

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Факультет інформаційних технологій та математики
Кафедра комп'ютерних наук

Допущено до захисту
Завідувач кафедри комп'ютерних наук,
доктор технічних наук, професор
Андрій БОНДАРЧУК
«01» червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальність 122 Комп'ютерні науки
освітня програма 122.00.01 Інформатика**

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНІМАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ «РОЗУМНОГО ДОМУ» З АПАРАТНОЮ СИМУЛЯЦІЄЮ НА ПЛАТФОРМІ TINKERCAD

Виконав
студент групи ІНб-2-22-4.0д
Вільчинський Євгеній Владиславович

Науковий керівник
кандидат педагогічних наук,
Співак С. М.

Київ – 2026

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Факультет інформаційних технологій та математики
Кафедра комп'ютерних наук

«Затверджую»

Завідувач кафедри комп'ютерних наук
доктор технічних наук, професор
Андрій БОНДАРЧУК
« 31» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
«3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНІМАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ “РОЗУМНОГО
ДОМУ” З АПАРАТНОЮ СИМУЛЯЦІЄЮ НА ПЛАТФОРМІ TINKERCAD»**

Виконавець – студент групи ІНб-2-22-4.0д,
спеціальності 122 Комп'ютерні науки,
освітньої програми 122.00.01 Інформатика
Вільчинський Євгеній Владиславович

1. Вихідні дані: Міжнародні наукові статті, книги, технічна документація за напрямком тривимірного моделювання та електронної схемотехніки.
2. Основні завдання: Дослідити теоретичні основи систем “Розумний дім” та визначити роль 3D-візуалізації й анімації у проектуванні інтелектуальних систем. Проаналізувати сучасні програмні засоби для 3D-моделювання та апаратної симуляції електронних компонентів, зокрема Blender та Tinkercad. Розробити 3D-моделі елементів системи “Розумний дім”, виконати їх текстурування, налаштувати освітлення сцени та створити анімацію роботи ключових компонентів у середовищі Blender. Реалізувати апаратну симуляцію системи у Tinkercad, провести тестування функціонування та узгодити результати з анімацією для демонстрації роботи системи.
3. Пояснювальна записка: Обсяг - до 45 стор. формату А4 комп'ютерного набору з дотриманням вимог стандарту і методичних рекомендацій кафедри.
4. Графічні матеріали: Презентація; Відео роботи 3D-анімації та апаратної симуляції.
5. Додатки: Програмний код апаратної симуляції, файл
6. Строк подання роботи на кафедру: 1 червня 2026 р.

Науковий керівник
кандидат педагогічних наук

Виконавець:

_____ Співак С. М.
« 31» жовтня 2025 р

_____ Вільчинський Є. В.
« 31» жовтня 2025 р

Календарний план

№	Етап виконання роботи	Термін виконання	Примітка
1	Формування теми дипломної роботи бакалавра та її затвердження	31.10.2025	Виконано
2	Аналіз області дослідження, огляд існуючих технологій і рішень	01.11.2025 - 11.01.2026	Виконано
3	Аналіз можливих інструментів та програм для реалізації цілей	26.01.2026 - 15.03.2026	Виконано
4	Складання змісту, календарного плану, літературних джерел, написання вступу та реферату пояснювальної записки	16.03.2026 - 01.04.2026	Виконано
5	Написання першого розділу пояснювальної записки	02.04.2026 - 08.04.2026	Виконано
6	Моделювання та текстурювання 3D-моделей будинку, персонажа та елементів системи “розумний дім” у Blender	09.04.2026- 15.04.2026	Виконано
7	Створення анімації персонажа та візуалізація сцени	16.04.2026- 29.04.2026	Виконано
8	Розробка схеми апаратної схеми та коду симуляції датчиків в Tinkercad	29.04.2026 - 02.05.2026	Виконано
9	Написання другого, третього розділів та висновків пояснювальної записки	03.05.2026 - 16.05.2026	Виконано
10	Подання роботи на перевірку, внесення правок від керівника, проходження антиплагіату, підготовка презентаційних матеріалів і тексту доповіді	17.05.2026 - 12.06.2026	Виконано
11	Захист кваліфікаційної роботи	18.06.2026	

«Затверджую»

Науковий керівник

к.п.н., Співак С. М.



Індивідуальний план склав

Вільчинський Є. В.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 44 с., 19 рис., 1 табл., 1 лістинг, 39 джерел, 1 додаток.

Актуальність: В зв'язку з стрімким розвитком технологій виникає потреба не тільки у розробленні нових технологій, а ще у ефективних методах їхньої візуалізації та практичної демонстрації. Завдяки високій конкуренції та інформаційному перенасиченню звичайних текстових описів з зображеннями уже недостатньо. Наочна демонстрація роботи дозволяє оцінити функціонал, перевірити роботу системи у реальному часі.

Об'єкт дослідження - процес комп'ютерного 3D-моделювання, анімації, апаратної симуляції електронних компонентів системи “розумний дім” із використанням сучасних програмних засобів та можливості використання в реальному житті.

Предмет дослідження - методи та засоби створення 3D-моделей і анімації елементів системи “Розумний дім” та їх апаратної симуляції на платформі Tinkercad.

Мета роботи - дослідити та проаналізувати сучасні підходи до 3D-моделювання, анімації та апаратної симуляції елементів системи “Розумний дім”, а також розробити 3D-моделі та анімацію їх роботи з використанням графічного редактора Blender та онлайн-платформи Tinkercad для демонстрації принципів функціонування системи.

Завдання:

1. дослідити теоретичні основи систем “розумний дім” та визначити роль 3D-візуалізації й анімації у проектуванні інтелектуальних систем
2. проаналізувати сучасні програмні засоби для 3D-моделювання та апаратної симуляції електронних компонентів, зокрема Blender та Tinkercad
3. розробити деталізовані 3D-моделі елементів системи “Розумний дім”, виконати їх текстурювання, налаштувати освітлення сцени та створити анімацію роботи ключових компонентів у середовищі Blender

4. реалізувати апаратну симуляцію електронних компонентів системи у середовищі Tinkercad, провести тестування її функціонування та узгодити результати з анімацією для демонстрації роботи системи.

Основні результати: за час роботи над дипломною роботою було створено модель “розумного дому” , його компонентів, анімація персонажа та рендеринг сцени для відео демонстрації. Також було розроблено електронну схему та відзняте відео процесу роботи системи. В кінцевому результаті об’єднання двох в одне для демонстрації.

Практичне значення дослідження: полягатиме у впровадженні демонстрації роботи сучасних технологій в навчальних закладах чи на некомерційних заходах.

Ключові слова: розумний дім, 3D-моделювання, Blender, Tinkercad, датчики, демонстрація, симуляція, технологія, графіка, розробка

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 КОНЦЕПЦІЯ “РОЗУМНОГО ДОМУ” ТА ЇЇ ВІЗУАЛЬНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ.....	7
1.1 Система “розумний дім”: від загальної концепції до комп’ютерного моделювання її об’єктів.....	7
1.2 Значення 3D-візуалізації та анімації у проєктуванні інтелектуальних систем.....	10
1.3 Аналіз існуючих підходів до візуального моделювання систем “розумного дому”.....	11
Висновки до розділу 1.....	12
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНІМАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ BLENDER.....	14
2.1 Основи 3D-моделювання об’єктів технічного призначення.....	14
2.2 Технології створення та редагування 3D-моделей “розумного дому” в середовищі Blender.....	16
2.3 Методи анімації об’єктів у Blender.....	17
2.4 Візуалізація процесів та взаємодії елементів системи.....	19
Висновки до розділу 2.....	20
РОЗДІЛ 3 АПАРАТНА СИМУЛЯЦІЯ ТА ВІЗУАЛЬНА ДЕМОНСТРАЦІЯ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ “РОЗУМНОГО ДОМУ”.....	21
3.1 Проєктування та тривимірне моделювання елементів “розумного дому” в середовищі Blender.....	25
3.2 Створення анімації роботи елементів системи.....	32
3.3 Апаратна симуляція функціонування елементів у середовищі Tinkercad	31
3.4 Демонстрація та тестування коректності роботи змодельованих елементів “розумного дому”.....	33
Висновки до розділу 3.....	34

ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38
Додаток А.....	43

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3D (Three-dimensional) - тривимірний, той, що має три виміри довжина, ширина, довжина.

AAL (Ambient Assisted Living) - середовище життєдіяльності з підтримкою з боку оточення.

BEMS (Building Energy Management System) - інтелектуальна система керування енергоспоживанням будівлі.

BIM (Building Information Modeling) - інформаційне моделювання будівель.

NLA (Non-Linear Animation) - нелінійна анімація.

CAD (Computer-Aided Design) - система автоматизованого проєктування.

PBR (Physically Based Rendering) - метод комп'ютерної графіки, що базується на фізичних законах взаємодії світла з поверхнями.

UML (Unified Modeling Language) - уніфікована мова моделювання.

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

ШІ - Штучний інтелект

ВСТУП

В час швидкого розвитку інформаційних технологій зростає потреба в представлені роботи новоствореного пристрою чи технології за допомогою комп'ютерної графіки

Тривимірна графіка стала не просто інструментом візуалізації - вона перетворилася на повноцінний засіб проєктування складних технічних систем, де симуляція дозволяє моделювати поведінку об'єктів ще до їх фізичної реалізації.

Ідея поєднувати візуальне проєктування з багатофункціональною симуляцією електронних компонентів набирає популярності. Використання доступних та потужних програмних середовищ відкриває можливості створювати прототипи об'єктів будь-якої складності та типів, що дозволяє людям різного віку цікавитися та розвиватися в цій сфері, а також заощаджує світові ресурси, оптимізує час розробки нових виробів та допомагає виявити потенційні помилки на ранніх стадіях розробки.

З огляду на це, питання дослідження, комплексного застосування технологій 3D-моделювання та проєктування електронної схемотехніки, є актуальним та має практичну значущість.

Мета роботи - дослідити та проаналізувати сучасні підходи до 3D-моделювання, анімації та апаратної симуляції елементів системи “Розумний дім”, а також розробити 3D-моделі та анімацію їх роботи з використанням графічного редактора Blender та онлайн-платформи Tinkercad для демонстрації принципів функціонування системи.

