

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

Фізико-математичний факультет
Кафедра інформатики та методики її навчання

Кваліфікаційна робота
МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ СТИЛІЗАЦІЇ 3D-ІНТЕР'ЄРІВ У
КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
Освітня програма «Комп'ютерні науки»

Здобувача вищої освіти освітньо-
кваліфікаційного рівня «магістр»

Серпєвського Владислава
Григоровича

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

доктор педагогічних наук, професор
Цідило Іван Миколайович

РЕЦЕНЗЕНТ:

кандидат технічних наук, доцент
кафедри комп'ютерних наук
Тернопільського національного
технічного університету
імені Івана Пулюя
Дуда Олексій Михайлович

Тернопіль – 2025

АНОТАЦІЯ

Серпєвський В. Г. Методи та алгоритми стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки. ТНПУ ім. В. Гнатюка, Тернопіль, 2025. 55 с.

У роботі розглянуто основи 3D-графіки, підходи до фотореалістичного та нефотореалістичного рендерингу, а також алгоритми оброблення геометрії, матеріалів і освітлення. Проведено аналіз програмних засобів комп'ютерного моделювання та візуалізації. Практичну частину присвячено створенню 3D-проєкту стилізованого інтер'єру з використанням Autodesk 3Ds Max, у межах якого реалізовано керування геометричною складністю сцени та параметрами рендерингу. Практична значущість роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів у комп'ютерній графіці, ігрових рушіях, VR/AR-застосунках та освітніх проєктах.

Ключові слова: комп'ютерні науки, 3D-графіка, комп'ютерне моделювання, алгоритми стилізації, рендеринг.

ANNOTATION

Serpevskiy V. H. Methods and algorithms of 3D interior stylization in computer modeling: master's qualification work in the specialty 122 Computer Science. Ternopil: Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, 2025. 55 p.

The paper examines the basics of 3D graphics, approaches to photorealistic and non-photorealistic rendering, as well as algorithms for processing geometry, materials, and lighting. An analysis of software tools for computer modeling and visualization was carried out. The practical part is devoted to the creation of a 3D project of a stylized interior using Autodesk 3Ds Max, within which control of the geometric complexity of the scene and rendering parameters is implemented. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the obtained results in computer graphics, game engines, VR/AR applications and educational projects.

Key words: computer science, 3D graphics, computer modeling, stylization algorithms, rendering.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ 3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ.....	7
1.1 Теоретичні аспекти 3D-графіки, візуалізації та комп'ютерного моделювання.....	7
1.2 Аналіз технологій 3D-графіки та комп'ютерного моделювання.....	13
1.3 Характеристика принципів та методів стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні.....	17
Висновки до першого розділу.....	22
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ 3D-ПРОЄКТУ У КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ.....	25
2.1 Опис вихідних даних стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні.....	25
2.2 Етапи моделювання та візуалізація 3D-інтер'єру засобами 3Ds Max ...	29
2.3 Налаштування візуалізації інтер'єру в Autodesk 3Ds Max	35
2.4 Аналіз та узагальнення результатів стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні.....	43
Висновки до другого розділу	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТКИ	58

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасні комп'ютерні науки активно розвиваються у напрямі обробки, аналізу та візуалізації тривимірних даних, що зумовлює зростання ролі 3D-моделювання та рендерингу як прикладних інструментів інженерії програмного забезпечення, комп'ютерної графіки та обчислювальної візуалізації. Тривимірна графіка використовується не лише для створення зображень, а як засіб представлення складних структур, симуляцій і цифрових середовищ у наукових, освітніх та прикладних програмних системах.

Нормативно-правовим підґрунтям дослідження у сфері комп'ютерного моделювання та тривимірної візуалізації є законодавство України, що регулює розвиток інформаційних технологій та використання програмних засобів. Важливе значення має Закон України «Про інформацію» та Закон України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах», які визначають правові засади обробки, зберігання та використання цифрових даних у програмних системах.

Актуальність дослідження визначається потребою у вдосконаленні методів 3D-візуалізації як складової комп'ютерних наук, спрямованої на підвищення ефективності візуального представлення даних, формування впізнаваних стилів цифрового контенту та розширення функціональних можливостей сучасних програмних продуктів. Необхідність дослідження підсилюється активним розвитком інтерактивних тривимірних середовищ у віртуальній та доповненій реальності, симуляційних системах, ігрових рушіях і цифрових платформах візуалізації, де ефективні алгоритми стилізації впливають на продуктивність, масштабованість і якість програмних рішень. У цьому контексті аналіз і розроблення методів та алгоритмів стилізації 3D-інтер'єрів є актуальним завданням комп'ютерних наук, а отримані результати мають практичну цінність для розвитку

комп'ютерної графіки, програмної інженерії та інтелектуальних систем та зумовлює вибір теми дослідження **«Методи та алгоритми стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні»**.

Метою дослідження є аналіз, систематизація та практична апробація методів і алгоритмів стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні з метою підвищення керованості візуальних параметрів, формалізації стилістичних рішень та розширення функціональних можливостей програмних засобів тривимірної візуалізації.

Відповідно до мети визначено такі **завдання дослідження**:

1. Проаналізувати теоретичні основи 3D-графіки та здійснити добір програмних засобів для моделювання і візуалізації.
2. Виокремити принципи та методи стилізації 3D-простору в дизайні та архітектурі.
3. Розробити й адаптувати алгоритми стилізації 3D-інтер'єрів з урахуванням вимог архітектурно-дизайнерських задач.
4. Створити проєкт стилізованого об'єкта 3D-інтер'єру на основі визначених методів і алгоритмів.

Об'єкт дослідження – процес комп'ютерного моделювання та візуалізації 3D-інтер'єрів.

Предмет дослідження – методи й алгоритми стилізації тривимірних інтер'єрних об'єктів.

Для досягнення мети та реалізації поставлених завдань у роботі використано комплекс взаємопов'язаних *методів дослідження*: аналіз і систематизацію наукових джерел з комп'ютерної графіки, 3D-моделювання та рендерингу; порівняльний аналіз програмних засобів і алгоритмічних підходів до стилізації тривимірних сцен; моделювання та експериментальну апробацію алгоритмів стилізації у програмному 3D-середовищі; параметричний та експериментальний аналіз результатів візуалізації з метою оцінки ефективності обраних методів.

Наукова новизна полягає в розробленні та вдосконаленні алгоритмічних методів оброблення та стилізації тривимірних сцен, орієнтованих на ефективне функціонування в сучасних комп'ютерних системах і інтерактивних програмних середовищах. Запропоновані підходи враховують особливості обчислювальних ресурсів, оптимізацію процесів рендерингу та можливість інтеграції з інтелектуальними модулями аналізу даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування отриманих результатів у задачах комп'ютерної графіки, інтерактивних симуляцій, ігрових рушіїв і систем цифрової візуалізації.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ 3D-ВІЗУАЛІЗАЦІЇ У КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

1.1 Теоретичні аспекти 3D-графіки, візуалізації та комп'ютерного моделювання

У контексті сучасного розвитку інформаційних технологій та зростання ролі віртуального контенту тривимірна графіка посідає особливе місце. Вона є напрямом комп'ютерної графіки, що забезпечує створення об'ємних зображень і сцен у віртуальному середовищі з можливістю їх перегляду під різними кутами. Завдяки цьому 3D-графіка активно використовується у широкому спектрі сфер – від дизайну та архітектури до індустрії розваг, наукової візуалізації та освітніх технологій.

Актуальність 3D-графіки визначається її роллю як інструменту комп'ютерних наук для представлення, аналізу та обробки складних тривимірних даних. Тривимірні моделі використовуються для формалізації об'єктів, процесів і просторових структур у програмних системах, що дозволяє виконувати візуальний аналіз, симуляцію та перевірку рішень на етапі проєктування. Застосування 3D-візуалізації сприяє зменшенню кількості помилок, підвищенню точності рішень і оптимізації обчислювальних процесів[1].

У сфері інженерії та прикладних інформаційних технологій 3D-моделювання виступає засобом створення цифрових моделей для симуляції, тестування та аналізу поведінки систем у віртуальному середовищі. Активне впровадження тривимірної графіки у наукових дослідженнях, медицині та освітніх програмних платформах підтверджує її універсальність як інструменту комп'ютерної графіки та значний потенціал для розвитку алгоритмічних методів обробки візуальної інформації. При аналізі основ 3D-

графіки, важливо акцентувати увагу на трьох ключових, взаємопов'язаних поняттях: моделювання, візуалізація та рендеринг. Дані етапи формують послідовний процес перетворення ідеї в конкретне візуальне представлення.

Моделювання є первинним етапом, що виникає у створенні тривимірної геометричної моделі об'єкта або цілої сцени у віртуальному середовищі, яка забезпечує формування цифрового представлення об'єкта, що базується на його математичному описі. Від якості та деталізації створеної моделі залежить подальший вигляд кінцевого зображення. У процесі моделювання застосовуються різні підходи, кожен з яких є доцільним для конкретних завдань [2].

Одним із найпоширеніших методів створення 3D-об'єктів є полігональне моделювання. Його суть полягає у формуванні поверхні об'єкта з великої кількості дрібних плоских елементів – полігонів, що зазвичай мають форму трикутників або чотирикутників. Об'єднання полігонів через вершини (просторові точки) та ребра (лінії між вершинами) утворює «сітку», яка слугує цифровим представленням геометрії моделі [3].

Збільшення кількості полігонів, тобто підвищення полігонажу, забезпечує більшу деталізацію та плавність поверхонь, що особливо важливо для складних форм. Водночас це підвищує обчислювальне навантаження, що потребує оптимального балансу між якістю моделі та продуктивністю.

Окрім полігонального підходу, у 3D-графіці застосовуються й інші методи моделювання. Зокрема сплайнове моделювання, використовує математично визначені криві та поверхні для опису форми об'єкта. Такий метод особливо ефективний для створення гладких, органічних і високоточних промислових моделей, оскільки забезпечує стабільну геометричну точність незалежно від масштабу.

Формування складних, скульптурних або органічних об'єктів широко використовує цифрове скульптування, яке імітує роботу з фізичною глиною та дозволяє додавати дрібні деталі, деформувати поверхні й досягати високого рівня художньої виразності.

Важливим аспектом моделювання є топологія – структура та розташування полігонів у моделі, яка визначає якість подальшого текстурювання, можливості анімації та ефективність рендерингу.

Моделювання виступає фундаментальним етапом створення будь-якого 3D-контенту, формуючи основу для всіх наступних процесів візуалізації.

Після завершення етапу моделювання здійснюється візуалізація. Даний процес є більш складним і охоплює всі дії, спрямовані на надання змодельованим об'єктам їх кінцевого вигляду перед фінальним «прорахунком» зображення. Візуалізація шляхом «наділення» моделі матеріалами, текстурами та її освітленням, що дозволяє досягти бажаної видимої переконливості або художньої стилізації[4].

Ключовими складовими візуалізації є матеріали та текстурювання. Матеріали проекту, як поверхня об'єкта взаємодіє зі світлом, відображаючи такі властивості, як колір, блиск, прозорість, здатність до відображення або заломлення світла. Текстури, у своєму випадку, є зображеннями, які складаються на поверхні 3D-моделі для її деталізації без потреби збільшення кількості полігонів. Існують різні типи кольорових текстурних карт, такі як дифузні (для базового), нормалі (для імітації рельєфу) та інші, комбінації яких дозволяють досягти відображення рівня реалістичності або створити унікальний стилізований вигляд, що є актуальним для даного дослідження.

У 3D-графіці досліджено різні типи джерела світла, що імітують реальні: точки, направлені, прожектори, джерела освітлення площі. одне прямих джерел, важливе значення має глобальне освітлення, яке симулює розсіяне світло, що відбивається від поверхні, створюючи більш м'які тіні та загальне розсіяне освітлення. Правильне налаштування світла вимагає розуміння фізичних принципів світла та художнього бачення.

Важливу роль у 3D-сцені відіграє камера. Вона працює подібно до реального фотоапарата: задає точку огляду, кут та фокус. Налаштування фокусної відстані й глибини різкості дозволяють керувати перспективою та

створювати ефект розмитого фону. Правильно обраний ракурс допомагає виділити головні елементи сцени та сформувати виразну композицію.

Кульмінаційним етапом створення 3D-графіки є рендеринг. Це процес, під час якого комп'ютер обробляє всі дані сцени – геометрію, матеріали, освітлення та параметри камери – і перетворює їх на фінальне двовимірне зображення або окремі кадри для анімації. Рендеринг є ресурсомістким, оскільки використовує складні математичні алгоритми для моделювання фізичної взаємодії світла з поверхнями.

Існують різні методи рендерингу, що відрізняються рівнем складності, швидкістю виконання та якістю кінцевого результату. Одним із найбільш просунутих є алгоритми, які базуються на трасуванні променів (Ray Tracing) або трасуванні шляхів (Path Tracing). Дані методи моделюють поведінку світла, відстежуючи шлях кожної зміни від джерела світла до камери, враховуючи його відбиття, заломлення та поглинання. Високий рівень реалістичності, точно відображаючи відображення, тіні та інші складні світлові ефекти. Як правило, такі розрахунки вимагають значних обчислювальних ресурсів і часу, тому вони частіше використовують для офлайн-рендерингу – створення високоякісних зображень та анімацій, які не вимагають взаємодії в реальному часі[5].

