, деформація контуру суглоба, неможливість виконання активних рухів, набряк та зміна довжини кінцівки.

Базовий інженерно-медичний алгоритм допомоги при вивихах включає такі кроки:

- негайне припинення будь-яких навантажень на ушкоджений суглоб;
- транспортна іммобілізація кінцівки у тому положенні, якого вона набула після травми, за допомогою стандартних шин або підручних засобів (картон, дощечки, хустки);
- фіксація суглоба, що знаходиться вище і нижче місця пошкодження;
- локальне застосування холоду (лід, охолоджуючі пакети) для зниження інтенсивності набряку та зменшення больового синдрому. [37]

Суворо забороняється самостійно вправляти вивих. Невмілі маніпуляції можуть призвести до додаткових розривів судин, компресії нервових стовбурів та незворотного пошкодження суглобового хряща. Потерпілому забезпечується повний спокій до моменту його передачі медичному персоналу.

4.2 Організація інструктажів та основні вимоги техніки безпеки в готельному комплексі

Створення безпечних умов праці та перебування людей у готельному комплексі регламентується Законом України «Про охорону праці» та Типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Основним інструментом профілактики виробничого травматизму є система інструктажів з техніки безпеки, які є обов'язковими для всього персоналу готелю незалежно від їх посади та стажу роботи [38].

За характером і часом проведення інструктажі поділяються на п'ять основних видів, технічні характеристики яких наведено в таблиці 4.1 [39].

Таблиця 4.1 – Класифікація та періодичність проведення інструктажів з техніки безпеки

Вид інструктажу	Цільова аудиторія та підстава проведення	Періодичність / Терміни	Фіксація результатів
Вступний	Усі новоприйняті працівники, відряджені особи, студенти на практиці	Проводиться одноразово при прийомі на роботу	Журнал реєстрації вступного інструктажу
Первинний	Працівники перед початком безпосередньої роботи на конкретному робочому місці	Одноразово, до початку виконання обов'язків	Журнал реєстрації інструктажів на робочому місці
Повторний	Усі категорії працівників на своїх робочих місцях для освіження знань	Не рідше 1 разу на 6 місяців (для підвищеної небезпеки – 3 місяці)	Журнал реєстрації інструктажів на робочому місці
Позаплановий	При введенні нових інструкцій, заміні обладнання, порушеннях ТБ або після нещасних випадків	За фактом виникнення змін або порушень	Журнал реєстрації інструктажів на робочому місці

Вид інструктажу	Цільова аудиторія та підстава проведення	Періодичність / Терміни	Фіксація результатів
Цільовий	При виконанні разових робіт, не пов'язаних з основними обов'язками (ліквідація аварій, екскурсії)	Перед початком виконання конкретної разової роботи	Наряд-допуск або спеціальний журнал

Технічна безпека готельного комплексу охоплює три основні інженерні підсистеми: пожежну безпеку, електробезпеку та безпеку експлуатації технологічного і побутового обладнання [40].

Основні вимоги пожежної безпеки в готельному комплексі згідно з судовими нормативами включають:

- забезпечення безперешкодного доступу до евакуаційних шляхів та виходів; двері на шляхах евакуації повинні вільно відкриватися у напрямку виходу з приміщення;
- оснащення всіх приміщень готелю (включаючи житлові номери, коридори та технічні зони) автоматичною системою виявлення диму та системою оповіщення про пожежу;
- наявність на кожному поверсі чітких схем евакуації, розроблених згідно з чинними стандартами графічного відображення;
- комплектацію поверхових щитів первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотними та порошковими вогнегасниками) з дотриманням нормативних термінів їх технічного огляду та перезарядки [41].

Електробезпека при експлуатації обладнання житлових номерів та адміністративних зон вимагає суворого контролю за станом електричних мереж. Оскільки сучасні апартаменти (зокрема, розглянутий у роботі Номер типу 2 з інтегрованою зоною кітченету) обладнані потужними споживачами

електроенергії (варочні поверхні, мікрохвильові печі, холодильники), навантаження на локальну мережу значно зростає [42].

Технічні вимоги електробезпеки регламентують:

- обов'язкове заземлення всіх металевих корпусів побутових та інженерних приладів;
- встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗО) на лініях живлення приміщень із підвищеною вологістю (санвузли, кухонні зони) для захисту від витoku струму;
- заборону використання подовжувачів та адаптерів нефабричного виробництва;
- проведення регулярних інструментальних замірів опору ізоляції кабельних ліній та перевірки надійності контуру заземлення [43].

При проєктуванні та моделюванні вбудованих меблевих систем та інженерного обладнання (наприклад, консольних робочих місць) вимоги безпеки інтегруються безпосередньо у геометрію 3D-моделі. Меблеві компоненти не повинні мати гострих кутів у зонах активного транзиту, а кріплення підвісних елементів та консолей розраховується з коефіцієнтом запасу міцності на статичне та динамічне навантаження. Дотримання цих нормативних інструктажів та інженерних вимог дозволяє звести до мінімуму людський фактор у структурі причин виникнення надзвичайних ситуацій в готельному комплексі [44].