Завдання дослідження:

1. дослідити теоретичні основи систем “Розумний дім” та визначити роль 3D-візуалізації й анімації у проєктуванні інтелектуальних систем;
2. проаналізувати сучасні програмні засоби для 3D-моделювання та апаратної симуляції електронних компонентів, зокрема Blender та Tinkercad;

3. розробити деталізовані 3D-моделі елементів системи “Розумний дім”, виконати їх текстурювання, налаштувати освітлення сцени та створити анімацію роботи ключових компонентів у середовищі Blender;

4. реалізувати апаратну симуляцію електронних компонентів системи у середовищі Tinkercad, провести тестування її функціонування та узгодити результати з анімацією для демонстрації роботи системи.

Об’єкт дослідження - процес комп’ютерного 3D-моделювання, анімації, апаратної симуляції електронних компонентів системи “розумний дім” із використанням сучасних програмних засобів та можливості використання в реальному житті.

Предмет дослідження - методи та засоби створення 3D-моделей і анімації елементів системи “Розумний дім” та їх апаратної симуляції на платформі Tinkercad.

Методи дослідження: Аналіз літературних та інформаційних джерел - вивчення теоретичних основ систем “розумний дім”, технологій 3D-моделювання та апаратної симуляції. Комп’ютерне моделювання – створення тривимірних моделей елементів “розумного дому” у Blender, включно з текстурюванням, освітленням та анімацією. Апаратна симуляція - створення електронної схеми та демонстрація функціонування системи у середовищі Tinkercad. Тестування та верифікація - перевірка коректності функціонування змодельованих компонентів і анімаційних сценаріїв.

Практичне значення отриманих результатів полягає в створенні повноцінного відео демонстрації системи, яка може бути використана для навчальної демонстрації чи показу на некомерційних заходах. Також з ростом популярності впровадження штучного інтелекту, може використовуватись як синтетичні дані для навчання ШІ.

Структура дипломної роботи складається зі змісту, переліку умовних скорочень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та файлів Blender та Tinkercad.

РОЗДІЛ 1

КОНЦЕПЦІЯ “РОЗУМНОГО ДОМУ” ТА ЇЇ ВІЗУАЛЬНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ

1.1 Система “розумний дім”: від загальної концепції до комп’ютерного моделювання її об’єктів

“Розумний дім” це комплекс датчиків чи автоматизованих пристроїв, налаштованих під потреби та звички користувачів. Цим комплексом можна керувати віддалено маючи доступ до мережі Інтернет. На відміну від звичайної автоматизації, де пристрій діє за жорстким алгоритмом, інтелектуальна система цікава тим що її компоненти взаємодіють між собою. Наприклад система кондиціонування і приводів вікон працює в поєднанні з датчиками температури, вологи та якості повітря, що забезпечує комфортні умови в приміщенні. Також система має здатність адаптуватись до умов, середовища, часу, доби, присутності людини, або рівня освітлення[1][2].

Платформи “розумного дому” охоплюють багато різновидів, що відрізняються специфікою функціонального призначення, проте найбільшого поширення на світовому ринку здобули такі типи систем:

1. Техногенна та фізична безпека. Інтелектуальні системи безпеки дозволяють пасивно фіксувати порушення або приймати запобіжні заходи. До цього відносяться біометричні системи доступу (FaceID, сканування відбитку пальця і сітківки ока), моніторинг працездатності та цілісності комунікацій, виявлення аномальної активності за допомогою датчиків (перегрів обладнання, контроль концентрації чадного газу та моніторинг витоку природного газу)[2][3].

2. Оптимізація енергоспоживання. У світі ці системи відомі як BEMS (Building Energy Management System). BEMS зменшує потреби в енергії опалення та охолодження шляхом оптимізації та інтеграції пасивних систем опалення та охолодження. Для цього BEMS підвищує загальну

енергоефективність усієї системи щоб зменшити викиди парникових газів та оптимізувати використання електроенергії [4].

3. Допоміжні технології. Допоміжні технології “розумного дому” також відомі як Healthcare/AAL(Ambient Assisted Living) використовують для покращення контролю навколишнього середовища, незалежності людей з інвалідністю та літніх людей.

Таблиця 1.1

Аналіз світового ринку “розумних будинків” 2025-2026 рік

Типи системи	Частка світового ринку	Особливості системи
Техногенна та фізична безпека [5], [6]	≈ 28.1%	- моніторинг в реальному часі - біометричний контроль доступу та “розумні замки” - інтеграція з пультами охорони та екстреними службами
Оптимізація енергоспоживання (BEMS)[5][6]	≈ 21.5%	- автоматичне керування освітлення - розумні термостати та клімат-контроль - використання відновлювальних джерел енергії та накопичувачів
Допоміжні технології (AAL/Healthcare) [7]	≈ 11.8%	- детекція падіння та тривожна кнопка для похилих людей - голосове керування для людей з обмеженими можливостями - моніторинг стану здоров'я
Інші(мультимедіа,	≈ 38.6%	- роботизовані системи(пилосос,

комфорт) [5] [6] [7]		газонокосарка)
		- розумна побутова техніка

При 3D-модельованні системи "розумного дому" кожен елемент розглядається не просто як фізичний блок, а як тривимірний об'єкт з чіткими координатами і властивостями у просторі. Саме такий підхід дозволяє візуалізувати розміщення компонентів, розраховувати зону покриття датчиків та моделювати взаємодію з інтер'єром для набуття кімнати естетичного вигляду. Основу сцени складає архітектурна оболонка будинку полігональна модель стін, перекриттів і покрівлі

Розумні бездротові прилади моделюються у вигляді компактних і практичних об'єктів, та встановлюються з урахуванням діаграм спрямованості та радіусу дії (рис. 1.1).

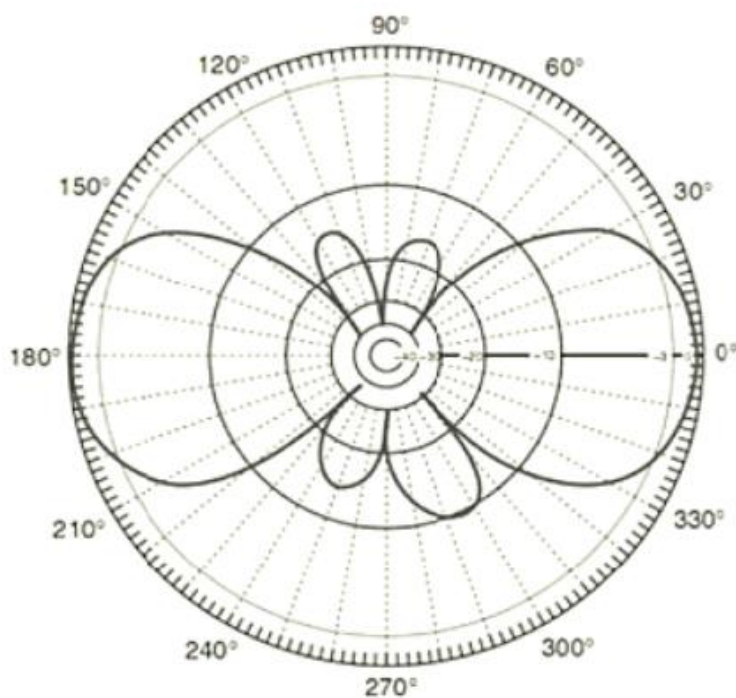


Рисунок 1.1. Діаграма спрямованості Wi-Fi антен. [8]

Для Wi-Fi чи точок доступів потребується використання сферичних діаграм спрямованості сигналу для візуалізації зони охоплення сигналу в

тривимірному просторі. Це проявить ще на етапі проєктування всі можливі “сліпі зони” які виникають через меблі чи конструкцію будинку. Аналогічно датчики протікання води та витоку природного газу встановлюються з урахуванням висоти та джерел потенційної небезпеки.

Актuatorи моделюються як динамічні 3D-моделі з визначеними положеннями роботи. Для електроприводів вікон чи роботизованих систем важливо моделювати рухому модель. Що допоможе у візуальному середовищі перевірити чи не виникає зіткнень при роботі декількох пристроїв. Кожен такий об’єкт має власну систему координат, який надає контролеру відстежувати позицію пристрою та точно ідентифікувати його стан в реальному часі.

Окремим об’єктом моделювання є інфраструктура спостереження яка в просторі демонструє свій діапазон огляду в вигляді конусів чи пірамід. Створення датчиків руху чи камер Hikvision, Dahua, Aqara) у тривимірному середовищі допоможе враховувати розміщення, для покриття максимальної оглядової площі.

Інтеграція цих 3D-моделей в інтелектуальні схеми дозволять продемонструвати комплексні симуляції де переміщення користувача (персонажа в просторі) автоматично ініціює анімацію роботи компонентів “розумного дому”.

1.2 Значення 3D-візуалізації та анімації у проєктуванні інтелектуальних систем

Сьогодні 3D-візуалізація та анімація це вже не допоміжні інструменти, а частина основної методології розробки інтелектуальних систем. Головна концепція це цифровий двійник (digital twin): тривимірна модель, яка відтворює не лише зовнішній вигляд об’єкта з технічними параметрами, а і його внутрішні процеси та поведінку під впливом реальних умов. [9].

Одним з характерних практичних значень це виявлення конструктивних чи логічних помилок на ранніх етапах проєктування та стадії виготовлення

прототипів. В плані інтелектуальних систем, де компоненти тісно взаємодіють між собою (датчики, актуатори, контролери, канали передачі даних), анімація дозволить створювати будь які сценарії взаємодії та виявити конфлікти та уникнути їх. За аналітичними даними McKinsey Global Institute, впровадження цифрових двійників у виробничих процесах суттєво скорочує витрати на виявлення та усунення помилок порівняно з традиційними методами прототипування [10].

Анімація виконує також важливу роль між різними учасниками розробки “розумного будинку”. Зазвичай інженери, дизайнери, замовники й користувачі мають різний рівень технічних знань. Анімована 3D-модель системи “розумного дому” дає можливість наочно продемонструвати принцип роботи без потреби вивчення технічної документації або електронних схем що є актуальним під час по різних презентацій клієнтам, інвесторам чи для погодження технічних рішень.

Окремо варто згадати роль 3D-моделювання у підготовці навчальних даних для алгоритмів ШІ. Збирати такі дані в реальних умовах надто дорого або взагалі неможливо, наприклад спеціально влаштовувати ситуації що можуть нашкодити майну чи людині тільки для навчання системи ШІ ніхто цілеспрямовано не буде. Використання фотореалістичних анімацій дозволить створювати як повсякденні, так і нетипові ситуації. Наприклад пожежа, затоплення, витік газу, несанкціоноване проникнення на територію, збій обладнання для тренування алгоритмів поведінки інтелектуальної системи. Такий підхід широко використовується в системах комп’ютерного зору для навчання детекторів об’єктів на синтетичних даних.