На противагу цьому, рендеринг у реальному часі є фундаментальним для комп'ютерних ігор та інтерактивних додатків, де пріоритетом є швидкість відображення. Для досягнення високої частоти кадрів у реальному часі застосовуються оптимізовані алгоритми, такі як растеризація, які є менш обчислювально затратними, хоча можуть поступати до реалістичності.

Взаємодія та послідовність етапів моделювання, візуалізації та рендерингу формують цілісний процес створення 3D-контенту. Даний метод є складним поєднанням технічних знань, художнього бачення та творчого підходу, що дозволяє втілювати різноманітні ідеї у візуальну форму. У наступних підпунктах буде показано історію розвитку цих процесів та їх практичне застосування у створенні та стилізації 3D-інтер'єрів.

Серед напрямів розвитку 3D-графіки одним із найскладніших і найамбітніших є досягнення фотореалізму. Метою фотореалістичної візуалізації є створення зображень, які неможливо відрізнити від фотографій реального світу, який передбачає не лише точне відтворення форми об'єктів, а й максимально реалістичне моделювання поведінки світла: відбиття, заломлення, поглинання та зміну вигляду об'єктів у різних умовах освітлення. Досягнення такого рівня правдоподібності потребує глибокого розуміння фізичних законів та технічних можливостей 3D-пакетів [6].

Попит на фотореалістичну 3D-візуалізацію зумовлений практичними завданнями точного та передбачуваного відтворення візуальних характеристик об'єктів у програмних системах. У комп'ютерному моделюванні фотореалістичні методи рендерингу застосовуються для коректного відображення геометрії, матеріалів і освітлення, що дає змогу здійснювати попередній аналіз властивостей об'єкта ще на етапі проєктування. Це підвищує інформативність візуалізації та зменшує ймовірність помилок у подальшій реалізації.

У прикладних інженерних задачах фотореалістичні зображення забезпечують точну передачу фізичних параметрів матеріалів і конструктивних особливостей, що важливо для симуляції та тестування цифрових моделей. У комп'ютерних системах візуалізації та інтерактивних середовищах фотореалізм виступає як результат використання обчислювально складних алгоритмів освітлення та глобального світла, спрямованих на досягнення високої точності відображення реальних умов. Однак досягнення істинного фотореалізму в 3D-графіці є надзвичайно складним завданням, яке вимагає врахування безлічі дрібних деталей та складних фізичних взаємодій. Варто зазначити, що це, не просто питання «хорошої» моделі – це цілий комплекс факторів, які потрібно працювати разом [7].

Перш за все, складність взаємодії світу з матеріалами. У реальному світі не просто «світить» на об'єкт. Воно відбивається від нього,

поглинається, розсіюється в середині матеріалу (як у випадку зі шкірою або воском – так зване підповерхнєве розсіювання), заломлюється (як світло, що проходить крізь скло або воду), а також створює відблиски та тіні. Імітація цих фізичних явищ у віртуальному просторі вимагає використання матеріалів складних математичних моделей [8].

По-друге, величезне значення має якість геометричної деталізації. Для досягнення фотореалізму часто необхідно відтворювати навіть найдрібніші елементи, які в реальності створюють відчуття об'єму та форми. Це може бути реальна геометрія (тобто велика кількість полігонів, які формують дуже деталізовану модель) або ж імітація деталізації за допомогою карт зміщення, які змінюють геометрію поверхні під час рендерингу. Крім того, дрібні нерівності, подряпини, потертості, які можуть здатися незначними, насправді дають образ правдоподібності, тому ідеально гладких поверхонь у реальному світі майже не існує.

По-третє, освітлення є одним із найскладніших аспектів фотореалістичної візуалізації. Досягти реалістичного ефекту означає не лише встановити кілька джерел світла, а й правильно моделювати глобальне освітлення, яке враховує не лише пряме світло, а й відбиття та розсіяння світла від інших об'єктів сцени. Це надає зображенню м'якості, природності тіней та загальної правдоподібності.

Важливим інструментом є використання зображень з високим динамічним діапазоном, що дозволяють перенести реальне освітлення навколишнього середовища у віртуальну сцену. Крім того, атмосферні ефекти, такі як туман або об'ємний пил у повітрі, додають відчуття глибини та реалістичності простору [9].

Після завершення рендерингу зображення часто проходить через етап пост-обробки, де додані остаточні штрихи, які імітують особливості реальної фотографії, де може бути незначна зернистість, хроматичні аберації (ефект, коли на краях об'єктів з'являються кольорові ореоли), в'їнювання (затемнення по краях зображення) або легке розмиття об'єктів, що

знаходяться поза фокусом (глибина різкості). Дані недоліки характерні для реальних камер, допомагають створити ілюзію того, що зображення було зняте на фотоапараті, а не створено на комп'ютері [10].

Таким чином, фотореалістична 3D-графіка – це постійний пошук ідеального відображення дійсності у віртуальному просторі надзвичайної точності на всіх етапах: від детального моделювання та текстуровання до складної настройки освітлення та використання передових алгоритмів рендерингу. Водночас, варто ще раз нагадати, що існує й альтернативний підхід, яким ми будемо займатися в цій роботі – нефотореалістичний рендеринг, який свідомо відходить від імітації, щоб надати зображенню художньої або стилізованої виразності. Обидва напрямки є виробництвами, але мають різні цілі та методи реалізації.

1.2 Аналіз технологій 3D-графіки та комп'ютерного моделювання

Сучасні технології 3D-графіки та комп'ютерного моделювання є міждисциплінарною галуззю комп'ютерних наук, що поєднує математичні методи, алгоритми обробки даних, обчислювальну геометрію, теорію кольору, фізичне моделювання та програмну інженерію. Розвиток апаратного забезпечення та графічних процесорів, зумовив значний прогрес у методах створення, обробки та візуалізації тривимірних сцен, що дозволило використовувати 3D-моделі не лише як засіб візуального представлення, а як повноцінні цифрові об'єкти для аналізу, симуляції та інтерактивної взаємодії.

Основу сучасних технологій 3D-графіки становить графічний конвеєр, який описує послідовність етапів обробки тривимірних даних - від геометричного опису сцени до формування фінального зображення. На рівні комп'ютерних наук цей процес розглядається як послідовність алгоритмічних перетворень, що включають обробку вершин, трансформацію координат, проєкцію у двовимірний простір, визначення видимості поверхонь, обчислення освітлення та застосування текстур. Кожен із цих

етапів реалізується за допомогою формалізованих математичних моделей та оптимізованих обчислювальних алгоритмів, що забезпечують ефективну роботу як у режимі офлайн-рендерингу, так і в системах реального часу.

Ключовим компонентом комп'ютерного моделювання є геометричне представлення об'єктів. У сучасних 3D-системах найбільш поширеним є полігональне подання, при якому поверхні описуються за допомогою сітки з вершин, ребер і полігонів. Такий підхід є зручним з точки зору алгоритмічної обробки, оскільки дозволяє застосовувати стандартні методи оптимізації, згладжування, спрощення геометрії та аналізу топології. Водночас у спеціалізованих задачах використовуються параметричні та процедурні моделі, які базуються на математичних функціях і правилах генерації геометрії, що особливо актуально для масштабованих сцен, автоматизованого моделювання та адаптивної стилізації[11].

Важливим напрямом розвитку технологій 3D-графіки є процедурне моделювання, яке дозволяє створювати складні об'єкти та середовища на основі алгоритмічних правил, а не ручного моделювання. Процедурні підходи широко застосовуються у комп'ютерних іграх, симуляторах та системах віртуальної реальності, оскільки забезпечують варіативність, зменшення обсягу даних та підвищення продуктивності. З точки зору комп'ютерних наук, такі методи є прикладом генеративних алгоритмів, що поєднують обчислювальну геометрію, теорію графів та стохастичні моделі.

Окрему роль у розвитку 3D-графіки відіграють технології візуалізації та рендерингу, які визначають спосіб перетворення тривимірної сцени у двовимірне зображення. Сучасні рендеринг-системи використовують як класичні алгоритми растеризації, оптимізовані для реального часу, так і фізично коректні методи трасування променів та шляхів. Вибір конкретної технології залежить від вимог до якості, швидкодії та характеру застосування, що робить рендеринг важливим об'єктом дослідження в контексті оптимізації обчислювальних процесів і керування ресурсами.

Подальший розвиток технологій 3D-графіки тісно пов'язаний із еволюцією програмних засобів комп'ютерного моделювання, які реалізують складні алгоритмічні процеси у вигляді інтегрованих програмних систем. Сучасні 3D-платформи являють собою комплексні середовища, що поєднують засоби геометричного моделювання, керування сценами, системи матеріалів, модулі освітлення, а також рендеринг-ядра, оптимізовані під різні обчислювальні сценарії. З позицій комп'ютерних наук такі системи можна розглядати як приклад спеціалізованого програмного забезпечення, орієнтованого на обробку великих масивів просторових даних у режимах як пакетної, так і інтерактивної обробки[12].

Значну роль у сучасних технологіях 3D-графіки відіграє апаратне прискорення обчислень, зокрема використання графічних процесорів. Перенесення основних етапів обробки геометрії та візуалізації на графічних процесорах, дозволило суттєво підвищити продуктивність систем 3D-моделювання та зробити можливими складні візуальні ефекти в реальному часі. Це сприяло активному розвитку програмованих шейдерів, які реалізують алгоритми трансформації вершин, обчислення освітлення, тіней і постобробки безпосередньо на графічному процесорі. Шейдерні мови дозволяють формалізувати візуальні ефекти у вигляді алгоритмів, що робить процес візуалізації більш гнучким і керованим з точки зору програмної логіки.

У контексті комп'ютерного моделювання важливе місце посідають технології керування складністю тривимірних сцен. Зі зростанням кількості об'єктів, полігонів і текстур зростає навантаження на обчислювальні ресурси, що вимагає застосування спеціалізованих методів оптимізації. До таких методів належать алгоритми спрощення геометрії, використання рівнів деталізації, просторові структури даних для прискорення обчислень видимості, а також оптимізація матеріалів і текстурних карт. Дані підходи мають важливе значення не лише для підвищення швидкодії, а й для

забезпечення масштабованості програмних систем, що працюють з великими тривимірними середовищами.

Окремим напрямом розвитку є інтеграція 3D-моделювання з рушіями реального часу та інтерактивними системами. Ігрові рушії, такі як Unreal Engine або Unity, використовують власні графічні пайплайни, оптимізовані для динамічної візуалізації, симуляції фізики та взаємодії з користувачем. У таких системах 3D-моделі стають не лише візуальними об'єктами, а елементами програмної логіки, що реагують на події, змінюють стан і параметри у реальному часі. Це потребує чіткого формального опису геометрії, матеріалів та освітлення, а також узгодження форматів даних між різними програмними середовищами[13].

Важливим аспектом сучасних технологій 3D-графіки є стандартизація форматів зберігання та обміну тривимірними даними. Формати на кшталт OBJ, FBX, glTF забезпечують передачу геометрії, матеріалів, анімацій і метаданих між різними програмними платформами. З точки зору комп'ютерних наук, такі формати є структурованими моделями даних, що дозволяють серіалізувати складні об'єкти та забезпечувати їх коректну інтерпретацію в різних програмних системах. Це має ключове значення для інтеграції 3D-моделей у розподілені системи, вебзастосунки та хмарні сервіси.

Таким чином, аналіз технологій 3D-графіки та комп'ютерного моделювання демонструє, що сучасні 3D-системи є результатом комплексного поєднання алгоритмічних методів обробки геометрії, програмної архітектури графічних конвеєрів і апаратних можливостей обчислювальних систем. Використання формалізованих моделей представлення тривимірних даних, програмованих шейдерів, апаратного прискорення та методів оптимізації дозволяє забезпечити ефективну, масштабовану й керовану візуалізацію складних сцен. Такі технології створюють обчислювальну основу для реалізації різних підходів до стилізації, оптимізації та автоматизації процесів візуалізації, що є важливим

у контексті розробки інтерактивних середовищ, симуляцій і програмних систем реального часу та має безпосереднє значення для сучасних задач комп'ютерних наук.

1.3 Характеристика принципів та методів стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні

Стилізація у контексті дизайну та мистецтва являє собою процес трансформації об'єкта, форми або зображення, яка здійснюється шляхом підкреслення або модифікації характерних рис, узагальнення деталей, або, навпаки, гіперболізації певних елементів. Метою такого перетворення є досягнення заданої художньої виразності, символічності або певного естетичного ефекту. Даний процес передбачає свідомий відхід від точного, фотографічного відтворення дійсності на користь виділення та акцентування сутності або конкретного художнього задуму[14].