4.3 Висновок до четвертого розділу

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи проведено детальний технічний аналіз питань безпеки життєдіяльності та охорони праці в умовах експлуатації готельних комплексів. Сформульовано чіткі, алгоритмізовані правила надання домедичної допомоги при поширених травмах — вивихах та різних типах кровотеч, що дозволяє мінімізувати негативні наслідки травматизму до прибуття спеціалізованих медичних служб. Математично

обґрунтовано часові ліміти застосування засобів тимчасової зупинки артеріальних крововтрат.

Досліджено структуру та порядок організації системи інструктажів з техніки безпеки на виробництві, побудовано порівняльну матрицю їх класифікації. Визначено суворі інженерні вимоги щодо забезпечення пожежної та електробезпеки приміщень, зокрема для специфічних багатофункціональних зон апартаментів. Доведено, що інтеграція нормативних ергономічних та технічних вимог безпосередньо на етапі комп'ютерного 3D-моделювання середовища дозволяє створити безпечний, стійкий до ризиків та інклюзивний простір для персоналу і резидентів готелю.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання підвищення ефективності проєктування готельних просторів шляхом застосування методів об'єктно-орієнтованого 3D-моделювання та системного аналізу. Основні результати роботи полягають у наступному:

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» подано загальну характеристику предметної області проєктування інтер'єрів готельних номерів та сформульовано постановку завдання дослідження. Розглянуто еволюцію систем автоматизованого проєктування (CAD) та сучасні методи комп'ютерного 3D-моделювання простору. Висвітлено нормативно-технічні вимоги Державних будівельних норм (ДБН) щодо ергономіки, зонування та забезпечення інклюзивності архітектурного середовища. Проаналізовано сучасний ринок програмного забезпечення для 3D-моделювання та обґрунтовано вибір середовища SketchUp 2020 як найбільш оптимального інструменту для вирішення поставлених інженерних задач.

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено процеси об'єктно-орієнтованого моделювання із застосуванням динамічних компонентів (Dynamic Components) для уникнення надлишкового навантаження на систему. Обґрунтовано математичні моделі просторової оптимізації та застосування коефіцієнта ергономічної ефективності простору (K_{erg}). Сформовано чітку алгоритмічну схему тривимірного проєктування та розроблено матрицю техніко-ергономічних специфікацій для двох типів готельних номерів (лаунж-варіанта та апартамент-номера).

В третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено високодеталізовані інформаційні 3D-моделі готельних номерів із налаштуванням фізично коректного глобального освітлення (Raytracing) та PBR-матеріалів. Запропоновано метод динамічної параметризації інтегрованих інженерних зон (зокрема, кухонного блоку) для забезпечення швидкого масштабування меблевих модулів під різні архітектурні планування.

Спроектовано оптимізовану полігональну сітку об'єктів та доведено можливість генерації точної двовимірної проектно-конструкторської документації (через модуль LayOut) без топологічних деформацій. Протестовано згенеровані цифрові моделі шляхом симуляції експлуатаційних просторових сценаріїв, що підтвердило їхню високу ергономічну ефективність, функціональну безпеку та економічну доцільність впровадження.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» проаналізовано комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням безпеки розробника під час роботи над дипломним проектом. Висвітлено основні вимоги щодо створення ергономічного робочого місця програміста-проектувальника, забезпечення електро- та пожежної безпеки в приміщенні з комп'ютерною технікою, а також визначено оптимальні параметри мікроклімату та освітленості для запобігання професійним захворюванням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Кушнір Н. О. Особливості розробки вебсайтів для креативних індустрій на прикладі фотостудій. Сучасні інформаційні системи. 2023. Т. 7, № 2. С. 112–118.
2. Мельник О. В., Ковальчук А. І. Сучасні тенденції проектування користувацьких інтерфейсів (UI/UX) для комерційних веб-ресурсів. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2022. № 1(44). С. 34–41.
3. Yablonski J. Laws of UX: Using Psychology to Design Better Products & Services. 2nd ed. O'Reilly Media, 2023. 170 p.
4. Robbins J. Learning Web Design: A Beginner's Guide to HTML, CSS, JavaScript, and Web Graphics. 5th ed. O'Reilly Media, 2021. 808 p.
5. Бойко М. І. SEO-оптимізація та просування комерційних вебсайтів у сфері послуг. Вісник економіки та інформатології. 2022. № 3. С. 45–52.
6. World Wide Web Consortium (W3C). HTML & CSS Standards. 2024. URL: <https://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>
7. Петренко О. М., Іванов С. В. Порівняльний аналіз сучасних CAD-систем для проектування інтер'єрів: SketchUp, 3ds Max та Blender. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання. 2023. Вип. 60. С. 45–52.
8. Blain J. M. The Complete Guide to Blender Graphics: Computer Modeling & Animation. 8th ed. Boca Raton : CRC Press, 2022. 550 p.
9. Tickoo S. Autodesk 3ds Max 2024: A Comprehensive Guide. CADCIM Technologies, 2023. 864 p.
10. Ковальчук О. А. Застосування BIM-технологій та систем тривимірного моделювання (Revit, ArchiCAD) у сучасному дизайні простору. Архітектура та інженерія. 2022. № 2(14). С. 18–25.
11. Lance M. 3D Modeling for Interior Design: Transitioning from 2D to 3D using SketchU AutoCAD, and Revit. New York : Routledge, 2021. 312 p.