1.3 Аналіз існуючих підходів до візуального моделювання систем “розумного дому”

Для візуального моделювання систем "розумного дому" існує чимало підходів від класичних методів програмної інженерії до спеціалізованих інструментів 3D і апаратної симуляції:

1. BIM технологія моделювання (Building Information Modeling). Інформаційна технологія BIM інтегрує будівельні проекти в цілому в цифровій формі. Технологія BIM інтегрує певні параметричні моделі та включає інформацію про моделі реальних проектів. Сучасні BIM-платформи, зокрема Autodesk Revit, дозволяють моделювати електричні мережі та системи “розумного дому” у контексті реальної будівлі[11].

2. Платформи апаратної симуляції. Окремий клас інструментів орієнтований безпосередньо на проектування та симуляцію електронних схем і мікроконтролерних систем. Одними з відомих є Proteus, Fritzing та Tinkercad. Proteus є потужним професійним інструментом з широкою бібліотекою компонентів та підтримкою симуляції мікроконтролерів, але є складним в освоєнні. Fritzing забезпечує перехід від монтажної схеми до друкованої плати, але має обмежені можливості в симуляції. Tinkercad поєднує у собі браузерне 3D-моделювання та симуляцію схем на базі Arduino що робить його унікальним інструментом для прототипних проектів розумних систем.

3. Підходи 3D-візуалізації та анімації. Для створення тривимірних моделей будинків і елементів “розумного дому” використовують як параметричні CAD-системи (AutoCAD, Fusion 360, SolidWorks) так і полігональні редактори (Blender, Autodesk 3ds Max). Саме Blender надає найкращий функціонал починаючи моделюванням моделей і закінчуючи простотою анімації та рендерингу, яка дозволяє легко створювати та наочно демонструвати роботу пристроїв у рухомому стані.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто концептуальні, технологічні та методологічні засади побудови систем «розумного дому», а також визначено роль 3D-візуалізації та анімації у процесі їх проектування. У результаті аналізу наукових праць, технічної документації та сучасних досліджень у галузі інтелектуальних систем автоматизації було досліджено практичне значення

поняття «розумний дім», визначено основні принципи функціонування відповідних систем, а також описані сфери їх застосування та функціональне призначення. Проведене дослідження доводить, що сучасні системи «розумного дому» орієнтовані не лише на автоматизацію побутових процесів, але й на забезпечення високого рівня безпеки, підвищення енергоефективності та створення комфортних умов для користувачів, зокрема шляхом моніторингу стану здоров'я та оптимізації умов проживання. Також, слід зазначити, що 3D-модельовання відносно недавно почала бути однією з складових проєктування систем «розумного дому», так як дозволила розглядати кожен компонент як тривимірний об'єкт з чіткими координатами.

Особливе значення у розвитку «розумних будинків» має перехід до цифрових двійників, де тривимірні моделі відтворюють не лише геометрію об'єктів, а й їхню поведінку, логіку роботи та взаємодію з іншими компонентами. 3D-візуалізація дозволяє точно відобразити просторове розміщення датчиків, актуаторів, камер спостереження та мережевих пристроїв, враховуючи їхні технічні характеристики, зони покриття та можливі обмеження. Завдяки цьому ще на етапі проєктування можна виявити «сліпі зони», конфлікти рухомих механізмів, недоліки розміщення обладнання або помилки в логіці роботи системи.

Візуальні симуляції дозволяють демонструвати роботу системи без необхідності створення фізичних прототипів, що значно скорочує витрати часу та ресурсів. Крім того, 3D-анімація є важливим інструментом для генерації синтетичних даних, необхідних для навчання алгоритмів штучного інтелекту, особливо у випадках, коли реальні дані отримати складно або небезпечно.

Таким чином, результати аналізу підтверджують, що 3D-модельовання та анімація є невід'ємною складовою розробки систем «розумного дому». Вони забезпечують точність, наочність, можливість симуляції складних сценаріїв та інтеграцію з апаратними платформами, що робить їх ключовими

інструментами у створенні ефективних, безпечних та адаптивних інтелектуальних рішень.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЇ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНІМАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ BLENDER

2.1 Основи 3D-моделювання об'єктів технічного призначення

Тривимірне моделювання давно стало невід'ємною частиною роботи інженера, промислового дизайнера чи викладача технічних дисциплін. Під об'єктами технічного призначення маються на увазі деталі механізмів, вузли агрегатів, електронні компоненти, конструкції та інші елементи що мають функціональну роль в реальних системах. Перш ніж починати моделювання, варто провести детальний аналіз об'єкта і визначити геометричні характеристики, зони дії та функціональні зв'язки з іншими елементами системи. Для технічних об'єктів принципово важливим є дотримання масштабування і пропорцій для забезпечення точності та достовірності реального об'єкта в середовищі.

У Blender геометрія будь-якого об'єкта зберігається у вигляді меша (mesh) набору вершин (vertices), ребер (edges) і полігонів (faces) [12]. Саме з цих трьох елементів складається будь-яка модель, від найпростішої площини до складної гладкої форми. Для технічних виробів зазвичай прагнуть до мінімальної кількості полігонів рівно стільки, щоб вистачило для точної передачі форми, (рис 2.1).

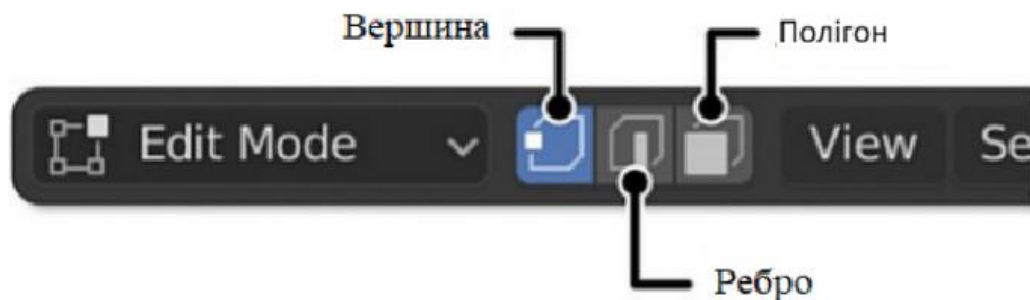


Рисунок. 2.1. Приклад одиниць моделювання в інтерфейсі Blender

Для технічних виробів характерне використання полігонального моделювання з мінімальною кількістю полігонів за умови збереження геометричної точності що особливо актуально при подальшій реалізації або інтеграції з апаратними системами. Моделювання технічних об'єктів розподіляти на декілька етапів. Перший етап це блокінг, тобто побудова грубої заготовки загальної форми об'єкта за допомогою примітивів (куба, циліндру, сфери тощо). Другий етап деталізація: додавання конструктивних елементів засобами булевих операцій, модифікаторів та ручного редагування топології. Третій етап оптимізація топології меша, яка усуває дефекти моделі, що можуть проявитися при рендерингу та анімації сцени.

Не менш важливим питанням є вибір одиниці вимірювання ще до початку роботи. У Blender за замовчуванням одна клітинка на сцені дорівнює одному метру. Для малих технічних моделей краще використовувати сантиметри чи міліметри, щоб уникнути розрахункових похибок при моделюванні. Особливу увагу варто приділити симетрії: більшість технічних корпусів симетричні, і моделювати їх цілком немає сенсу. Щоб розв'язати цю задачу Blender надає модифікатор Mirror, який дозволяє моделювати ідентичні сегменти об'єкта, його половину або чверть автоматично відображаючи результат відносно вибраних осей.

Для об'єктів з складною геометрією такі як корпуси pomp, лопаті вітрогенератора, корпуси електронних пристроїв краще використовувати модифікатор Subdivision Surface. В основі цього модифікатора лежить алгоритм Катмулла-Кларка: кожна ітерація ділить полігони на чотири, і поверхня поступово стає гладкою без ручного нарощування геометрії [13]. Точність відтворення технічних об'єктів буде підвищена завдяки кресленням та технічній документації як точний приклад зображень (Reference Images). Ця функція дозволяє накладати проєкційне зображення на будь-яку сторону моделі, що перетворює процес моделювання на аналог цифрового трасування технічного креслення.

2.2 Технології створення та редагування 3D-моделей “розумного дому” в середовищі Blender

Розглянуті у підрозділі 2.1 принципи полігонального моделювання стають більш зрозумілишими, коли їх застосовують до конкретних об'єктів. Кожен елемент починаючи від мініатюрного датчика світла до настінного хабу з дисплеєм має свою характерну геометрію що визначає перелік технологій які будуть застосовуватися при редагуванні в Blender.

Залежно від геометричних характеристик компонентів системи “розумного дому” виділяються три основні класи об'єктів: корпусні елементи з прямолінійною геометрією (датчики, розетки, вимикачі, панелі керування), криволінійні форми (камери, смарт колонки, сферичні датчики диму), протяжні елементи (кабельні траси, шлейфи, антени). Для корпусних елементів ми використовуємо технологію моделювання твердих поверхонь (Hard Surface). Моделювання твердих поверхонь - це техніка 3D-моделювання, що використовується для створення будь-яких неживих об'єктів з плоскими та статичними поверхнями. Більшість рукотворних об'єктів у повсякденному оточенні можна віднести до категорії об'єктів із твердими поверхнями. Типовим прикладом є комп'ютер з твердими поверхнями. Він виготовлений з твердих штучних матеріалів його не можна зігнути чи скласти [14].



Рисунок. 2.2. Приклад Hard Surface моделі [14]

У Blender об'єкти з пласкою поверхнею зазвичай визначаються за більш технічними характеристиками, такими як гострі краї (sharp edges), плоскі поверхні та розділення між окремими частинами. Це тверді тіла або об'єкти, рух яких обмежений певним механічним рухом і які не деформуються. А щоб детально відтворити елементи “розумного дому” ми використовуватимемо методи не деструктивного (Non-destructive) моделювання що забезпечує свободу вибору. Простіше кажучи це рішення не “заморожуються” в геометрії до того, як вони остаточно погоджені. Хороша аналогія: деструктивне моделювання це різьблення по каменю, кожна зміна незворотна, недеструктивна робота з глиною, форму можна переробити у будь-який момент [15].

2.3 Методи анімації об'єктів у Blender

У даній роботі використовується тривимірна анімація що в широкому обсязі дозволяє відтворювати рух об'єктів у просторі, змінювати їх положення і показувати взаємодію з оточенням. Існують й інші підходи 2D, процедурна, фізично-орієнтована анімація, але для задач демонстрації розумного дому найбільш доречна саме 3D.