Значення стилізації у дизайні та мистецтві може бути розглянуто у кількох аспектах. По-перше, вона функціонує як засіб художньої виразності. Завдяки стилізації може бути передана певна ідея, настрій, емоційний стан або філософська концепція, які могли б бути менш очевидними при буквальному відтворенні. Наприклад, спрощені форми можуть відображати принципи мінімалізму, тоді як орнаментальні деталі – специфіку історичних періодів. По-друге, стилізація сприяє ідентифікації та унікальності. Специфічний стиль може стати елементом впізнаваності для художника, бренду або певної культурної епохи, що дозволяє диференціювати об'єкт серед інших. По-третє, стилізація може використовуватися для спрощення та підвищення ефективності візуальної комунікації. Зменшення кількості деталізації може сприяти фокусуванню на ключовому меседжі, уникаючи перевантаження інформацією. Прикладами є інфографіка або піктограми, де стилізація відіграє вирішальну роль у швидкому та чіткому донесенні інформації [15].

У контексті комп'ютерних наук та цифрового моделювання інтер'єрів стилізація розглядається як процес формалізованої трансформації візуальних характеристик тривимірної сцени, що базується на заданих параметрах геометрії, матеріалів, кольорових схем і освітлення. Архітектурні стилі в такому підході виступають не лише естетичними напрямками, а узагальненими моделями, які описуються сукупністю характерних ознак - пропорційних співвідношень, типових форм, матеріальних властивостей та кольорних палітр. Стилiзація в цифровому середовищі полягає у цілеспрямованому алгоритмічному відтворенні або модифікації цих ознак з метою формування узгодженого візуального образу. На відміну від прямого копіювання реальних зразків, такий підхід передбачає інтерпретацію архітектурних стилів з урахуванням функціональних вимог, обчислювальних обмежень та особливостей програмної реалізації тривимірних сцен [16].

З інтеграцією 3D-графіки, стилізація отримала нові можливості реалізації. Можливість контролювати кожен аспект візуального відтворення – від геометричної форми об'єкта до деталей матеріалу, освітлення та пост-обробки – розширила можливості для застосування художніх стилів у віртуальному просторі. Це дозволяє не лише відтворювати існуючі архітектурні стилі, а й генерувати нові, унікальні, стилізовані візуалізації інтер'єрів, які можуть імітувати техніки, характерні для малюнків, акварелі, коміксів або інших художніх виразів. Таким чином, стилізація у 3D-інтер'єрах трансформується у інструмент для досягнення візуальної виразності та художньої індивідуальності.

Вивчення принципів стилізації у 3D-інтер'єрах вимагає систематичного аналізу існуючих архітектурних та дизайнерських стилів. Кожен стиль характеризується сукупністю специфічних ознак, що включають форми, пропорції, кольорну палітру, використовувані матеріали, текстури, меблі та декоративні елементи. Ідентифікація цих характеристик є необхідною для їхнього подальшого відтворення або трансформації у віртуальному просторі,

що дозволяє досягти відповідної візуальної естетики або художньої виразності.

У межах комп'ютерних наук архітектурні та інтер'єрні стилі можуть бути розглянуті як формалізовані візуальні моделі, що описуються сукупністю параметрів геометрії, пропорцій, матеріальних властивостей, кольорових схем і освітлення. Класичний стиль у такому підході інтерпретується як система строгих симетричних співвідношень, впорядкованих композиційних структур і стабільних пропорційних залежностей, які можуть бути представлені у вигляді алгоритмічних правил побудови тривимірної сцени. Використання складних матеріалів із високими показниками відбиття, глянцевої та деталізації поверхонь у цифровому середовищі потребує точного налаштування параметрів матеріалів і освітлення, що безпосередньо впливає на обчислювальну складність рендерингу та вимоги до апаратних ресурсів [17].

Різновиди класичного стилю, такі як бароко, рококо та ампір, у контексті 3D-графіки відрізняються рівнем геометричної складності та характером просторових трансформацій. Бароко може бути описане через використання криволінійних форм, високого рівня деталізації та складних світлотіньових моделей, що потребують значної кількості полігонів і точного обчислення взаємодії світла з поверхнями. Рококо, навпаки, характеризується меншою масивністю форм, але складною орнаментальністю, що вимагає застосування текстурних карт, процедурних візерунків і оптимізації дрібних декоративних елементів. Ампір, із його чіткою симетрією та домінуванням простих геометричних об'ємів, може бути ефективно формалізований через параметричні моделі, що спрощує керування сценою та зменшує обчислювальні витрати.

Сучасні стилі інтер'єрів, сформовані під впливом технологічного розвитку XX–XXI століть, у комп'ютерному моделюванні орієнтовані на раціональність, функціональність і оптимізацію структури тривимірних сцен. Мінімалізм у цифровому середовищі характеризується використанням

простих геометричних форм, низького рівня полігонажу та обмеженої кількості матеріалів, що дозволяє досягти високої продуктивності та стабільності візуалізації. Такий стиль є показовим прикладом ефективного використання алгоритмів оптимізації геометрії та освітлення з мінімальними втратами візуальної якості [18].

Стиль хай-тек у контексті 3D-графіки може бути розглянутий як візуальна репрезентація інженерної естетики, де відкриті конструктивні елементи, металеві поверхні та скляні матеріали вимагають точного фізично коректного моделювання властивостей матеріалів і відображень. Алгоритми обробки освітлення та відбиття світла відіграють ключову роль у формуванні такого стилю, а правильне налаштування шейдерів є критичним для досягнення переконливого результату.

Лофт, що базується на імітації промислових просторів, у 3D-візуалізації характеризується поєднанням великих відкритих об'ємів, просторової глибини та текстур із вираженою фактурою. Реалізація цього стилю вимагає коректного масштабування сцени, використання текстур високої роздільної здатності та комбінованих моделей освітлення, що підкреслюють нерівності поверхонь і створюють відчуття реального простору.

Окрему групу становлять стилі, що інтегрують елементи різних культурних або історичних джерел. Етнічні стилі в комп'ютерному моделюванні можуть бути представлені як набори характерних текстур, орнаментів і колірних схем, що потребують точного керування текстурними координатами та матеріальними параметрами. Еклектичні рішення, у свою чергу, вимагають узгодження різномірних візуальних елементів у межах однієї сцени, що з точки зору комп'ютерних наук зводиться до задачі балансування композиційних параметрів, освітлення та візуальної ієрархії для уникнення перевантаження сцени та зниження її читабельності.

Перенесення обраного архітектурного або дизайнерського стилю у віртуальний тривимірний простір є комплексним процесом, що вимагає

цілеспрямованої роботи з усіма складовими 3D-сцени. Ефективна стилізація інтегрується на всіх етапах створення візуалізації, починаючи від базового моделювання і закінчуючи налаштуваннями рендерингу та пост-обробки [19].

Геометрія та форма об'єктів є ключовими носіями стилю, визначаючи силует, пропорції та просторову структуру інтер'єру. Стил ь виражається через лінійні розміри, кривизну поверхонь і взаємозв'язки між елементами. Класичні стилі, як бароко чи рококо, характеризуються складними криволінійними формами та багатим декоративним оздобленням, що надає пишності та монументальності. Сучасні стилі, як мінімалізм або хай-тек, використовують прості геометричні форми, прямі лінії та мінімум декору, підкреслюючи легкість і функціональність [19].

Рівень деталізації об'єктів у 3D-візуалізації прямо залежить від стилю: класичні інтер'єри потребують високого полігонажу, скульптування та текстур для відтворення рельєфу, а мінімалістичні стилі вимагають гладких, бездоганних поверхонь. Точне відтворення форм, пропорцій і масштабів є фундаментальним для коректного відображення стилю 3D-інтер'єру.

Матеріали, текстури та колірна палітра є ключовими елементами стилю, надаючи об'єктам фактурність, емоційне забарвлення та впливаючи на взаємодію світла з поверхнями. Класичні стилі використовують дорогі натуральні матеріали – мармур, цінні породи дерева, шовк, оксамит, бронзу, криштал ь. Сучасні стилі віддають перевагу технологічним і індустріальним матеріалам: бетон, метал, скло, пластик, необроблена цегла.

У 3D-візуалізації важливе точне відтворення властивостей матеріалів: глянцевої, шорсткої, прозорості та відображення світла. Текстури додають деталізації, імітуючи поверхневі особливості (дерево, бетон, тканини) або декоративні елементи для класики, етнічних та ар-деко стилів. Для нефотореалістичних стилізацій використовуються художні текстури – мазки, патерни, акварельні ефекти [10, с. 30–35]. Колірна палітра підкреслює стиль та настрій: насичені й глибокі тони для класики, пастельні для рококо,

нейтральні для мінімалізму та хай-тек з яскравими акцентами, етнічні-відповідно до культури (теплі землі для африканського, стримані для японського). Ефективна робота з матеріалами, текстурами та кольором дозволяє точно відтворити реалістичні поверхні або створити стилізований художній ефект [9, с. 195].

Освітлення та ракурс камери визначають сприйняття об'єму, матеріалів і атмосфери сцени, формуючи стилізацію 3D-візуалізації. Для класичних інтер'єрів застосовується м'яке, тепле, розсіяне світло, що підкреслює об'єм деталей і створює затишну атмосферу, тоді як сучасні стилі потребують яскравого, нейтрального або холодного освітлення для акценту на простоті та функціональності. Контраст і тіні регулюють драматичність та глибину. Ракурс камери впливає на композицію та акценти: симетричні та центральні кадри підкреслюють класичну велич, низькі кути додають монументальності, а динамічні або ширококутні – відкритість і акцент на деталях. Глибина різкості та композиційні правила (третини, золотий перетин) допомагають створити збалансовані, естетично привабливі та стилістично коректні зображення [20].

Таким чином, цілеспрямована та скоординована робота з геометрією, матеріалами, освітленням та налаштуваннями камери дозволяє не лише відтворити, а й посилити або трансформувати обраний стиль у 3D-візуалізації інтер'єрів, що є фундаментальним для досягнення бажаного художнього результату та ефективної передачі дизайнерського задуму.

Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи здійснено системний аналіз теоретичних та технологічних засад тривимірної графіки в контексті комп'ютерних наук як сукупності алгоритмічних методів, моделей даних і програмних рішень, що забезпечують створення, обробку та візуалізацію тривимірних сцен. Узагальнено базові поняття 3D-графіки, зокрема моделювання, візуалізацію

та рендеринг, які розглянуто як послідовні етапи обчислювального графічного конвеєра, орієнтованого на ефективну обробку просторових даних.

Проаналізовано основні підходи до комп'ютерного моделювання тривимірних об'єктів, зокрема полігональне, сплайнове та процедурне моделювання, а також цифрове скульптування як методи формалізованого опису геометрії різного рівня складності. Визначено роль параметризації, керування топологією та оптимізації геометричних моделей у забезпеченні продуктивності 3D-систем. Окрему увагу приділено технологіям налаштування матеріалів, текстур, освітлення та камер як сукупності алгоритмічних параметрів, що визначають візуальні властивості сцени та впливають на обчислювальну складність процесу рендерингу.

Розглянуто еволюцію технологій 3D-графіки від ранніх каркасних моделей і інтерактивних систем до сучасних методів фізично коректної візуалізації, а також її реалізацію з використанням апаратного прискорення. Показано, що сучасні 3D-системи є результатом інтеграції програмних алгоритмів, графічних процесорів та оптимізованих програмних архітектур, що дозволяє застосовувати тривимірні моделі в реальному часі, інтерактивних середовищах, системах віртуальної та доповненої реальності.

Проведено огляд основних класів програмних засобів тривимірного моделювання та візуалізації, включаючи універсальні 3D-пакети, систем та рушіїв реального часу, які розглянуто як спеціалізовані програмні платформи для роботи з великими масивами тривимірних даних. Наголошено на важливості стандартизації форматів обміну та сумісності програмних середовищ для забезпечення інтеграції 3D-моделей у складні програмні системи.

Окремий блок першого розділу присвячено аналізу принципів стилізації тривимірних сцен, які в контексті комп'ютерних наук розглядаються як процес алгоритмічної трансформації візуальних характеристик об'єктів. Архітектурні та інтер'єрні стилі інтерпретовано як

формалізовані набори параметрів геометрії, матеріалів, кольору та освітлення, що можуть бути відтворені або модифіковані засобами 3D-графіки. Показано відмінності між фотореалістичними та нефотореалістичними підходами до візуалізації як різними обчислювальними моделями представлення тривимірної інформації.

Таким чином, результати першого розділу формують теоретичну та технологічну основу для подальшого дослідження методів комп'ютерної стилізації тривимірних інтер'єрів, орієнтованих на оптимізацію процесів моделювання й візуалізації та розв'язання прикладних задач комп'ютерних наук у сфері тривимірної графіки.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ 3D-ПРОЄКТУ У КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

2.1 Опис вихідних даних стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні

Ефективна реалізація 3D-проєкту починається з детального формулювання завдання та збору повних вихідних даних, що закладає міцну методологічну основу для всіх наступних етапів – моделювання, візуалізації та рендерингу. У практичній частині роботи виконано розробку та візуалізацію інтер'єру типової житлової квартири з цілеспрямованим застосуванням стилізації, яка відходить від буквального відтворення реальності.

Точність і повнота вихідних даних визначають правильність побудови геометричної моделі приміщення, налаштування освітлення, вибір матеріалів та колірної палітри, що забезпечує стильову єдність, художню виразність та візуальну переконливість інтер'єру. Недостатня деталізація або помилки на початковому етапі можуть ускладнити роботу на подальших стадіях, збільшуючи час і ресурси, необхідні для реалізації проєкту [11, с. 215].