12. Freeman A. Pro ASP.NET Core 7: Develop Cloud-Ready Web Applications Using MVC, Blazor, and Razor Pages. 10th ed. Apress, 2023. 1186 p.
13. Price M. J. C# 12 and .NET 8 – Modern Cross-Platform Development Fundamentals. 8th ed. Packt Publishing, 2023. 822 p.
14. Microsoft Learn. Overview of ASP.NET Core MVC. 2025. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/mvc/overview>
15. Richards M., Ford N. Software Architecture: The Hard Parts. O'Reilly Media, 2024. 450 p.
16. Ткаченко О. М. Проектування та моделювання реляційних баз даних : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 215 с.
17. Coronel C., Morris S. Database Systems: Design, Implementation, & Management. 14th ed. Cengage Learning, 2022. 864 p.
18. Smith J. Entity Framework Core in Action. 3rd ed. Manning Publications, 2024. 600 p.
19. Волошин В. С. Управління змінами схеми бази даних за допомогою механізму EF Core Migrations. Комп'ютерні науки та інженерія. 2022. № 4. С. 78–85.
20. Microsoft Learn. Entity Framework Core Documentation. 2025. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/ef/core/>
21. Allen C., Clark J. ASP.NET Core Security. Apress, 2023. 350 p.
22. Microsoft Learn. Introduction to Identity on ASP.NET Core. 2025. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/security/authentication/identity>
23. Грицюк Ю. І. Об'єктно-орієнтоване проектування інформаційних систем з використанням UML. Львів : ЛНТУ, 2022. 195 с.
24. Бондаренко В. О., Ткаченко І. М. Інструментальні засоби САПР SketchUp для оптимізації процесів тривимірного моделювання інтер'єрів. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2023. № 65. С. 112–119.
25. Cline L. SketchUp for Interior Design: 3D Visualizing, Designing, and Space Planning. 2nd ed. Indianapolis : John Wiley & Sons, 2023. 416 p.

26. Twilio SendGrid. SendGrid API Documentation for Email Integration. 2024. URL: <https://docs.sendgrid.com/api-reference>
27. Osherove J. The Art of Unit Testing: with examples in C#. 3rd ed. Manning Publications, 2021. 360 p.
28. Коваленко І. В. Основи тестування програмного забезпечення : підручник. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 280 с.
29. OWASP Foundation. OWASP Top 10 Web Application Security Risks. 2025. URL: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>
30. Lock A. ASP.NET Core in Action. 3rd ed. Manning Publications, 2023. 856 p.
31. Павленко С. В. Алгоритмічні моделі систем онлайн-бронювання для малого бізнесу. Вісник комп'ютерних технологій. 2022. № 4(12). С. 22–29.
32. Microsoft Learn. Host and deploy ASP.NET Core. 2025. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/host-and-deploy/>
33. Grigorik I. High Performance Browser Networking. O'Reilly Media, 2021. 400 p.
34. Бабак В. П., Куц Ю. В., Мислович М. В., Фриз М. Є., Щербак Л. М. Об'єктно-орієнтована ідентифікація стохастичних шумових сигналів. Київ : Наукова думка, 2024. 240 с.
35. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 09.03.2022 № 441 «Про затвердження порядків надання домедичної допомоги особам при невідкладних станах». Офіційний вісник України. 2022. № 25. Стаття 135. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0395-22>.
36. Купчак В. Р., Олійник Л. В. Домедична допомога при виробничому та побутовому травматизмі : практичний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2023. 142 с.
37. Кодекс законів про працю України : Закон України від 10.12.1971 № 322-VIII (зі змінами та доповненнями станом на 2026 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08>.

38. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами та доповненнями станом на 2025 р.). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>).

39. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (із змінами та доповненнями станом на 2023 р.). Київ : Держпраці, 2023. 45 с.

40. Ткачук К. Н., Халімовський М. О. Основи охорони праці в ІТ-галузі та сферах комерційних послуг : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 185 с.

41. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Зміна № 1 (чинна від 01.03.2022). Київ : Мінрегіон України, 2022. 26 с.

42. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Основні положення (із змінами та доповненнями станом на 2022 р.). Київ : Мінрегіон України, 2022. 52 с.

43. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (актуалізована редакція з оновленнями 2022 р.). Київ : Держнагляд охорони праці, 2022. 68 с.

44. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (актуалізовано з урахуванням нормативів безпеки станом на 2024 р.). Київ : МОЗ України, 2024. 18 с.

ДОДАТКИ

Назва додатка А

Вміст додатка А.