В Blender процес створення анімації базується на ключових кадрах (keyframe) фіксованих значеннях параметрів в певний проміжок часу. Між ключовими кадрами значення параметрів утворюється інтерполяція відповідно до анімаційних кривих ще відомих як F-Curves, що формують плавні або різкі переходи залежно від типу інтерполяції: Constant, Linear, Bézier і т. д. [16]

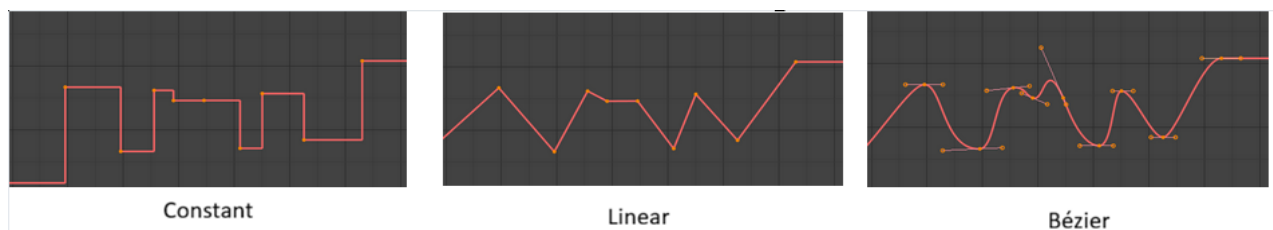


Рисунок 2.3. Вигляд анімаційних кривих(F-Curves)

Щоб при створенні анімації сцени відрізнити звичайні ключ кадри від анімаційних подій чи станів використовуються різноманітні кольори (Рисунок 2.4). Встановлення ключ кадру виконується натисканням “гарячої клавіші” І з виділеним об’єктом або ж через меню Object - Animation - Insert Frame. Всі основні ключ кадри відображаються в редакторі часової лінії (Timeline) і листу даних (Dope Sheet) де можна маніпулювати кадрами переміщувати, дублювати або видаляти. Анімаційні криві редагуються за допомогою Graph Editor. В ньому відображаються F-Curves для кожного анімаційного параметра де вісь X відповідає кадрам, а вісь Y відповідає значенню параметра.

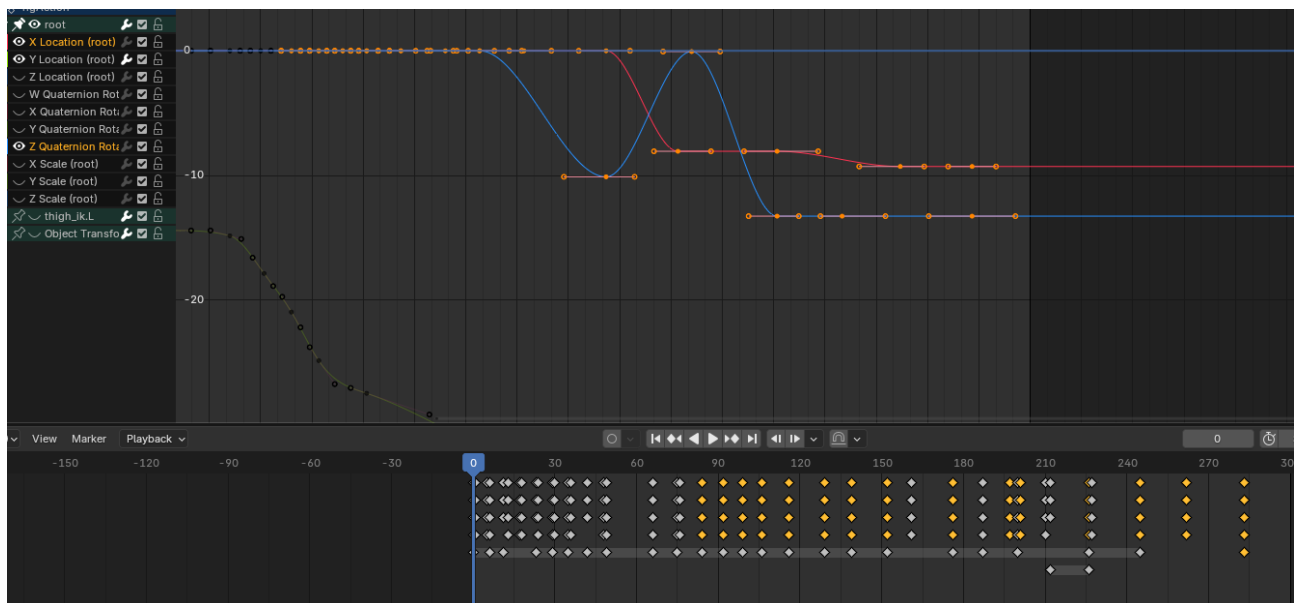


Рисунок 2.4. Демонстрація Timeline і Graph editor

Одним з способів анімації є нелінійний редактор (Non-Linear Animation). NLA за логікою нагадує відеоредактор: анімаційні доріжки накладаються шарами, дублюються і масштабуються в часі. Але замість відеокліпів там фрагменти анімації об’єктів. Це робить його чудовим методом анімації персонажів в поєднанні з побудовою скелетної системи (Armature) та високорівневим інструментом з широким спектром взаємодій з моделями.

Фізична симуляція (Physics) дозволяє отримувати рух об’єктів, не розставляючи ключові кадри вручну, Blender сам розраховує траєкторії на основі законів фізики які вбудовані в рушій. Blender підтримує динаміку

твердих тіл (Rigid Body Dynamics), тканин (Cloth), рідин (Fluid), м'які тіла (Soft Body) [17]. Для анімації “розумного дому” та його елементів найкращим варіантом буде використання Rigid Body Dynamics. Через те що на відміну від інших симуляцій Rigid Body тісніше взаємодіє з анімаційною системою. Це значить що тверді тіла можна використати як звичайні об’єкти ще також включати їх в ієрархічні зв’язки, анімаційні обмеження і драйвери.

2.4 Візуалізація процесів та взаємодії елементів системи

Анімована візуалізація дає те, чого не дасть жодне технічне креслення, це розуміння того, як система поводить, а не лише як вона влаштована. На відміну від звичайних креслень чи схем, анімація дозволяє зрозуміти послідовність подій, напрямки переміщень та функціональні залежності підсистем. Щоб наочно відобразити внутрішню будову об’єкта часто застосовується техніка Cutaway (розтину). Ця техніка досягається за допомогою декількох способів: застосуванням модифікатора Boolean в поєднанні з анімованим об’єктом який буде виконувати роль різача використанням матеріалів і шейдер ноди Holdout, щоб “вирізати” частину поверхні при рендері.

Відображення потоків - рідини, газу, теплових чи електричних потоків є окремою технологією візуалізації. У Blender більшість потоків моделюється за допомогою Particle Systems (дискретні частинки) Fluid Simulation (симуляція рідини) або анімованих Mesh Lines.

Камера також бере активну участь в демонстрації, а не просто нейтральним спостерігачем. Рекомендується поєднувати загальні плани з деталізованими, супроводжувати важливі моменти роботи елементів “розумного дому”, використовувати обліт навколо ключових вузлів для демонстрації їхньої структури.

Фінальним кроком створення анімаційної сцени це рендеринг. Blender надає для вибору два основні рушії: EEVEE - рушій рендерингу в реальному

часі орієнтований на швидкість та інтерактивність, що також дозволяє підтримувати PBR (Physically Based Rendering) матеріалів [18], Cycles - рушій трасування траєкторій (Path Tracing), що забезпечує фотореалістичний результат, але вимагає більших потужностей для обробки.

Висновки до розділу 2

В цьому розділі були розглянуті функції та інструменти програмного забезпечення Blender що входять до задач дипломної роботи. Визначили принципи тривимірного моделювання та описали основні технології створення графічних об'єктів. Розглянули головні методи анімації: ключ кадри, фізична симуляція, NLA, відображення потоків. Окремо була досліджена шляху подальшого розвитку та поєднання анімації в Blender з фізичною апаратною частиною завдяки Python API та локальній мережі через яку можуть поступати команди від фізичної системи до анімації.

РОЗДІЛ 3

АПАРАТНА СИМУЛЯЦІЯ ТА ВІЗУАЛЬНА ДЕМОНСТРАЦІЯ РОБОТИ ЕЛЕМЕНТІВ “РОЗУМНОГО ДОМУ”

3.1 Проектування та тривимірне моделювання елементів “розумного дому” в середовищі Blender

Головна мета практичної частини дипломної роботи це розробка комплексної тривимірної демонстрації в Blender, що має поєднувати в собі модель будинку, елементів “розумного дому”, анімацію з апаратною симуляцією їх функціонування в середовищі Tinkercad. Дана система дозволить наочно продемонструвати зовнішній вигляд і взаємне розташування компонентів, також логіку роботи системи в умовах реального часу [19].

Об’єктом моделювання обрано типову кімнату будинку, обладнану набором автоматизованих пристроїв: датчик руху (PIR - Passive Infrared Sensor), датчик температури, якості повітря і вологості, IP відеокамера, датчик освітлення та хаб керування розумним домом.

До візуальної моделі системи висуваються такі вимоги:

1. Геометрична достовірність - пропорції та розміри повинні відповідати реальним аналогам з допустимим відхиленням не більше 10%.
2. Кількість полігонів кожного об’єкта не повинна перевищувати технічно необхідну для впізнаваної передачі об’ємів об’єкта, що забезпечить оптимальну швидкість рендерингу.
3. Всі об’єкти мають бути систематизовані у Collections за функціональним призначенням, іменовані за єдиною конвенцією та мати правильно встановлені Origin-точки.

Постановка задачі має два паралельні напрямки роботи. Перший це розробка 3D-сцени у Blender: моделювання дому та приміщення з компонентами “розумного дому” й інтер’єру, налаштування матеріалів, налаштування анімації. Другий це розробка апаратної схеми у Tinkercad:

підключення датчиків і виконавчих пристроїв до Arduino Uno R3, написання скрипту мовою C++, перевірка коректності роботи схеми в режимі симуляції. Результати обох напрямів порівнюються та узгоджуються на завершальному етапі роботи.