Як об'єкт дослідження для практичної реалізації проєкту обрано тривимірну модель двокімнатної квартири типового планування, що відповідає характеристикам сучасного житлового простору. Загальна площа об'єкта становить близько 65 м², що дозволяє розглядати його як репрезентативний приклад для дослідження методів комп'ютерного моделювання та візуалізації інтер'єрів. Вибір такого об'єкта зумовлений можливістю апробації алгоритмічних підходів до побудови тривимірної сцени, параметризації геометрії приміщень, налаштування матеріалів, освітлення та стилізації у межах реалістичних просторових обмежень,

характерних для типового житла. Квартира включає такі основні функціональні зони: вітальня, поєднана з кухнею-студією, окрема спальня, санвузол та передпокій. Планування характеризується наявністю значних віконних прорізів як у вітальні, так і у спальні, що забезпечує достатнє проникнення природного світла протягом світлового дня. Це є важливим фактором для налаштування освітлення сцени у процесі візуалізації. Висота стель у приміщеннях є стандартною для сучасних житлових об'єктів і становить приблизно 2.7 м.

Вибір типового планування та площі об'єкта дозволив зосередитися на дизайнерських та візуалізаційних рішеннях, а не на складнощах, пов'язаних з унікальною або нестандартною архітектурою. Приміщення мають базові архітектурні форми без складних криволінійних елементів або арок у початковому варіанті, що надало гнучкість для експериментів з наповненням та стилізацією інтер'єру згідно з обраним дизайнерським напрямком. Наявність окремих функціональних зон дозволила розробити комплексний дизайн-проект, що охоплює різні типи приміщень і демонструє застосування обраного стилю в різноманітних умовах.

Основна задача, поставлена в межах практичної частини даного дослідження, полягала у створенні повноцінного дизайн-проекту та його візуалізації для інтер'єру житлової квартири. Це завдання охоплювало не лише архітектурне моделювання простору, але й його функціональне наповнення меблями, елементами декору, а також налаштуванням систем освітлення та матеріалів. Кульмінаційним етапом передбачався рендеринг серії фінальних зображень. Ключовим аспектом задачі, що визначав її специфіку, було не просто фотореалістичне відтворення, а цілеспрямоване застосування певного стилю інтер'єру та демонстрація можливостей його візуалізації в 3D-середовищі з потенційним використанням елементів стилізації, що відходять від буквального копіювання дійсності.

Такий підхід дозволяв не тільки продемонструвати технічні навички володіння програмним забезпеченням, а й виявити розуміння художніх

принципів дизайну та архітектури. Формулювання завдання передбачало отримання серії візуалізацій, що відображають ключові функціональні зони квартири – вітальню, кухню, спальню, санвузол та передпокій. Важливо було забезпечити не лише візуальну привабливість кожного окремого приміщення, але й їхню стильову єдність та гармонійне поєднання в рамках всього об'єкта. Крім того, висувалася вимога до чіткого представлення загальної атмосфери інтер'єру, що було досягнуто шляхом вибору відповідних матеріалів, колірних рішень та сценаріїв освітлення. Завдання також включало необхідність врахування ергономічних принципів та функціонального зонування простору, що є базовим для будь-якого дизайн-проєкту. Для успішної реалізації проєкту візуалізації інтер'єру квартири, що є практичною частиною даної кваліфікаційної роботи, на початковому етапі було здійснено збір та систематизацію відповідних вихідних матеріалів. Якість та повнота цих даних визначають точність подальшого моделювання та відповідність фінальної візуалізації дизайнерському задуму.

Основними вихідними даними, що слугували фундаментом для побудови тривимірної сцени, були двовимірні креслення (2D-плани) квартири. Дані креслення були надані у форматі DWG (Drawing), що є стандартним файловим форматом для систем автоматизованого проєктування.

Зазначені креслення містили повну інформацію щодо геометричних параметрів приміщень: точні розміри стін, їхню товщину, розташування віконних та дверних прорізів з їхніми габаритами, а також схеми інженерних комунікацій (місця розташування стояків водопостачання, вентиляційних шахт, електричних виводів). Використання САД-креслень забезпечило високу точність масштабування та дозволило коректно відтворити архітектурну основу квартири у 3D-середовищі, мінімізуючи похибки на етапі моделювання [21].

Референсні матеріали, зібрані у «мудборди» (mood boards), відігравали ключову роль у формуванні візуального концепту інтер'єру. Вони включали

зображення бажаного стилю, колірної гами, меблів, оздоблювальних матеріалів, декору та загальної атмосфери. Референси бралися з дизайнерських порталів, архітектурних видань та онлайн-галерей. Для «нової класики» використовувалися молдинги, класичні пропорції та світла палітра, для лофту – текстури цегли, бетону та металеві деталі. Мудборди слугували орієнтиром протягом проєктування, забезпечуючи стильову єдність і допомагаючи.

Додатково, було враховано аспекти, що зазвичай входять до технічного завдання на дизайн-проєкт. Які включали уявні побажання щодо функціонального зонування кожної кімнати (наприклад, зона відпочинку та робоче місце у вітальні), необхідний набір меблів для кожної зони, переважні типи оздоблювальних матеріалів (дерево, текстиль, кераміка, фарба) та орієнтовні естетичні переваги. Наявні вимоги вплинули на вибір конкретних об'єктів для моделювання та їхнє розміщення у сцені, що забезпечило не лише візуальну привабливість, а й функціональну обґрунтованість дизайн-рішень. Відтак, комплексний підхід до збору та аналізу вихідних матеріалів на початковому етапі дозволив створити чітку основу для подальшої роботи в 3D-середовищі, забезпечуючи точність моделювання та відповідність фінальної візуалізації обраному стилю та поставленим задачам.

Для практичної реалізації проєкту візуалізації інтер'єру було обрано комбінований стильовий напрямок: сучасна класика з елементами лофту. Представлений вибір обґрунтований низкою факторів, які враховують як естетичні переваги, так і методологічну цінність для даного дипломного дослідження. Визначення стилю на початковому етапі дозволяє цілеспрямовано обирати відповідні архітектурні форми, матеріали, меблі та елементи декору, забезпечуючи стильову єдність усього проєкту.

По-перше, сучасна класика забезпечує елегантність, гармонію та позачасовість інтер'єру. Використання молдингів, стінових панелей, світлої палітри та чистих ліній створює відчуття простору та легкості, що важливо для типової двокімнатної квартири.

По-друге, елементи лофту додають інтер'єру індивідуальності та динаміки. Грубі текстури стін і цегли, відкриті полиці, металеві деталі та контрастні акценти створюють багатошаровий, сучасний простір і підкреслюють індустріальний характер.

По-третє, комбінований стиль дає широкі можливості для візуалізації та стилізації в 3Ds Max. Мінімалістичні класичні елементи потребують точності моделювання та чистоти рендерингу, а текстури лофту дозволяють працювати з матеріалами, відображеннями та освітленням. Поєднання цих елементів сприяє експериментам із світлом, матеріалами та нефотореалістичними ефектами, підкреслюючи художній аспект інтер'єру.

2.2 Етапи моделювання та візуалізація 3D-інтер'єру засобами 3Ds Max

Моделювання архітектурного простору квартири розпочинається з імпортування вихідних архітектурних даних у програмне середовище Autodesk 3Ds Max. Для проєкту використовувалися двовимірні креслення (2D-плани) квартири, надані у форматі DWG. Даний формат містив інформацію щодо геометричних параметрів приміщень: розміри стін, їхню товщину, розташування віконних та дверних прорізів з їхніми габаритами, а також схеми інженерних комунікацій [14, с. 250].

Процес імпорту даних та побудови базової основи приміщення виконувався послідовно. Файл DWG з планом поверху квартири імпортувався до 3Ds Max через відповідне меню. Під час імпорту налаштовувалися одиниці виміру (були встановлені метри) та масштаб. Дана операція дозволяла забезпечити відповідність цифрової моделі фізичним розмірам об'єкта.

Імпортований план поверху слугував візуальною базою для створення основних архітектурних елементів приміщення. На основі ліній креслення побудовувалися контури внутрішніх та зовнішніх стін квартири. Для цього

застосовувався інструмент Line з категорії Shapes. Це дозволяло отримати точні полілінії, що відображали геометрію стін з урахуванням усіх ніш, виступів та поворотів. Отримані лінійні об'єкти (сплайни) замикалися.

До отриманих замкнутих лінійних об'єктів (сплайнів) застосовувався модифікатор Extrude. За допомогою цього модифікатора, контури стін видавлювалися у вертикальній площині на задану висоту, формуючи таким чином об'ємні стіни. Паралельно, для формування закритого архітектурного простору, створювалися площини для підлоги та стелі шляхом побудови окремих замкнутих сплайнів, що відповідали контурам приміщень, з подальшим застосуванням модифікатора Extrude для надання їм товщини.

На місцях, де згідно з кресленням мали бути розташовані віконні та дверні прорізи, виконувалися відповідні вирізи у стінах. Для цього використовувалися кілька методів. Для простих прямокутних прорізів могли застосовуватися булеві операції (Boolean). Однак, для забезпечення контролю над топологією та уникнення артефактів, переважно використовувалося полігональне моделювання. Це включало конвертацію об'єктів стін в Editable Poly та подальше застосування інструментів Cut, Connect та Bridge для формування точних віконних і дверних прорізів.

Після створення базової архітектурної оболонки квартири, що включає стіни, підлогу, стелю та прорізи, наступним послідовним етапом стало моделювання та розміщення основних функціональних елементів інтер'єру та меблів. Даний процес вимагає комбінування різних технік 3D-моделювання та ретельної роботи з бібліотеками готових об'єктів. Метою було наповнення простору об'єктами, що відповідають обраному стилю «сучасна класика з елементами лофту», забезпечуючи при цьому функціональність та естетичну цілісність.

Процес створення меблів та вбудованих конструкцій включав моделювання ключових елементів з нуля та адаптацію готових моделей. Для унікальних об'єктів – шаф, кухонних модулів та дизайнерських меблів – використовувалося полігональне моделювання через Editable Poly, що

дозволяло точно контролювати форму та пропорції. Застосовувалися базові операції:

1. Extrude (видавлювання): використовувався для надання об'єму плоским формам, таким як дверцята шаф, полиці, стільниці або боковини меблів. Наприклад, плоский контур фасаду шафи міг бути видавлений для створення об'ємної дверцятки.

2. Bevel (фаска): цей інструмент застосовувався для створення округлих або скошених країв на гранях об'єктів. Операція важлива для надання реалізму моделям, оскільки у реальному світі майже не існує абсолютно гострих кутів. Наприклад, фаски створювалися на краях стільниць, полиць та каркасів меблів.

3. Connect (з'єднання ребер) та Swift Loop (швидке створення реберних петель): інструменти використовувалися для додавання додаткових ребер у полігональну сітку, що дозволяло контролювати геометрію для подальшого згладжування або для створення додаткових деталей. Наприклад, для формування панелей на дверцятах шаф або для підготовки моделі до застосування згладжуючих модифікаторів.

4. Bridge (міст): застосовувався для з'єднання відкритих країв або створення складних геометричних переходів між групами полігонів, що було корисно при моделюванні вигнутих або складних форм.

5. Inset та Outline: використовувалися для створення внутрішніх контурів та обведень, що є корисним для деталей меблів, декоративних панелей, або для створення заглиблень на поверхнях.

6. Для надання товщини тонким об'єктам, таким як декоративні перегородки або тонкі стільниці, застосовувався модифікатор Shell.

7. Для згладжування меблів та надання органічної форми (кава-столик, стільці) застосовувався модифікатор Turbosmooth/OpenSubdiv, який збільшує полігони та усуває кутастість.

Моделювання сантехніки (раковина, унітаз, ванна, душова кабіна) та освітлювальних приладів (люстри, бра, точкові світильники) також

здійснювалося з урахуванням стильових особливостей. Дані елементи могли бути як повністю змодельовані з нуля для унікального дизайну, так і адаптовані з готових бібліотек. При адаптації особлива увага приділялася їхній оптимізації, щоб уникнути надмірної кількості полігонів, яка може негативно вплинути на продуктивність сцени та швидкість рендерингу [15, с. 40–50].

Для значної частини меблів, побутової техніки та дрібних декоративних елементів використовувалися високоякісні готові 3D-моделі з професійних онлайн-бібліотек (наприклад, 3Ds ky, Evermotion). Це дозволило значно прискорити процес наповнення сцени та забезпечити високий рівень деталізації, який був би надзвичайно трудомістким при повному моделюванні всіх об'єктів. Перед інтеграцією у сцену кожна імпортована модель проходила обов'язкову оптимізацію та підготовку:

Видалення зайвої геометрії: Видалялися полігони та вершини, які не будуть видимі з ракурсу камери (наприклад, внутрішні частини об'єктів або приховані елементи).

Конвертація у Editable Poly: Для уніфікації та спрощення подальшої роботи, всі імпортовані моделі конвертувалися в об'єкт Editable Poly.

Перевірка та корекція топології: Видалялися дублікати вершин або полігонів, виправлялися некоректні нормалі, що забезпечувало чистоту сітки та коректне відображення світла.

Налаштування масштабу: Кожна модель перевірялася та масштабувалася відповідно до реальних розмірів та одиниць виміру сцени, щоб забезпечити коректні пропорції в інтер'єрі.

Налаштування або перепризначення матеріалів: Імпортовані моделі часто мають стандартні матеріали, які не завжди сумісні з обраним рендерером (наприклад, V-Ray або Corona). Тому їхні матеріали перепризначалися або налаштовувалися заново з використанням Physical Material або матеріалів рендерера для коректного відображення. Відтак, етап моделювання був реалізований як комбінація власного створення об'єктів,

що відображають унікальні дизайнерські рішення, та ефективної адаптації готових бібліотечних моделей. Даний підхід дозволив досягти необхідного рівня деталізації та візуальної насиченості інтер'єру, що відповідав вимогам обраного стилю.

Після завершення етапу моделювання основних архітектурних елементів та розміщення меблів, наступним критично важливим кроком є деталізація та фіналізація моделі. Такий етап є необхідним для надання візуалізації високого рівня правдоподібності та завершеного вигляду, оскільки дрібні деталі значно впливають на загальне сприйняття інтер'єру.

Процес деталізації включав додавання елементів, які, хоча й можуть здаватися незначними, суттєво підвищують реалізм та візуальну насиченість сцени. Були змодельовані або адаптовані та встановлені такі дрібні архітектурні елементи, як:

1. Плінтуси: елементи, що розміщуються на стику стін та підлоги, були змодельовані з урахуванням профілю, що відповідає обраному стилю «сучасна класика».

2. Карнизи: декоративні елементи, що розташовуються на стику стін та стелі, були створені з відповідним профілем, що підкреслює класичні акценти.

3. Дверні коробки та наличники: елементи були змодельовані або адаптовані для всіх дверних прорізів, надаючи їм завершеного вигляду.

4. Підвіконня: для віконних прорізів були створені відповідні підвіконня.

5. Декоративні молдинги та панелі: зокрема, для стін вітальні та спальні були додані декоративні молдинги, що формують класичні панелі, як це видно на наданих візуалізаціях. Такий підхід вимагав точного моделювання профілів та їхнього розміщення на поверхні стін.

6. Вимикачі, розетки та інші елементи інсталяції: Розміщення цих функціональних деталей, що є типовими для будь-якого житлового простору,

сприяє підвищенню реалізму сцени, як правило, такі елементи імпортуються з бібліотек і позиціонуються відповідно до умовного дизайн-проєкту.

Окрім архітектурних деталей, важливим аспектом фіналізації моделі є розміщення дрібного декору та аксесуарів. Такі елементи виконують функцію «оживлення» сцени, надаючи їй житлового вигляду та індивідуальності. Додавалися такі предмети, як:

1. Книги та книжкові полиці: розміщувалися на відкритих полицях у вітальні.
2. Рослини у вазонах: розміщувалися по всій квартирі для додавання природних акцентів.
3. Картини та дзеркала: розміщувалися на стінах, слугуючи ключовими візуальними акцентами.
4. Предмети побуту та посуд: на кухні та обідньому столі розміщувалися відповідні елементи.
5. Текстиль: на дивані та ліжку розміщувалися подушки, пледи та покривала. Особлива увага приділялася їхній формі (зминання, складки), щоб надати їм природного вигляду, часто використовуючи симуляцію тканин або вже готових моделей з реалістичними деформаціями.

Після завершення деталізації було проведено етап оптимізації всієї моделі для рендерингу [16, с. 380]. Такий крок є критично важливим для забезпечення стабільної роботи програми, зменшення часу рендерингу та уникнення можливих артефактів. Оптимізація включала:

1. Перевірку та видалення зайвих або прихованих об'єктів: стосується об'єктів, що знаходяться поза зоною видимості камери, або тих, які були використані як допоміжні та більше не потрібні.
2. Об'єднання схожих об'єктів у групи або прикріплення (Attach): дозволяє зменшити кількість об'єктів у сцені, спрощуючи навігацію та управління ними.
3. Застосування модифікатора ProOptimizer: для моделей, які мали надмірну кількість полігонів, але не вимагали високої деталізації з певних

ракурсів (наприклад, фонові об'єкти), застосовувався модифікатор ProOptimizer для зменшення полігонажу при збереженні візуальної якості.

4. Перевірку та корекцію нормалей полігонів: нормалі (вектори, що визначають орієнтацію поверхні) повинні бути спрямовані коректно. Неправильні нормалі можуть призвести до некоректного відображення світла та матеріалів. Використовувався модифікатор Normal або інструменти Edit Poly для виправлення.

5. Очищення сцени (Scene Cleanup): за допомогою вбудованих інструментів 3Ds Max було проведено очищення сцени від тимчасових об'єктів, зайвих шарів, неактивних елементів та невикористаних матеріалів, що накопичуються під час роботи - сприяє підвищенню стабільності роботи програми та загальному прискоренню процесу рендерингу.

Таким чином, етап деталізації та фіналізації моделі був реалізований послідовно, від додавання дрібних архітектурних елементів до розміщення декору, з постійною увагою до оптимізації сцени. Це забезпечило високий рівень реалізму та готовність моделі до наступних етапів візуалізації.

2.3 Методи комп'ютерного моделювання та алгоритми стилізації 3D-інтер'єрів

Після завершення етапів моделювання та фіналізації тривимірної сцени, що включали створення архітектурних елементів, меблів та декору, наступним послідовним кроком у виробничому циклі 3D-візуалізації є етап налаштування візуалізації. Процес є багатокомпонентним і передбачає систематичне надання всім змодельованим об'єктам та поверхням їхніх специфічних візуальних властивостей. Це охоплює точне визначення їхнього кольору, що може бути як рівномірним, так і градієнтним, застосування різноманітних текстур, які імітують фактуру реальних матеріалів, налаштування ступеня шорсткості поверхні, що впливає на розсіювання світла, а також визначення її здатності до відбиття або заломлення світла.

На етапі візуалізації здійснювалась організація освітлення сцени, включно з вибором природних та штучних джерел, налаштуванням інтенсивності, кольору світла та напрямку променів для формування тіней, акцентів і глобального освітлення. Паралельно виконувалося налаштування камер (позиція, кут огляду, фокусна відстань) для оптимальної композиції сцени. Фінальним кроком був рендеринг у Autodesk 3Ds Max з Corona Renderer, що забезпечує фізично коректне світло та високу якість зображень. Метою цього процесу було створення переконливих візуалізацій, що точно передають стиль і задум інтер'єру, досягаючи реалізму або художньої стилізації [17, с. 200].

Робота з матеріалами та текстурами є ключовою для створення реалістичних та стилізованих візуалізацій інтер'єрів. У Autodesk 3Ds Max для цього використовувався Material Editor, переважно Slate Material Editor, що забезпечує гнучке підключення карт текстур та процедурних нод. Для досягнення реалізму та відповідності стилю «сучасна класика з елементами лофту» застосовувалися PBR-матеріали (Physically Based Rendering) через CoronaMtl у Corona Renderer, що дозволяє точно налаштувати колір, відображення, заломлення, глянцевість та рельєф поверхні.

Процес вибору та налаштування матеріалів для різних поверхонь інтер'єру здійснювався послідовно та з урахуванням стильових особливостей:

Стіни виконані переважно у світлих матових або напівматових тонах для відчуття простору, відповідно до сучасної класики. Для стінових панелей (молдинги) використовувався єдиний матеріал, що підкреслює однорідність і витонченість. Акцентна червона стіна з імітацією цегли отримала спеціальний матеріал із детальною картою Diffuse, налаштованою Roughness для шорсткості та Normal/Bump для рельєфу без збільшення полігонів. Підлога у вітальні, спальні та передпокої виконана зі світлого дерева (паркет «ялинкою») з текстурою волокон і невеликим блиском. Для санвузла та частини передпокою використана керамічна плитка з орнаментом,

деталізованими текстурними картами та Normal/Displacement для імітації швів. Меблі налаштовані за типом та стилем: дерев'яні елементи (кухонний острів, полиці, тумби) – з текстурами деревини та шорсткістю для реалізму; м'які меблі (диван, ліжка) – з текстурами тканини, шорсткістю та нормальми для передачі ворсу; металеві елементи – з високою чи низькою шорсткістю для блиску або матовості; пластикові та скляні деталі – з урахуванням специфічних властивостей.

Скло та дзеркала налаштовані з урахуванням фізичних властивостей: скло – з високою прозорістю та коректною рефракцією для заломлення світла; дзеркала – з високою рефлексивністю для достовірного відображення сцени та проходження світла.

Текстиль (штори, подушки, пледи): для штор на вікнах та текстильних елементів на дивані й ліжку (подушки, пледи) були створені матеріали тканини з відповідними текстурами та параметрами прозорості (для тюлю), що дозволяло імітувати їхню фактуру та взаємодію зі світлом.

Для точного накладання текстур використовували UVW Map для стандартних проекцій (Planar, Box, Cylindrical, Spherical) та Unwrap UVW для складних об'єктів, що дозволяє уникати спотворень і забезпечує контрольоване нанесення текстур.

Застосування різних типів карт текстур було важливим для створення реалізму та відповідності стилю:

- Albedo / Diffuse Map: карти використовувалися для визначення базового кольору поверхні об'єкта.

- Roughness Map: визначали мікрошорсткість поверхні, впливаючи на те, наскільки розмитими чи чіткими будуть відображення світла.

- Metallic Map: вказували, чи є поверхня металевою, впливаючи на її відображувальні властивості та взаємодію зі світлом.

- Normal Map / Bump Map: карти використовувалися для імітації дрібного рельєфу (наприклад, зернистості дерева, нерівностей на цеглі, фактури тканини) без необхідності збільшення полігонажу моделі, що

дозволяло створювати візуальну деталізацію з мінімальним навантаженням на сцену.

– Displacement Map: застосовувалися для створення реального, фізичного рельєфу на поверхнях під час рендерингу (наприклад, для рельєфних стінових панелей або плитки з вираженими швами), змінюючи геометрію моделі.

– Opacity Map: використовувалися для створення ефектів прозорості або вирізів (наприклад, для тюлю на вікнах або мереживних елементів).

Для підвищення якості візуалізації використовували готові бібліотеки матеріалів (Quixel, Poliigon, Corona) та комбіноване освітлення природними й штучними джерелами в 3Ds Max з Corona Renderer [26, с.230-245].

Природне освітлення реалізовувалося за допомогою Corona Sun та процедурної карти Corona Sky. Corona Sun створює направлене світло з налаштуванням положення, інтенсивності та кута для відтворення часу доби та тіней. Corona Sky генерує розсіяне світло та колір неба, забезпечуючи рівномірне глобальне освітлення сцени.

Штучне освітлення реалізовувалося за допомогою різних Corona Light: Sphere для точкових ламп та акцентів, Disc/Rectangle для вбудованих світильників, світлодіодних стрічок та освітлення від вікон, а також IES-профілів для реалістичного розподілу світла від конкретних світильників.

Самосвітні об'єкти: світильники та декоративні елементи отримували матеріали Corona LightMtl або CoronaMtl з увімкненим Emissive Color, що робило їх джерелами світла без додаткових Corona Light.

Глобальне освітлення (GI): Corona Renderer використовує Path Tracing і Photon Mapping для симуляції непрямого освітлення, створюючи м'які тіні та розсіювання світла. Параметри GI (кількість проходів, семплів) визначають якість та швидкість розрахунку.

LightMix: Для керування освітленням під час та після рендерингу використовувалася функція LightMix, вбудована у Corona Renderer. Джерела світла групувалися в LightMix-групи (наприклад, «Природне світло»,

«Точкові світильники», «Світлодіодна стрічка»). Це дозволяло змінювати інтенсивність та колір кожної групи світла окремо або вимикати їх без необхідності повторного рендерингу.

На етапі візуалізації інтер'єру здійснюється вибір та налаштування віртуальних камер. Камери у 3D-середовищі функціонують як точки огляду, що визначають перспективу, кадр та композицію фінального зображення. Завдання полягає у позиціонуванні камер для ефективного представлення проєкту.

У Autodesk 3Ds Max використовуються два типи віртуальних камер: Standard Camera для базового контролю перспективи та ракурсів і Physical Camera, що імітує реальні параметри фотоапарата для фотографічно коректних результатів. Physical Camera дозволяє налаштовувати ISO (чутливість до світла), Shutter Speed (витримку), F-Stop (діафрагму та глибину різкості), White Balance (колірну температуру) та Clipping Planes (обмеження видимості об'єктів), забезпечуючи точне відтворення композиції та стилю сцени.

Вибір ракурсів для демонстрації інтер'єру здійснювався з урахуванням композиційних принципів та необхідності представлення ключових зон квартири. Створювалися такі типи кадрів:

- загальні плани (overall shots): Відображають простір кімнати цілком, надаючи загальне уявлення про її планування та розміщення основних елементів;
- середні плани (medium shots): Фокусуються на конкретних функціональних зонах (наприклад, зона дивана, обідня група, робоче місце), демонструючи їхнє наповнення;
- детальні плани (detail shots): Акцентують увагу на дрібних елементах декору, текстурах матеріалів або особливостях меблів.

Позиціонування камери здійснювалося з використанням як Target Camera (камера з ціллю, що дозволяє контролювати фокусну точку), так і Free Camera (вільна камера для гнучкого позиціонування). Дотримувалися

основні принципи композиції кадру, такі як правило третин, використання напрямних ліній та фреймінгу (кадрування), що сприяє створенню візуально збалансованих зображень.