Розробка 3D-моделей почалася з створення середовища будинку, в якому розміщуватимуться всі компоненти системи. Моделювання дому як середовища починається з стін які будуть відповідати типовим параметрам житлового будинку. Моделювання починається з розміщення куба та зміни його розмірів під товщину стіни. Для створення точної копії використовувалась технічна документація будинку як референс (рис 3.1).



Рисунок 3.1. Фото технічної документації дому [20]

Для розміщення даного референсу в середовище Blender потрібно виконати послідовність дій: комбінацію клавіш Shift+A, Image, Reference. Тепер для більш зручного моделювання треба налаштувати його прозорість (Opacity) що допоможе бачити об'єкти при моделюванні. Після використання функції екструзії (Extrude) в режимі Edit mode було виготовлено стіни згідно з планом технічної документації (Рис 3.2)

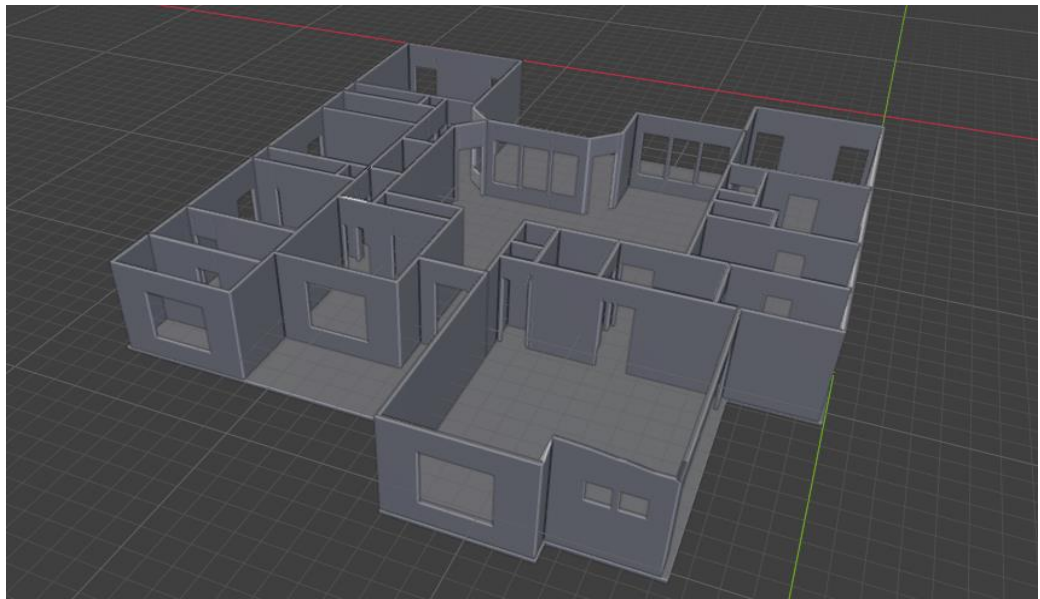


Рисунок 3.2. Проєкт будинку в тривимірній візуалізації

Наступним етапом стало додавання покрівлі, вікон і дверей до моделі будинку. Для створення покрівлі за основу використовувалися куби. В режимі редагування виділялися верхні полігони об'єкта і після цього застосовувалася функція об'єднання вершин (Merge) що дозволило сформувати характерну форму даху. Щоб створити вікна та двері було використано стороннє доповнення (Addon) Archimesh яке входить до стандартних доповнень Blender. Це доповнення дозволяє адаптивно генерувати вікна, двері, сходи, стіни та ситуативно налаштовувати параметри об'єктів (змінювати тип вікон, дверей та кількість сегментів, положення ручки дверей і т.д.).

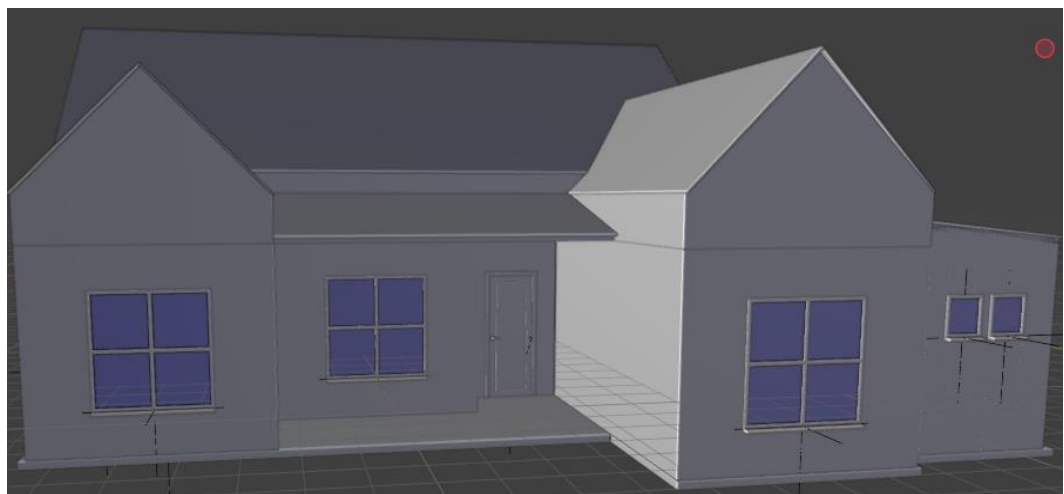


Рисунок 3.3. Візуальний вигляд дому з дахом, вікнами та дверима

Всі елементи “розумного дому” моделювались з прикладу сучасних серійних пристроїв. Як референси використовувались реальні комерційні вироби: датчик руху від Ajax, датчик температури та вологості від Aqara, IP камера Hikvision, електричний віконний привід Eltral KS 30/40 Easy, датчик освітлення Tuuya Smart WiFi/ZigBee. Вибір саме цих пристроїв завдяки широкому розповсюдженню на ринку розумних будинків. До ребер корпусів застосовувався інструмент Bevel (Скіс), що заокруглює гострі кути, імітуючи фаску реального пластикового лиття.

Датчик руху від Ajax моделюється з двох окремих частин, корпус та інфрачервоний сенсор. Основа корпусу формується за допомогою примітиву куба (Cube). В режимі Edit Mode застосували інструмент Loop Cut (Петлевий розріз), за допомогою якого на передній частині корпусу формувалася зона під розміщення сенсора. Інфрачервоний сенсор моделювався окремо як примітив циліндра (Cylinder), якому надавались відповідні пропорції та розміри відповідно до референсу. Готовий циліндр вмонтовується у підготовлену на корпусі зону таким чином, щоб його лицьова частина злегка виступала над поверхнею корпусу що відповідає реальній конструкції пристрою.

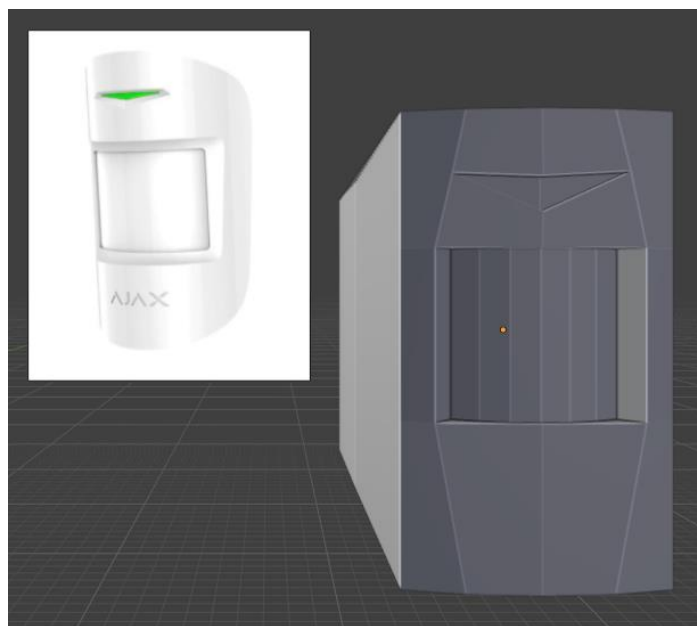


Рисунок 3.4. Референс та візуалізація датчика руху[21]

IP камера від Hikvision моделюється з 3 частин зовнішнього і внутрішнього корпусу та об'єктива камери. Корпус будується з циліндра, нижня частина якого деформується інструментом Proportional Editing з фільтром Sphere це дає плавне заглиблення під сферичну основу камери. Сферична основа моделювалась з примітиву UV Sphere, нижня частина якої була видалена в режимі редагування для отримання напівсферичної форми. До країв зрізу застосовувалась операція Bevel для формування плавного переходу між корпусом і монтажною основою. Лицьова частина з об'єктивом моделювалась окремо. Об'єктив створювався з примітиву циліндра із Loop Cut розрізів для кращої деталізації лінзи та корпусу об'єктива, а Bevel використано для згладжування кутів лінзи.



Рисунок 3.5. Референс та візуалізація IP камери[22]

Датчик освітленості Zigbee TuYa має заокруглену форму з іконкою сонця та рядом отворів на лицьовій частині. За основу корпусу взято примітив куба, якому у режимі редагування застосовувалась Bevel на вертикальних ребрах для формування характерних скошених країв корпусу. Отвори на лицьовій частині датчика освітленості створювались із використанням двох модифікаторів. Спочатку створювався окремий примітив циліндру, що відповідають одному отвору. До нього застосовувався модифікатор Array (Масив), який продублював циліндр вздовж потрібної осі необхідну кількість разів, формуючи характерний рівномірний ряд отворів на корпусі. Після

побудови масиву циліндрів до основного корпусу датчика застосовувався модифікатор Boolean (Булева операція) в режимі Difference (Різниця) що дозволило автоматично створити отвори з кожного циліндра в корпусі, створивши акуратний ряд отворів без ручного редагування кожного отвору окремо.



Рисунок 3.6. Референс та візуалізація датчика освітлення[23]

Датчик температури та вологості Aqara і Tuuya Smart Hub мають схожу геометричну форму квадратний корпус з заокругленими кутами, тому процес їх моделювання був ідентичним. За основу цих моделей було взято стандартний примітив куба. У режимі редагування до всіх вертикальних ребер застосовувалась операція Bevel з відповідним значенням зміщення (Offset) для формування плавного заокругленого профілю корпусу, характерного для сучасних побутових пристроїв. Відмінність між двома моделями полягає у деталізації поверхонь. На корпусі Tuuya Smart Hub додатково моделювались USB-роз'єм та індикаторна кнопка на бічній панелі як окремі об'єкти з примітивів куба і циліндра, що вмонтовувались у підготовлені заглиблення через модифікатор Boolean (Булева операція) в режимі “Різниця” (Difference).