Налаштування параметрів камери впливає на взаємодію з рендерером Corona Renderer, оскільки Corona є фізично коректним рендерером. Параметри Physical Camera прямо інтерпретуються рендерером, забезпечуючи достовірну експозицію та світлотіньову картину. Застосування глибини різкості дозволяло фокусувати увагу на конкретних елементах інтер'єру, розмиваючи передній або задній план, що може створювати певний художній або фотографічний ефект.

Завершальним етапом процесу візуалізації тривимірного інтер'єру є фінальний рендеринг та подальша пост-обробка отриманих зображень. Ці кроки забезпечують перетворення всієї інформації, що була закладена під час моделювання, налаштування матеріалів, освітлення та камер, у готове двовимірне зображення. Метою є отримання високоякісних візуалізацій, що відповідають дизайнерському задуму та вимогам проєкту [22, с.143-150].

Вибір та налаштування рендерера: Для прорахунку фінальних зображень був обраний Corona Renderer, інтегрований у Autodesk 3Ds Max. Corona Renderer є фізично коректним рендерером, що базується на трасуванні шляхів (Path Tracing), що дозволяє досягати високого рівня реалізму та природного освітлення. Основні параметри рендерера, налаштовані для якісного рендерингу інтер'єрів, включали:

- Progressive Render: режим рендерингу дозволяє бачити зображення, що поступово покращується з часом, що є зручним для контролю якості та швидкого попереднього перегляду. Рендеринг зупиняється або за досягненням заданої кількості проходів (passes), або за досягненням встановленого ліміту шуму (noise limit).
- Noise Limit: Встановлення граничного значення шуму у відсотках (наприклад, 2–3 %) забезпечує досягнення необхідної чистоти зображення.

Рендерер автоматично зупиняє прорахунок, коли рівень шуму в сцені падає нижче встановленого порогу.

- **Render Elements (Рендер-елементи):** для подальшої гнучкої пост-обробки були активовані та виведені різні рендер-елементи (або рендер-паси). Дані елементи є окремими зображеннями, що містять специфічну інформацію про сцену:

Етапи пост-обробки: отримані після рендерингу зображення, разом з рендер-елементами, були піддані пост-обробці у графічному редакторі Adobe Photoshop. Пост-обробка дозволяє внести фінальні корективи та покращити візуальне сприйняття рендерів.

- **Корекція кольору та контрасту:** здійснювалася тонка корекція колірного балансу, яскравості та контрастності зображення для досягнення бажаної атмосфери та візуальної гармонії. Це могло включати налаштування рівнів, кривих, експозиції.

- **Додавання візуальних ефектів:**

- **глибина різкості (Depth of Field - DoF):** використовуючи ZDepth-канал, імітувалася глибина різкості, фокусуючи увагу на певних елементах інтер'єру та розмиваючи задній або передній план.

- **хроматичні аберації (Chromatic Aberration) та віньєтування (Vignetting):** імітувалися незначні оптичні спотворення, характерні для реальних фотоапаратів, що додавало зображенню більшої фотографічності.

- **додавання світлових променів та об'ємного світла (Volumetric Light):** могло здійснюватися за допомогою накладання шарів або фільтрів для створення ефекту проникаючих променів світла або пилу в повітрі.

- **грейдинг (Color Grading):** застосування загальних колірних фільтрів або пресетів для створення певного настрою або стилістичної єдності серії зображень.

- **композитинг:** рендер-елементи комбінувалися на окремих шарах, що дозволяло гнучко контролювати вплив відображень, тіней, оклюзії та інших

компонентів на фінальне зображення. Маски, отримані з Material ID / Object ID, використовувалися для точної корекції окремих об'єктів або матеріалів.

- Фіналізація зображення: додавання дрібних деталей, які не були змодельовані (наприклад, елементи оточення за вікном, якщо це необхідно для кадру) або фінальна корекція шуму за допомогою додаткових фільтрів.

Такий комплексний підхід до фінального рендерингу та пост-обробки дозволив отримати візуалізації високої якості, які не лише точно відображають дизайн інтер'єру, а й відповідають вимогам до естетичної виразності та стильового задуму проєкту.

Завершальним етапом процесу візуалізації тривимірного інтер'єру є фінальний рендеринг та подальша пост-обробка отриманих зображень. Дані кроки забезпечують перетворення всієї інформації, що була закладена під час моделювання, налаштування матеріалів, освітлення та камер, у готове двовимірне зображення. Метою є отримання високоякісних візуалізацій, що відповідають дизайнерському задуму та вимогам проєкту.

Для фінального рендерингу в проєкті використовувався Corona Renderer, інтегрований у Autodesk 3Ds Max. Це фізично коректний рендерер на основі трасування шляхів (Path Tracing), що забезпечує природне освітлення та високий рівень реалізму. Основні налаштування включали режим Progressive Render, який дозволяє бачити поступове покращення зображення, зупиняючи рендеринг за досягненням заданої кількості проходів або встановленого ліміту шуму (Noise Limit, наприклад 2–3%). Для гнучкої постобробки активувалися Render Elements – окремі зображення, що містять специфічну інформацію про сцену, що дозволяє коригувати освітлення, кольори та інші параметри після рендерингу.

Етап постобробки у Adobe Photoshop включав корекцію фінальних рендерів та рендер-елементів для покращення візуального сприйняття та додавання художніх акцентів. Виконувалася базова корекція зображення: налаштування яскравості, контрастності, експозиції та кольорового балансу для досягнення гармонійної атмосфери. Рендер-паси імпортувалися як окремі

шари, що дозволяло гнучко контролювати різні компоненти сцени: канали `_Reflection` та `_Refraction` регулювали відображення і заломлення світла, `_Ambient Occlusion` посилював тіні для додання об'єму, `_ZDepth` імітував глибину різкості та створював ефект туману, а `_Material ID / Object ID` забезпечував точне виділення об'єктів для корекції кольору чи властивостей без впливу на інші елементи сцени, це сприяло отримати професійні, стилізовані та візуально переконливі зображення інтер'єру.

Додавання візуальних ефектів включало хроматичні аберації та віньєтування для імітації оптичних спотворень, що додавало фотографічності; світлові промені та об'ємний пил для ефекту проникнення світла та атмосфери; а також грейдінг для створення певного настрою, стилістичної єдності та художнього тону зображень.

Фіналізація зображення: Додавання дрібних деталей, які не були змодельовані (наприклад, елементи оточення за вікном, якщо це необхідно для кадру) або фінальна корекція шуму за допомогою додаткових фільтрів та плагінів для денойзингу.

Такий комплексний підхід до фінального рендерингу та пост-обробки дозволив отримати візуалізації високої якості, які не лише точно відображають дизайн інтер'єру, а й відповідають вимогам до естетичної виразності та стильового задуму проєкту, зокрема, поєднання сучасної класики з елементами лофту.

2.4 Аналіз та узагальнення результатів стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні

Фінальний етап практичної частини дослідження передбачав аналіз отриманих візуалізацій інтер'єру квартири. Такий аналіз дозволяє оцінити якість виконаної роботи, відповідність візуальних рішень задекларованому стилю та ефективність застосованих методів у програмному середовищі Autodesk 3Ds Max.

Для всебічного представлення виконаного дизайн-проекту та його візуалізації було згенеровано серію зображень, що відображають ключові функціональні зони квартири з різних ракурсів. Такі візуалізації демонструють результат моделювання, налаштування матеріалів, освітлення та рендерингу, а також реалізацію обраного стилю.

Отримані візуалізації включають наступні зони: вітальня: (додаток А).

Відображається Г-подібний диван помаранчевого кольору, доповнений червоними подушками, розташований на світлому килимі. Перед диваном розміщено світлий журнальний столик з двома рівнями.

У робочій зоні представлено білий стіл та зелене крісло. На стіні за диваном розміщено картину із зображенням стилізованих кульбаб у світлих тонах. У лівій частині деяких кадрів вітальні видно вбудовану шафу зеленого кольору з рівними панелями.

На протилежній стіні розташована телевізійна зона, що включає телевізор з чорним екраном, встановлений на зеленій тумбі. Поруч розміщені аудіоколонки чорного кольору з жовтими елементами.

Ліворуч від телевізора розташований стелаж із відкритими полицями коричневого кольору, на яких розміщені книги та декоративні елементи, зокрема рослини у горщиках.

Загальні та детальні ракурси вітальні демонструють освітлення, взаємодію матеріалів (молдинги на білих стінах) та меблі.

Спальня: (додаток Б). Відображається велике ліжко помаранчевого кольору, з коричневим пледом та подушками, розташоване між двома приліжковими тумбами.

На стіні за ліжком розміщені дві картини з абстрактним пейзажем у світлих тонах.

На протилежній стіні розташована велика вбудована шафа білого кольору, що має декоративні вертикальні лінії. Поруч із шафою розміщено кругле дзеркало над туалетним столиком.

Присутні види, що показують розташування меблів, світлих штор на вікнах та загальну естетику приміщення.

Гардероб: (додаток В). Представлена внутрішня організація гардеробної зони з відкритими полицями світлого кольору для одягу та взуття. Ця зона відокремлена світлими шторами. Видно світлодіодне підсвічування полиць.

Коридор (передпокій): (додаток Г). Відображається підлога, вимощена плиткою з ромбоподібним візерунком світлих та сірих тонів. Стіни виконані у світлому кольорі з виразними молдингами.

Присутні білі дверні отвори з чорними ручками.

У деяких ракурсах видно зелену вбудовану шафу, що відокремлює частину передпокою. На стінах розміщені картини з пейзажами.

Санвузол: (додаток Д). Відображається біла раковина з прямокутною чашею на скляній поверхні, розташована над дерев'яною тумбою. Поруч розміщений унітаз.

На одній зі стін використана плитка з характерним орнаментом у теплих тонах (мозаїчний візерунок). Душова кабіна відокремлена скляними перегородками.

Представлена зона з пральною та сушильною машинами, розташованими одна над одною, під стільницею, з полицями для зберігання.

Кухня: (додаток Е). Відображається кухонний острів з дерев'яною стільницею та барними стільцями.

Основний кухонний гарнітур представлений у сірих відтінках, з вбудованою побутовою технікою (духова шафа, варильна поверхня, витяжка).

На фартуху кухні використана плитка «кабанчик» білого кольору, укладена «ялинкою».

У зоні їдальні розташований стіл зі світлою стільницею та чорними ніжками, оточений зеленими стільцями. Над столом розташована підвісна люстра.

На одній зі стін їдальні розміщені дві картини та декоративні молдинги, а сама стіна має теракотовий колір. Вікна обладнані горизонтальними жалюзі.

Аналіз відповідності отриманих візуалізацій задекларованому стилю проводиться шляхом зіставлення візуальних характеристик рендерів з визначеними ознаками обраних стильових напрямків. Для проєкту візуалізації інтер'єру квартири було обрано комбінований стильовий напрямок: сучасна класика з елементами лофту.

Відповідність стилю сучасна класика забезпечена системною інтеграцією його характерних елементів. На візуалізаціях вітальні та спальні спостерігаються білі стіни, декоровані класичними молдингами та панелями, що є ознакою класичного стилю. Такі елементи адаптовані до сучасної естетики шляхом збереження чистого білого кольору та відсутності надмірного орнаменту, що підкреслює їхню функціональність у контексті мінімалізму. Переважання світлих, нейтральних відтінків (білий, бежевий, світло-сірий) для стін, стелі та основних меблів (наприклад, журнальний столик у вітальні) створює відчуття простору та елегантності, що відповідає принципам сучасної класики. Улаштування простору, зокрема у спальні, де ліжко розташоване симетрично між приліжковими тумбами, а також візуальні акценти на стінах (картини), відображають принципи симетрії та гармонії, характерні для класичних напрямків. Елегантні форми меблів, незважаючи на їхню сучасність, мають певну стриманість та лаконічність. Використання прихованих точкових світильників та світлодіодних стрічок у нішах стелі створює м'яке, рівномірне освітлення, що підкреслює архітектурні форми без візуального перевантаження, типового для традиційної класики. Дверні полотна з фрезерованими панелями та наличники також відповідають естетиці сучасної класики. Покриття підлоги світлим паркетом або плиткою зі стриманим візерунком доповнює загальну картину.

Інтеграція елементів лофту реалізована через наступні візуальні компоненти, що створюють контраст та додають індустріальний характер. Наявність акцентної стіни теракотового або червоно-коричневого кольору з вираженою грубою текстурою або імітацією цегляної кладки у вітальні (зокрема, біля стелажів та в зоні ТВ) та в зоні їдальні, є прямим посиленням на індустріальну естетику лофту. Така текстура протиставляється гладким і світлим поверхням класичних елементів. Металеві та дерев'яні відкриті стелажі (наприклад, у вітальні) демонструють функціональність та відсутність зайвих прихованих конструкцій, що є характерним для лофту. Використання насиченого зеленого кольору для вбудованих шаф у вітальні та спальні, а також для тумб під телевизором та деяких крісел, є сміливим колірним акцентом. Даний відтінок відходить від традиційної класичної палітри та наближається до сміливих іноді контрастних акцентів, характерних для лофту, надаючи динамічності. Деякі елементи, як-от простий журнальний столик або кухонний острів з барними стільцями, поєднують функціональність з лаконічністю форм, що може бути інтерпретовано як елементи лофту. Хоча й мінімально, присутність окремих елементів, що можуть бути асоційовані з промисловою естетикою (наприклад, деякі деталі світильників, відкриті полиці на кронштейнах), також є характерною рисою лофту, що інтегрується в загальний простір [23].

Загалом, отримані візуалізації демонструють поєднання двох стильових напрямків. Елементи сучасної класики забезпечують візуальну вишуканість та упорядкованість, що відповідає загальним принципам гармонії. Водночас, елементи лофту додають інтер'єру характеру, візуального контрасту та оригінальності. Взаємодія цих стилів створює гармонійний, візуально цікавий та багатошаровий простір, що відповідає поставленій меті проєкту щодо стилізації інтер'єру через поєднання різних естетичних напрямків. Коректність реалізації обраного стилю відображається у виборі та інтеграції відповідних матеріалів, колірних рішень, форм меблів та декоративних елементів, а також у загальній композиції та освітленні сцени[23].

Аналіз практичної реалізації проєкту візуалізації інтер'єру квартири дозволяє визначити переваги та недоліки методів, що були застосовані на всіх етапах робочого процесу, починаючи від моделювання і закінчуючи фінальним рендерингом та пост-обробкою. Такий критичний аналіз сприяє виявленню найбільш ефективних підходів та окресленню потенційних шляхів для подальшого вдосконалення. Застосовані методи продемонстрували ряд переваг. Точність моделювання, що базувалася на імпорті 2D-креслень у форматі DWG до 3Ds Max, забезпечила високу геометричну відповідність реальним розмірам та пропорціям архітектурних елементів. Використання полігонального моделювання (Editable Poly) та сплайнів дозволило створити як базові форми, так і деталізовані елементи інтер'єру. Гнучкість у роботі з матеріалами забезпечувалася застосуванням PBR-матеріалів у Corona Renderer, що дозволило досягти фізично коректного відображення поверхонь, включно з текстурами дерева, металу, текстилю та цегли, та сприяло достовірному відтворенню стильових особливостей. Ефективність освітлення була досягнута комбінованим підходом з використанням Corona Sun/Sky для природного світла та Corona Light для штучних джерел, а також застосуванням IES-профілів. Функція LightMix надала можливість гнучкого налаштування сценаріїв освітлення без повторного рендерингу. Якість рендерингу, забезпечена Corona Renderer, дозволила отримати високу якість фінальних зображень з природним глобальним освітленням та м'якими тінями. Вбудований денойзер сприяв отриманню чистих зображень. Можливості стилізації були реалізовані через налаштування параметрів матеріалів (використання текстур з імітацією грубої поверхні для елементів лофту та гладких матеріалів для сучасної класики), а також за допомогою пост-обробки у графічному редакторі. Активне залучення оптимізованих готових 3D-моделей з професійних бібліотек значно прискорило процес наповнення сцени та забезпечило високий рівень деталізації. Однак, виявлено і певні недоліки та виклики. Високі вимоги до обчислювальних ресурсів були помітними, оскільки

створення деталізованих 3D-інтер'єрів з фізично коректними рендерерами вимагає значних потужностей, що може призводити до тривалого часу рендерингу. Складність оптимізації сцени, обумовлена великим обсягом геометрії та текстур, також впливає на продуктивність[24].

Виконаний аналіз отриманих результатів візуалізації та досвіду, набутого під час реалізації проєкту, дозволяє визначити потенційні напрямки для покращення виконаної роботи, а також окреслити перспективи для подальшого розвитку подібних проєктів у галузі тривимірної графіки. Процес вдосконалення методик та інструментарію є безперервним у комп'ютерній графіці. Для проєктів зі складною геометрією та високою деталізацією, подальша оптимізація сцени є необхідною для підвищення продуктивності, процес може включати більш інтенсивне використання інструментів для зменшення полігонажу (наприклад, модифікатора ProOptimizer) для об'єктів, що знаходяться на фоні або не потребують максимальної деталізації. Застосування проксі-об'єктів (Proxy) для складних моделей з великою кількістю полігонів, таких як рослини або дрібний декор, дозволяє завантажувати їхню повну геометрію лише під час рендерингу, зменшуючи навантаження на оперативну пам'ять у вікні перегляду. Також раціональним є використання інстансів (Instances) замість копій для об'єктів, що повторюються у сцені, оскільки інстанси зберігають лише посилання на вихідний об'єкт, економлячи ресурси. Для масштабування обчислювальних потужностей при рендерингу складних сцен, що вимагають тривалого часу прорахунку, може бути розглянуто можливості використання хмарних рендер-ферм.

З огляду на тему дослідження, подальший розвиток проєкту може включати поглиблену інтеграцію методів стилізації, що виходять за межі традиційної пост-обробки. Це може передбачати розробку кастомних шейдерів шляхом створення власних матеріалів (з використанням Node Editor у Corona Renderer або MAXScript у 3Ds Max) для імітації специфічних художніх ефектів безпосередньо на етапі рендерингу. Наприклад, можуть

бути розроблені шейдери, які створюють ефекти мазків пензля, акварельних плям, графічних візерунків або унікальних видів штрихування. Також може бути досліджено можливості інтеграції алгоритмів, що базуються на машинному навчанні, таких як Neural Style Transfer або генеративно-змагальні мережі (GAN), для автоматичного перенесення художнього стилю з референсних зображень (наприклад, картин відомих художників) на 3D-рендери інтер'єрів. Такий підхід дозволить отримати унікальні стилізовані візуалізації з потенційно меншими ручними зусиллями та значно розширити діапазон можливих стилів. Додатково, вивчення спеціалізованих NPR-інструментів (нефотореалістичного рендерингу), що є окремими програмними пакетами або плагінами, може запропонувати більш гнучкі та автоматизовані засоби для досягнення бажаного художнього стилю, порівняно з можливостями універсальних рендерерів.

Таким чином, виконаний проєкт є базою для подальших досліджень у сфері стилізації 3D-інтер'єрів. Виявлені напрямки покращення та розвитку свідчать про значний потенціал для вдосконалення візуалізаційних методик, що сприятиме підвищенню якості та художньої цінності проєктів у галузі дизайну та архітектури.

Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи реалізовано практичну частину дослідження, спрямовану на апробацію теоретичних положень і технологічних підходів тривимірної графіки в межах задач комп'ютерних наук. Практична реалізація виконувалась у вигляді створення та візуалізації тривимірної сцени, що моделює інтер'єр двокімнатної квартири типового планування, яка розглядалася як формалізований об'єкт для дослідження алгоритмів моделювання, стилізації та візуалізації просторових даних.

На початковому етапі проведено аналіз та структурування вихідних даних, визначено просторову конфігурацію об'єкта, функціональні зони та

параметри сцени, що дозволило сформувати логічну модель тривимірного середовища. Вибір комбінованого стилістичного підходу розглядався не як художнє рішення, а як набір формалізованих візуальних характеристик, які були реалізовані шляхом параметричної трансформації геометрії, матеріалів та освітлення у цифровому середовищі.

Архітектурна основа сцени, елементи меблювання та допоміжні об'єкти були створені в середовищі Autodesk 3Ds Max із застосуванням полігонального та сплайнового моделювання як базових методів формалізованого опису геометрії. Інтеграція готових тривимірних моделей вимагала уніфікації масштабів, топології та матеріальних параметрів, що дозволило забезпечити узгодженість сцени та знизити обчислювальне навантаження. Значну увагу приділено оптимізації геометрії, керуванню кількістю полігонів та ієрархії об'єктів як важливим аспектам продуктивності 3D-систем.

Процес візуалізації базувався на використанні фізично коректної моделі відображення матеріалів і освітлення з застосуванням PBR-підходу. Налаштування природного та штучного освітлення, глобального освітлення, параметрів камери та рендерингу здійснювалося з урахуванням балансу між якістю зображення та обчислювальними витратами. Використання Corona Renderer дозволило реалізувати фізично обґрунтовану модель світлорозсіювання та взаємодії матеріалів зі світлом, що забезпечило стабільність і передбачуваність результатів рендерингу. Фінальна постобробка розглядалася як етап додаткової алгоритмічної корекції зображення, спрямованої на підвищення візуальної цілісності сцени.

Отримані результати підтвердили ефективність обраних методів комп'ютерного моделювання та візуалізації з точки зору точності геометричного представлення, гнучкості налаштування матеріалів і освітлення, а також можливостей керованої стилізації тривимірної сцени. Водночас у ході реалізації було виявлено низку обмежень, зокрема високу ресурсомісткість фізично коректного рендерингу, складність оптимізації

сцен із високим рівнем деталізації та обмежену придатність фотореалістичних підходів для досягнення «чистої» стилізованої візуалізації без додаткових алгоритмічних трансформацій.

Окреслено напрями подальшого розвитку практичної частини, серед яких оптимізація структури сцени та матеріалів, впровадження альтернативних методів стилізації, зокрема нефотореалістичних підходів, а також інтеграція інтерактивних технологій і рендерингу в реальному часі. Це підтверджує доцільність використання сучасних 3D-технологій як інструменту розв'язання прикладних задач комп'ютерних наук, пов'язаних із моделюванням, візуалізацією та стилізацією тривимірних даних.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи виконано комплексне дослідження методів та алгоритмів стилізації 3D-інтер'єрів у комп'ютерному моделюванні як прикладної задачі комп'ютерних наук. У процесі роботи досягнуто поставленої мети, яка полягала в аналізі, систематизації та практичній апробації підходів до керованої стилізації тривимірних інтер'єрних сцен із використанням сучасних програмних засобів і алгоритмічних методів візуалізації.

У результаті дослідження визначено перспективні напрями подальшого розвитку теми, серед яких: автоматизація стилізації 3D-інтер'єрів, використання процедурних і генеративних алгоритмів, інтеграція методів машинного навчання, розвиток нефотореалістичних підходів до візуалізації, а також адаптація створених 3D-сцен для інтерактивних середовищ, ігрових рушіїв і VR/AR-застосунків.

У ході дослідження 3D-інтер'єр розглянуто не як художній об'єкт, а як формалізовану тривимірну сцену, що складається з геометричних, матеріальних та світлових параметрів, які можуть бути керовані алгоритмічними методами. Це дозволило інтерпретувати стилізацію як обчислювальний процес, заснований на зміні параметрів геометрії, матеріалів, освітлення та рендерингу в межах графічного конвеєра.

Моделювання та візуалізація інтер'єру виконувалися у середовищі Autodesk 3Ds Max, яке розглянуто як комплексну програмну платформу для реалізації алгоритмів комп'ютерної графіки. У процесі створення сцени застосовано принципи оптимізації геометрії, ієрархічної організації об'єктів і параметричного керування матеріалами, що сприяло підвищенню ефективності роботи зі сценою та зменшенню обчислювального навантаження.

Особливу увагу приділено налаштуванню матеріалів, текстур і освітлення як ключових компонентів стилізації 3D-інтер'єру. Застосування фізично коректних матеріалів та глобального освітлення дозволило досягти високої візуальної якості, водночас продемонструвавши залежність між рівнем реалізму, стилістичною виразністю та обчислювальними витратами. Фінальний рендеринг виконано з використанням Corona Renderer, що дало змогу дослідити практичні аспекти роботи з алгоритмами трасування шляхів і параметрами оптимізації рендерингу.

Практичним результатом роботи стало створення завершеного проєкту стилізованого 3D-інтер'єру у стилі сучасної класики з елементами лофту. Реалізація проєкту підтвердила ефективність використаних методів і алгоритмів стилізації, а також продемонструвала можливість формалізованого керування візуальними характеристиками тривимірної сцени. Водночас у процесі роботи виявлено низку обмежень, зокрема високу ресурсомісткість фотореалістичних алгоритмів, складність оптимізації великих сцен та потребу у значних обчислювальних ресурсах..

У результаті дослідження визначено перспективні напрями подальшого розвитку теми, серед яких: автоматизація стилізації 3D-інтер'єрів, використання процедурних і генеративних алгоритмів, інтеграція методів машинного навчання, розвиток нефотореалістичних підходів до візуалізації, а також адаптація створених 3D-сцен для інтерактивних середовищ, ігрових рушіїв і VR/AR-застосунків.