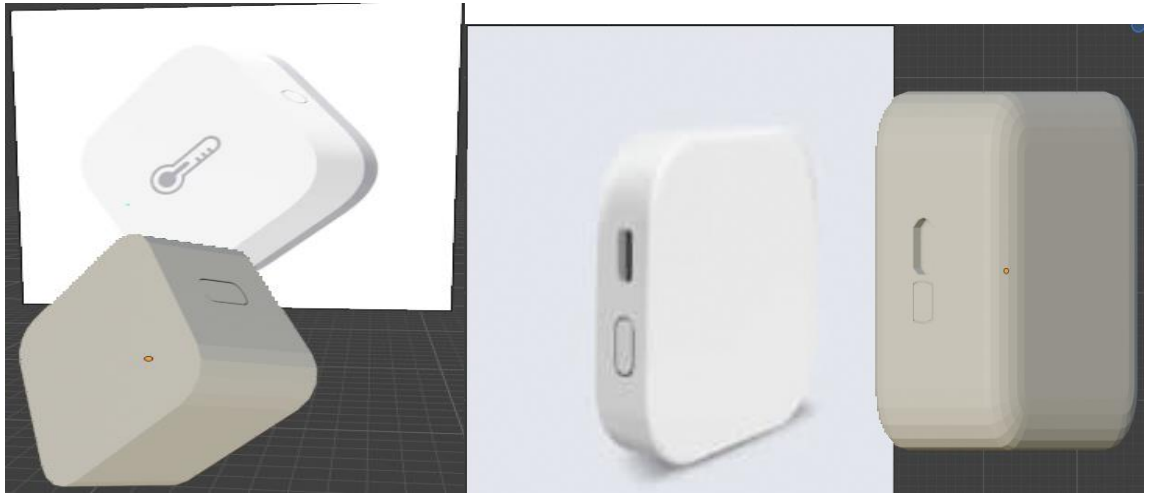


Рисунок 3.7. Референс та візуалізація датчика температури та вологості та шлюзу [24][25]

Електропривід для вікон лінійний пристрій витягнутої прямокутної форми з металевим монтажним кронштейном. Основний корпус моделювався з примітиву куба, якому надавались відповідні витягнуті пропорції з подальшим застосуванням Bevel на всіх ребрах для характерного заокруглення. Монтажний кронштейн моделювався окремо з плоского куба з модифікаторами Array і Boolean процес був ідентичний до створення отворів в датчику освітлення, але замість циліндрів були трикутники що утворювали зуби на рейці.

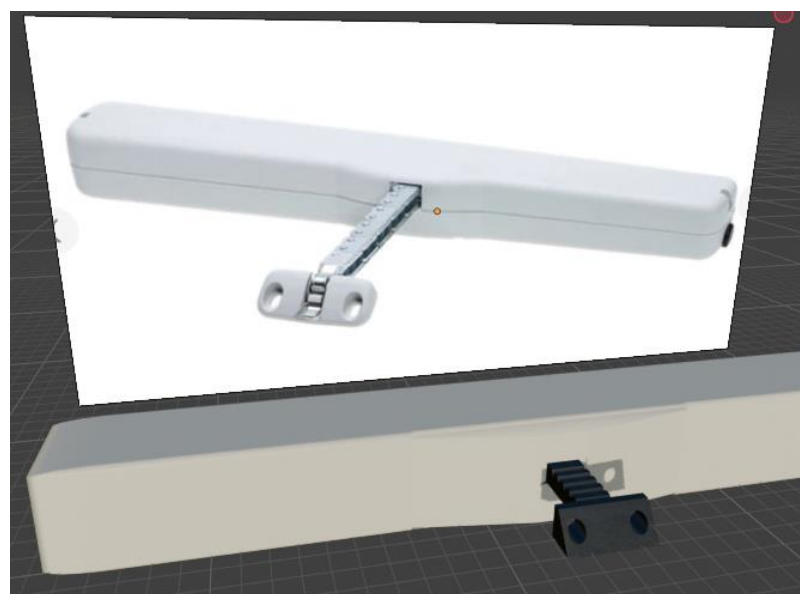


Рисунок 3.8. Референс та візуалізація електроприводу для вікон[26]

3.2 Створення анімації роботи елементів системи

Анімація побудована на сценарії руху персонажа по приміщенню “розумного дому”. Датчик руху та IP камери реагують на появу людини у зонах виявлення та активують ввімкнення світла, що демонструє логіку роботи системи безпеки та автоматизації в умовах, максимально наближених до реальних.

Персонажа було створено в стилі Low Poly (низькополігональний) що обмежує кількість полігонів для оптимізованого та впізнаваного силуету. Загальна кількість полігонів моделі не перевищує 2 500, досягалося завдяки плоским граням без заокруглення що є показником для Low Poly персонажів та знижує обчислювальне навантаження під час рендерингу анімаційної сцени.

Для забезпечення анімації ходьби до моделі персонажа виготовлено скелетну систему (Armature) яка створюється з кісток (Bones), що імітує будову людського скелета. Armature має основні кістки це корінь (Root), хребет (Spine), груди (Chest), шия (Neck), голова (Head), ключиці, плечі, передпліччя, кисті обох рук, стегна, гомілки та стопи обох ніг [27]. Кожна кістка має визначену батьківську кістку (Parent Bone), що формує ланцюгову ієрархію: переміщення батьківської кістки автоматично переміщує всі дочірні, що відтворює природну кінематику людського тіла.

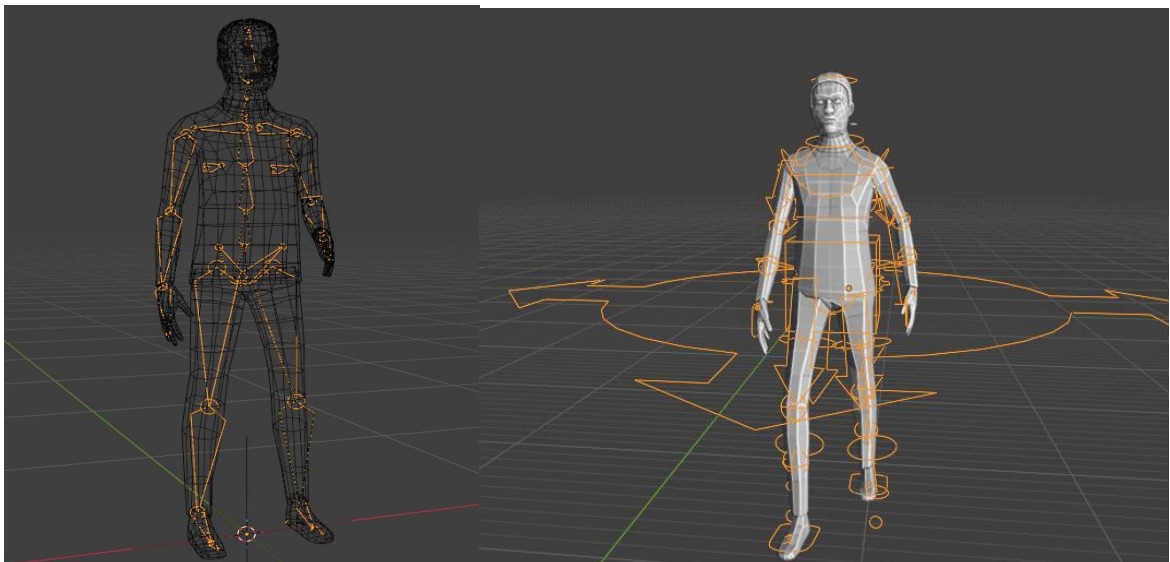


Рисунок 3.9 Скелетна система та згенероване оснащення персонажа

Прив'язку скелета до меша персонажа виконано за допомогою доповнення Rigify. Цей вбудований аддон Blender автоматизує створення повнофункціональних rig-систем з інверсійною кінематикою (ІК - Inverse Kinematics) та прямою кінематикою (FK - Forward Kinematics) що допомагає обчислювати рух та деформацію персонажів [28]. Після встановлення відповідності між кістками та анатомією моделі виконується Generate Rig, що створює повноцінний керуючий rig з контролерами (Controllers) для зручного позування персонажа. Прив'язка меша до скелета виконується через Automatic Weights, після чого ваги вершин (Vertex Weights) коригуються вручну у режимі Weight Paint для усунення артефактів деформації в зонах суглобів. Базовий цикл ходьби будується на чотирьох опорних позах. У режимі Pose Mode ноги встановлюються в протилежних напрямках одна спереду, одна ззаду і ця поза фіксується ключовим кадром у Timeline. Потім Playhead зсувається на 5-10 кадрів уперед, поза дзеркально відображається через Paste Pose Flipped і закріплюється новим ключовим кадром. Між цими опорними точками додаються проміжні пози для природності переходу. Застосовуючи такий самий метод створити додаткові пози між вже створеними ключ кадрами та після них, що забезпечить плавну анімацію ходьби.

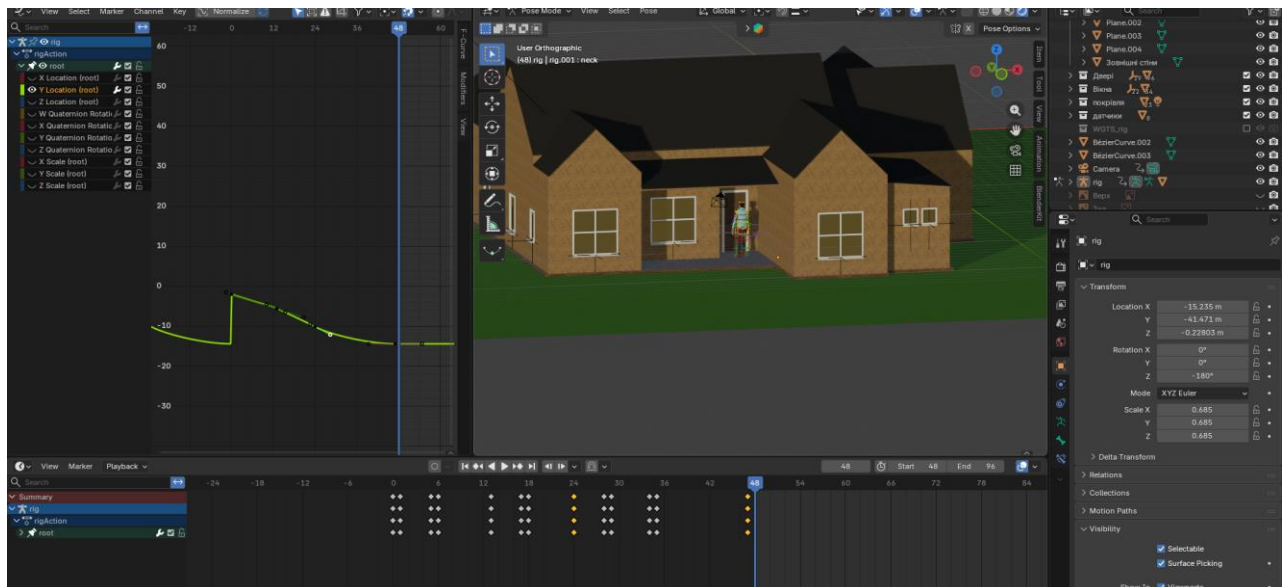


Рисунок 3.10. Процес анімації руху

3.3 Апаратна симуляція функціонування елементів у середовищі Tinkercad

Tinkercad Circuits це хмарне середовище для схемотехнічного проектування від Autodesk, яке дозволяє збирати схеми з Arduino і симулювати їх роботу прямо в браузері, без жодного фізичного обладнання[29][30].

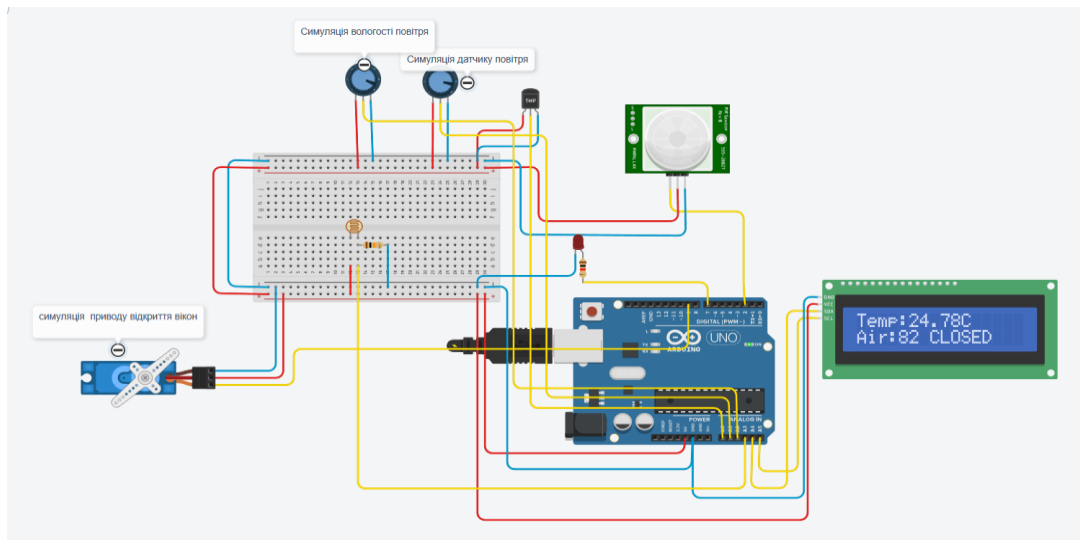


Рисунок 3.11. Електронна схема “розумного дому” в Tinkercad

Головний контролер схеми Arduino Uno на базі мікроконтролера ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц, 14 цифровими та 6 аналоговими входами та виходами [31]. До цифрових входів підключені: датчик руху пін D2 і індикаторний світлодіод з обмежувальним резистором пін D7. До піну D9, під'єднаний сервопривід відкриття вікон. Аналогові входи: TMP36 A0, потенціометр вологості A1, потенціометр якості повітря A2, фоторезистор освітленості A3. Для монтажу допоміжних компонентів використовується макетна плата.

Датчик видає дискретний сигнал: HIGH при виявленні руху, LOW в стані спокою. Логіка проста: щойно датчик фіксує рух світлодіод на D7 вмикається, імітуючи активацію індикатора камери. Як тільки рух припиняється гасне. Зникає рух світлодіод гасне. Температура вимірюється

датчиком TMP36, підключеним до аналогового входу A0. Arduino Uno має десяти бітний АЦП (аналого-цифровий перетворювач) тобто діапазон напруги 0-5V ділиться на $2^{10} = 1024$ рівні (від 0 до 1023) Температура у градусах Цельсія обчислюється за формулою (3.1), яка впливає безпосередньо з характеристики датчика TMP36 при 0 градусів Цельсія його вихідна напруга становить 0.5V [32].

Відомо, що

$$T = (U - 0,5) \times 100 \quad (3.1)$$

де $U = \text{вхідна напруга} \times \left(\frac{5.0}{1023}\right)$

Оскільки повноцінних датчиків вологості і якості повітря у Tinkercad немає за функціональністю, їх імітація реалізована потенціометрами на входах A1 і A2. Обертання ручки потенціометра змінює значення АЦП у діапазоні від 0 до 1023, що функціонально відповідає зміні показань реального датчика. Такий підхід з імітацією відсутніх компонентів є стандартною практикою при перевірці алгоритмів у симуляторах і не впливає на коректність логіки. Сервопривід підключено до пін D9 через бібліотеку Servo.h. Він виконує функцію приводу відкриття вікон за умови якщо якість повітря перевищує поріг загального значення повітря в 1000 одиниць АЦП чи температурі в 30 градусів Цельсія то вал повертається на 90 градусів і вікно відкривається. При нормалізації показань вікно закривається. Рідкокристалічний дисплей LCD 16×2 з інтерфейсом I2C (адреса 0x27) приєднано до шини I2C: SDA в пін A4, SCL в пін A5. Ініціалізується бібліотекою LiquidCrystal_I2C [33]. Перший рядок відображає поточну температуру у градусах Цельсія, другим йде показання датчика якості повітря і стан вікна (OPEN або CLOSED), оновлюється кожні 10 мілісекунд. У функції setup() виконується ініціалізація всього: режими пінів, прив'язка сервоприводу, запуск дисплея з тестовим повідомленням “TEST”.