Отримані результати засвідчили, що застосування алгоритмічних методів стилізації дозволяє підвищити керованість візуалізації, забезпечити стабільність результатів та адаптивність 3D-сцен до різних вимог і умов використання. Водночас у процесі дослідження виявлено обмеження, пов'язані з високою ресурсомісткістю фотореалістичних алгоритмів, складністю оптимізації великих сцен та залежністю якості результатів від обчислювальних ресурсів

Таким чином, кваліфікаційна робота має теоретичну та практичну цінність для галузі комп'ютерних наук, оскільки поєднує аналіз алгоритмічних основ 3D-графіки з практичною реалізацією методів стилізації тривимірних інтер'єрів, демонструючи можливості сучасних програмних засобів у задачах комп'ютерного моделювання та візуалізації, та демонструє можливість розгляду стилізації 3D-інтер'єрів як алгоритмічної задачі обробки тривимірних даних у сучасних програмних системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Архипенко В. П. Сучасні тенденції в інтер'єрному дизайні: монографія. Київ: Будівельник, 2020. 280 с.
2. Бойко О. С. Методи фотореалістичної візуалізації архітектурних об'єктів. *Архітектурні дослідження*. 2021. Т. 12, № 4. С. 88–102.
3. Васильчук Р. Т. Комп'ютерна графіка та її застосування: підручник. Львів : Світ, 2019. 410 с.
4. Глушко Н. М. Нефотореалістичний рендеринг у художньому оформленні відеоігор. *Вісник комп'ютерних наук*. 2022. Т. 8, № 1. С. 75–89.
5. Захарчук Л. В. Інтеграція BIM-технологій у процеси 3D-візуалізації. В кн.: *Матеріали VIII Міжнародної конференції з інформаційних технологій в будівництві*. Дніпро : Технічний університет, 2023. С. 30–35.
6. Ігнатенко М. А. Освітлення в 3D-графіці: теорія та практика : монографія. Одеса: *Наука і освіта*, 2020. С. 215–224.
7. Калініченко С. Д. Специфіка роботи з PBR-матеріалами у сучасних рендерерах. *Проблеми комп'ютерного дизайну*. 2021. Т. 6, № 3. С. 110–125.
8. Ковальчук П. В. Дизайн інтер'єрів: стилі та напрямки : монографія. Київ : Основа, 2019. 320 с.
9. Мельник Г. В. Візуалізація архітектурних проєктів : монографія. Львів : Національний університет, 2018. 250 с.
10. Ніколаєнко Т. Ф. Оптимізація 3D-моделей для рендерингу в реальному часі. *Науковий вісник комп'ютерної інженерії*. 2021. Т. 10, № 1. С. 40–50.
11. Серпєвський В. Г., Цідило І. М. Сучасні тенденції у фотореалістичній візуалізації інтер'єрів. *Сучасні цифрові технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи* : матеріали XVI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Тернопіль, 6-7 листопада, 2025 р.). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2025. С. 254–257.

12. Пономаренко Ю. С. Проектування та візуалізація інтер'єрів в Autodesk 3Ds Max: посібник. Київ : Комп'ютерний світ, 2020. 380 с.
13. Ткаченко І. О. Основи дизайну та композиції : підручник. Харків : Видавництво, 2019. 200 с.
14. Cohen M. F. The Hemi-Cube: A Radiosity Solution for Complex Environments. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. 1985. Vol. 19, № 3. P. 31–40.
15. Cook R. L. Distributed Ray Tracing. *Computer Graphics (SIGGRAPH '84 Proceedings)*. 1984. Vol. 18, № 3. P. 137–145.
16. Foley J. D. Computer Graphics: Principles and Practice : in 2nd ed. / J. D. Foley, A. Van Dam, S. K. Feiner, J. F. Hughes. Reading (MA): Addison-Wesley, 1995. 1175 p.
17. Goodfellow I. Deep Learning, I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville. Cambridge (MA) : MIT Press, 2016. 800 p.
18. Kajiya J. T., Kajiya J. T. The Rendering Equation. *Computer Graphics (SIGGRAPH '86 Proceedings)*. 1986. Vol. 20, № 4. P. 143–150.
19. Khristenko V., Review A. Global Illumination Techniques. *Advances in Visual Computing*. 2021. P. 230–245.
20. Makarov A. Neural Style Transfer for 3D Objects. *Journal of Computer Graphics Techniques*. 2023. Vol. 12, № 2. P. 50–67.
21. Pharr M. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation / M. Pharr, G. Humphreys. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2010. 1100 p.
22. Phong B. T. Illumination for Computer Generated Pictures. *Communications of the ACM*. 1975. Vol. 18, № 6. P. 311–317.
23. Whitted T. An Improved Illumination Model for Shaded Display. *Communications of the ACM*. 1980. Vol. 23, № 6. P. 343–349.

ДОДАТКИ

Додаток А

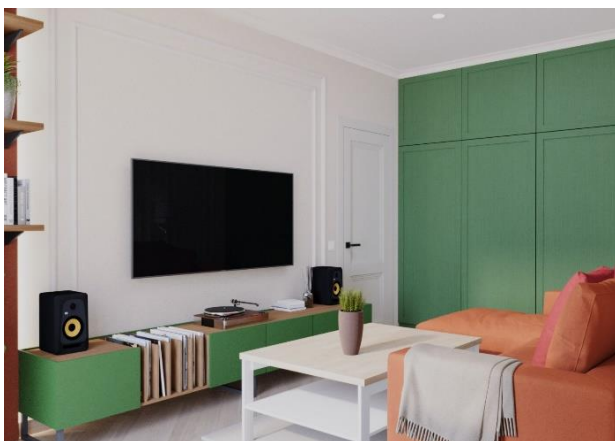


Рис. 1. 3D-візуалізація вітальня



Рис. 2. 3D-візуалізація вітальня



Рис. 3. 3D-візуалізація вітальня

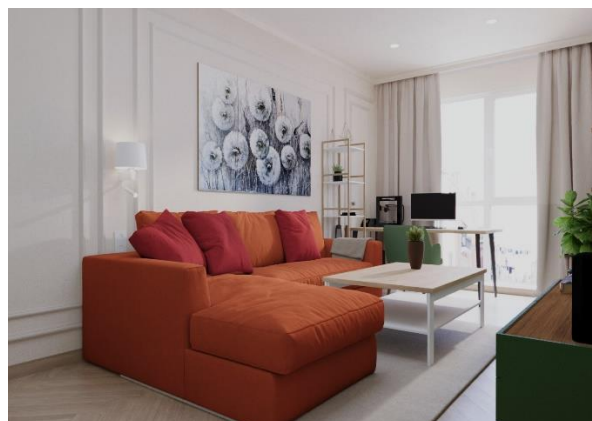


Рис. 4. 3D-візуалізація вітальня



Рис. 5. 3D-візуалізація вітальня



Рис. 6. 3D-візуалізація вітальня



Рис. 7. 3D-візуалізація вітальня



Рис. 8. 3D-візуалізація вітальня

Додаток Б



Рис. 1. 3D-візуалізація спальня



Рис. 2. 3D-візуалізація спальня

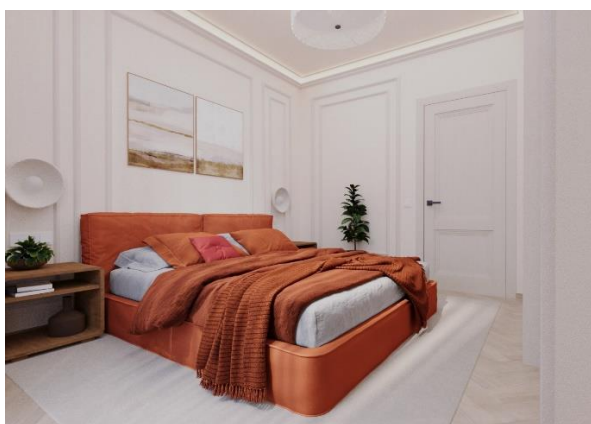


Рис. 3. 3D-візуалізація спальня



Рис. 4. 3D-візуалізація спальня



Рис. 5. 3D-візуалізація спальня



Рис. 6. 3D-візуалізація спальня



Рис. 7. 3D-візуалізація спальня



Рис. 8. 3D-візуалізація спальня

Додаток В*Рис. 1. 3D-візуалізація гардероб**Рис. 2. 3D-візуалізація гардероб**Рис. 3. 3D-візуалізація гардероб**Рис. 4. 3D-візуалізація гардероб*

Додаток Г

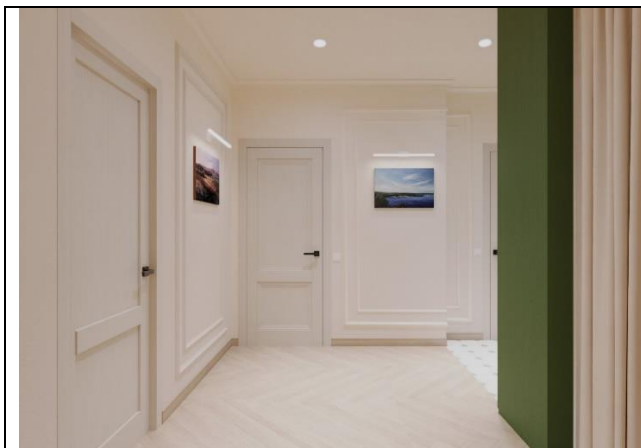
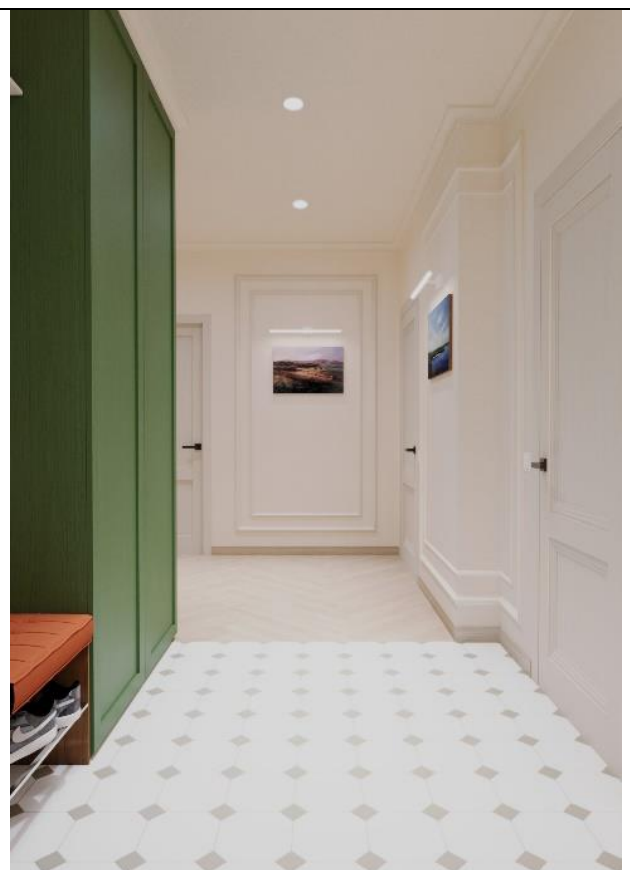
*Рис. 1. 3D-візуалізація коридор**Рис. 2. 3D-візуалізація коридор**Рис. 3. 3D-візуалізація коридор**Рис. 4. 3D-візуалізація коридор*



Рис. 5. 3D-візуалізація коридор



Рис. 6. 3D-візуалізація коридор

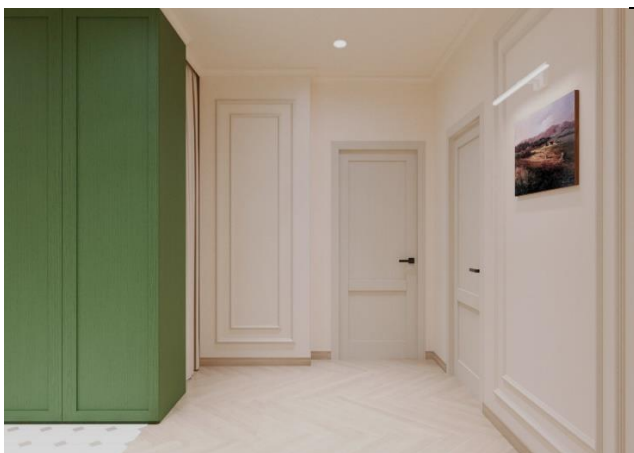


Рис. 7. 3D-візуалізація коридор

Додаток Д



Рис. 1. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 2. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 3. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 4. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 5. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 6. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 7. 3D-візуалізація ванна кімната



Рис. 8. 3D-візуалізація ванна кімната

Додаток Е

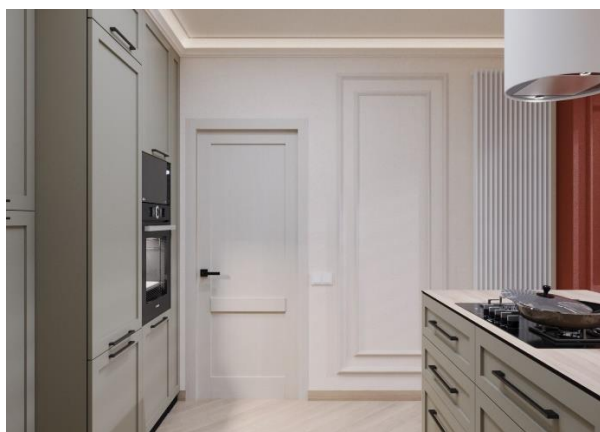
*Рис. 1. 3D-візуалізація кухня**Рис. 2. 3D-візуалізація кухня**Рис. 3. 3D-візуалізація кухня**Рис. 4. 3D-візуалізація кухня**Рис. 5. 3D-візуалізація кухня**Рис. 6. 3D-візуалізація кухня*



Рис. 7. 3D-візуалізація кухня



Рис. 8. 3D-візуалізація кухня



Рис. 9. 3D-візуалізація кухня



Рис. 10. 3D-візуалізація кухня



Рис. 11. 3D-візуалізація кухня



Рис. 12. 3D-візуалізація кухня