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(ledCam, OUTPUT);
  windowServo.attach(9);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("TEST");
  lcd.clear();
}

```

Лістинг 3.1 Фрагмент коду апаратної симуляції в Tinkercad

Основна логіка знаходиться у циклі `loop()` що представлений в додатку А, яка постійно опитує датчики та формує керуючі сигнали. Симуляція у Tinkercad дозволяє перевірити всю цю логіку інтерактивно: крутиш потенціометри і рухаєш тригер температури сервопривід реагує, рухаєш тригер датчика руху світлодіод вмикається.

3.4 Демонстрація та тестування коректності роботи змодельованих елементів “розумного дому”

Обидві частини системи готові окремо і кінцева демонстрація проводиться у форматі відеозапису де одночасно показані обидва вікна одне з них це Blender з анімаційним сценарієм, а друге вікно Tinkercad з активною симуляцією схеми.

Перед презентацією треба провести тестування анімаційної моделі яка складається з кількох частин. Геометрична достовірність перевіряється, щоб відхилення розмірів чи пропорцій елементів “розумного дому” в Blender не перебільшувало допустимих 10% встановленого вимогами в підрозділі 3.1. Анімаційна коректність перевіряється покадрово у Timeline і Dope Sheet. Кожен компонент анімації перевіряється, щоб було правильне позиціонування ключ кадрів та відсутність артефактів. Особлива увага приділяється синхронізації ходьби персонажа та переміщення камери[34].



Рисунок 3.12. Кадр з анімаційної сцени після рендерингу

Тестування апаратної симуляції проводиться в Tinkercad. Перевірка відбувається сценаріями задаючи вхідні умови вручну повертаючи потенціометри, активізовувати датчик руху, змінювати температуру і фіксуються реакції стан світлодіода, положення сервоприводу показники рідкокристалічного екрана.

Завдяки попередньому тестуванню було виявлено та усунено 2 дефекти. Перший дефект був в точці моделі двері була зміщена відносно дверних петель яка неприродно відкривалась. Виправлено через встановлення 3D Cursor на вісь петлі з наступною командою Set Origin to 3D Cursor [35]. Другий дефект у Tinkercad при зміні стану вікна з OPEN на CLOSED символи “ED” залишалися на екрані і не зникали. Причиною був рядок “OPEN” коротший за “CLOSED”. Вирішено додаванням пробілів після “OPEN” для заповнення рядка.

Висновки до розділу 3

Цей розділ вмістив в собі всю практичну частину дипломної роботи яка була проведена. Методи та інструментарій які розглядалися в попередніх

розділах були практично застосовані та детально описані. Був створений анімаційний сценарій який демонструє роботу повного шляху руху та переміщення персонажа що “тригерить” датчики системи “розумного дому” і змушує реагувати на присутність. Також було описано проєктування схеми та реалізацію апаратної частини системи на базі контролера Arduino Uno в онлайн середовищі Tinkercad.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано сучасні технології “розумного дому”, тривимірного комп’ютерного моделювання, створення електронних схем та апаратної симуляції. Серед них особливу увагу привертають тенденції розвитку та популярності Smart технологій, а також застосунок для створення тривимірних моделей та анімації Blender своєю багатофункціональністю і простотою у використанні та онлайн середовище для апаратної симуляції та створення електронних схем Tinkercad. Проведений аналіз дозволив визначити ключові тенденції та обґрунтувати актуальність обраного напрямку дослідження.

Визначено методи та інструменти для моделювання та анімації сцени дому з елементами системи “розумного дому”, а саме: (Hard Surface Modeling, Extrude, Bevel, Rigid body, Non Linear Animation, модифікатори Boolean, Mirror). Отримані результати дали змогу сформуванати цілісне уявлення про інструментарій Blender стосовно задач даної роботи та уточнити вимоги до геометричної достовірності й організації сцени.

Розроблено повнорозмірний функціонуючий прототип “розумного дому”, що включає тривимірну модель будинку з шістьма змодельованими компонентами та створена анімаційна сцена для навчальної демонстрації із Low Poly персонажем, а також електронну схему з датчиками руху, температури, освітленості та якості повітря, сервоприводом і рідкокристалічним дисплеєм та відео роботи. Що дозволило провести практичну перевірку відповідності між візуальною логікою анімації і апаратної симуляції, а також створити загальне навчальне відео яке об’єднує в собі дві демонстрації з різних середовищ розробки.

Проведено експериментальну перевірку коректності роботи анімації та апаратної симуляції шляхом тестування за визначеними вимогами та відеозапису. У ході тестування виявлено та усунено два дефекти: некоректне розташування точки Origin моделі дверей та залишкові символи на екрані при

зміні позиції сервоприводу. Результати підтвердили доцільність застосування розробленого підходу та описали перспективи його подальшого вдосконалення.

В подальших перспективах вдосконалення дослідження реалізувати синхронізацію Blender з фізичним апаратним стендом у реальному часі через Python бру API та локальну мережу та в демонстрації додати взаємодію системи з водою, димом та нестандартні ситуації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sharma A., Gautam A., Singh A., Chaurasia S. Smart Homes of the Future: A Comprehensive Review of IoT-Based Home Automation. *International Journal of Novel Research and Development*. 2023. Vol. 8, № 5. P. j142–j147. URL: <https://ijnrd.org/papers/IJNRD2305934.pdf> (дата звернення: 23.01.2026).
2. Yar H., Imran A. S., Khan Z. A., Sajjad M., Kastrati Z. Towards Smart Home Automation Using IoT-Enabled Edge-Computing Paradigm. *Sensors*. 2021. Vol. 21, № 14. Article 4932. DOI: 10.3390/s21144932. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8309767> (дата звернення: 23.01.2026).
3. Stolojescu-Crisan C., Crisan C., Butunoi B. P. An IoT-Based Smart Home Automation System. *Sensors*. 2021. Vol. 21, № 11. Article 3784. DOI: 10.3390/s21113784. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/11/3784> (дата звернення: 23.01.2026).
4. M. A. Hannan *et al.*, "A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38997-39014, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2852811. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8403212> (дата звернення: 04.02.2026).
5. Smart Home Technologies Market Size, Share, Analysis, Growth, Trends, Forecast 2024-2031 : Industry Report. *Coherent Market Insights*. URL: <https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/smart-home-technologies-market> (дата звернення: 04.02.2026) .
6. Smart Home Market Outlook (2023 to 2033) : Industry Report. *Future Market Insights*. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/smart-home-market> (дата звернення: 04.02.2026) .
7. Smart Home Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, By Technology, By Region, And Segment Forecasts, 2023-2030 : Industry Analysis. *Grand View Research*. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-homes-industry> (дата звернення: 04.02.2026) .

8. Як правильно розташовувати антени? [Електронний ресурс] Центр допомоги Keenetic 2024. (дата звернення: 05.02.2026) URL:<https://help.keenetic.com/hc/en-us/articles/213968789>
9. Цифровий двійник (Digital Twin) : База знань. *IT-Enterprise*. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/cifrovoj-dvojnuk-digital-twin>(дата звернення: 17.02.2026)
10. Argolini R., Bonalumi F., Deichmann J., Pellegrinelli S. Digital twins: The key to smart product development. McKinsey & Company. 2023. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/digital-twins-the-key-to-smart-product-development> (дата звернення: 17.02.2026)
11. P. Zhang, "Research on the Use of BIM Technology in Green Building Design Based on Neural Network Learning," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 94784-94792, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3421540. URL <https://ieeexplore.ieee.org/document/10579735> (дата звернення: 20.02.2026)
12. Вершини, ребра, грані. Екструдкування форми об'єкта // МійКлас : вебсайт. URL: <https://www.miyklas.com.ua/p/informatica/9-klas/trivimirna-grafika-360745/vershini-rebra-grani-ekstruduvannia-formi-ob-yekta-346828/re-69b22123-fc4d-4d36-bf92-f97e14a822c9> (дата звернення: 21.02.2026)
13. Розбиття поверхні // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Розбиття_поверхні (дата звернення: 01.03.2026)
14. Amine S. Hard-Surface Modeling in Blender. Packt Publishing, 2023. 326 р. URL:<https://books.google.com.ua/books?id=ieF9EAAAQBAJ> (дата звернення: 01.03.2026)
15. James S. Blender 4.5 User Manual 2026: Step-by-Step Guide for 3D Modeling, Animation, Rendering, and Game Asset Creation with Blender 4.5 Perfect for Beginners and Pros. 2026. URL: https://www.google.com.ua/books/edition/Blender_4_5_User_Manual_2026/i2TBEQAAQBAJ (дата звернення: 01.03.2026)

16. Keyframes Introduction // Blender 5.1 Manual. Blender Animation. URL:
<https://docs.blender.org/manual/en/latest/animation/keyframes/introduction.html>
 (дата звернення: 10.03.2026)
17. Brito A. Blender 3D Foundations: The Essential Guide to Learning Blender 2.6. Focal Press, 2012. URL:
<https://books.google.com.ua/books?id=pKKI07OxIbkC> (дата звернення: 16.03.2026)
18. EEVEE // Blender 5.2 Manual. Blender Render Engines. URL:
<https://docs.blender.org/manual/uk/dev/render/eevee/index.html> (дата звернення: 16.03.2026)
19. Hosen M. S., Ahmmmed S., Dekkati S. Mastering 3D Modeling in Blender: From Novice to Pro. ABC Research Alert. 2019. Vol. 7, № 3. P. 169–180. DOI: 10.18034/ra.v7i3.654. URL: <https://abcresearchalert.com/article/view/654> (дата звернення: 18.03.2026).
20. Farmhouse Plan with Split Bed Layout and Laundry Access from Primary Suite. 2646 sq ft. Plan #818067JSS // Architectural Designs : website. URL:
<https://www.architecturaldesigns.com/house-plans/farmhouse-plan-with-split-bed-layout-and-laundry-access-from-primary-suite-2646-sq-ft-818067jss> (дата звернення: 20.03.2026)
21. Ajax Systems. CombiProtect. Керівництво користувача. URL:
<https://support.ajax.systems/uk/manuals/combiprotect/> (дата звернення: 21.03.2026)
22. Hikvision DS-2CD1341G0-I (2.8 мм). IP-відеокамера купольна 4 МП. URL: <https://pipl.ua/ds-2cd1341g0-i-28mm> (дата звернення: 21.03.2026)
23. Futurio. Розумний датчик освітлення Zigbee TuYa (ZSS-QY-LS-C). URL: <https://futurio.com.ua/rozumnyi-datchyk-osviltlennia-zigbee-tuya-zss-qy-ls-c/> (дата звернення: 21.03.2026)
24. Aqara. Датчик температури Aqara

URL: https://rozetka.com.ua/ua/aqara_2001002297076/p327322459/ (дата звернення: 21.03.2026)

25. Eclipse. Пристрій для домашньої системи автоматизації Zigbee Bridge-SA

URL: <https://eclipse.in.ua/pidbir/rozumnij-budinok-smartfon/pristrij-dlya-domashnoyi-sistemi-avtomatizaciyi-ewelink-wifi-1> (дата звернення: 21.03.2026)

26. Ланцюговий електропривод для вікон ELTRAL KS 30/40 EASY // Rozetka : вебсайт. URL: <https://build.rozetka.com.ua/ua/258075051/p258075051> (дата звернення: 21.03.2026)

27. Blender Basic Rigging Process // Instructables : website. URL: <https://www.instructables.com/Blender-Basic-Rigging-Process/> (дата звернення: 30.03.2026)

28. Rigify. Introduction. Main Features // Blender 3.1 Manual. Blender Foundation. URL: <https://docs.blender.org/manual/uk/3.1/addons/rigging/rigify/introduction.html#main-in-features> (дата звернення: 30.03.2026)

29. Electronics // Tinkercad for Teachers. URL: <https://www.tinkercad.com/teachers/electronics> (дата звернення: 30.03.2026)

30. Prasad Ch. R., Srikanth Y., Rao P. R., Sreedhar K. Smart Exterior Home Management System Using Arduino Uno and Tinkercad. AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2418. Article 030039. DOI: 10.1063/5.0081676. URL: <https://www.researchgate.net/publication/360841027> (дата звернення: 30.03.2026).

31. Arduino Uno. Технічна документація. URL: <https://doc.arduino.ua/hardware/Uno> (дата звернення: 30.03.2026)

32. Analog Devices, Inc. Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37: datasheet. Rev. F. Norwood, MA : Analog Devices, 2010. 20 p. URL: https://arduino.ua/docs/TMP35_36_37.pdf (дата звернення: 30.03.2026)

33. LCD Displays // Arduino Documentation . URL: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays/> (дата звернення: 30.03.2026)

34. Troubleshooting. 3D Viewport // Blender Manual. URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/troubleshooting/3d_view.html (дата звернення: 08.04.2026)

35. Точка орієнтира об'єкта // Довідник Blender. URL: https://docs.blender.org/manual/uk/dev/scene_layout/object/origin.html (дата звернення: 11.04.2026)

36. Співак, С., Бондарчук, А., & Черевик, О. (2025). AI-система для професійної орієнтації у сфері 3D-графіки. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 3(31), 698-709.

37. Співак, С. М., Білоус, В. В., Горбатовський, Д. В., & Бондарчук, А. П. (2025). Adapting education to the 3D graphics market using AI. Телекомунікаційні та інформаційні технології, 89(4), 215-221.

38. Abramov, V., Astafieva, M., Boiko, M., Bodnenko, D., Bushma, A., Vember, V., ... & Yaskevych, V. (2021). Theoretical and practical aspects of the use of mathematical methods and information technology in education and science.

39. Машкіна, І. В., Абрамов, В. О., Носенко, Т. І., Іваніченко, Є. В., & Яскевич, В. О. (2024). Навчально-методичний посібник до виконання і захисту кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальностей 122 Комп'ютерні науки для здобувачів вищої освіти денної форми навчання.

Додаток А

Код апаратної симуляції в Tinkercad

```
#include <Servo.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
Servo windowServo;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int pirPin = 2;
int ledCam = 7;

int tempPin = A0;
int humPin = A1;
int airPin = A2;
int lightPin = A3;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(ledCam, OUTPUT);
  windowServo.attach(9);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("TEST");
  lcd.clear();
}
void loop() {

  int motion = digitalRead(pirPin);
  float voltage = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
  float temp = (voltage - 0.5) * 100;
  int air = analogRead(airPin)+analogRead(humPin) ;

  if (motion == HIGH) {
    digitalWrite(ledCam, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(ledCam, LOW);
  }

  String windowState;
  if (air >= 1000 || temp >= 30 ) {
    windowServo.write(90);
    windowState = "OPEN      ";
  } else {
    windowServo.write(0);
    windowState = "CLOSED     ";
  }
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.print(temp);
```

```
lcd.print("C   ");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Air:");  
lcd.print(air);  
lcd.print(" ");  
lcd.print(windowState);  
delay(10);  
}
```