МІНІСТЕРСТВО ФІНАНСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ПОДАТКОВИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ФІНАНСІВ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Розробка 3D-конструктора для проєктування модульного будинку

Здобувача вищої освіти першого (бакалаврського) рівня,
IV курсу, групи ЦДБ-21-1, спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»,
освітня програма «Технології цифрового дизайну»

(підпис) Хом'яка Андрія Васильовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник (підпис) Ратушняк Тетяна Володимирівна, к.ф.-м.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Керівник освітньо-професійної програми (підпис) Ратушняк Тетяна Володимирівна, к.ф.-м.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту за рішенням кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем, протокол від «13» травня 2025 № 18

Завідувач кафедри (підпис) Філоненко Михайло Миколайович, к.ф.-м.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Ірпінь – 2025

Реєстрація № 67 — 26.05.2025 (дата) — (підпис відповідальної особи)

Результати перевірки — до захисту (до захисту, на доопрацювання) — 26.05.2025 (дата) — (підпис)

Результат захисту — 5 (відмінно) (оцінка) — 11.06.2025 (дата) — (підпис)

Голова комісії: (підпис) В.М. Франчук

Члени комісії:

(підпис) М.М. Філоненко

(підпис) Т.В. Ратушняк

(підпис) В.О. Ніжегородцев

БЛАНК ОЦІНЮВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Об'єкти контролю	Діапазон оцінки в балах	Фактична кількість балів	Примітки	Дата, П.І.Б.: керівника, голови комісії членів комісії,секретаря, (підписи)
ОЦІНЮВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ КОМІСІЄЮ ПО ЗАХИСТУ				
1. Зміст випускної роботи (якість теоретичного матеріалу, його зв'язок з практичним, вміння представляти матеріал в логічній послідовності, наявність висновків та пропозицій)	від 0 до 30	29		Ратушняк Т.В Франчук В.М.
2. Дотримання вимог щодо оформлення	від 0 до 10	10		Філоненко М.М. Ратушняк Т.В.
3. Вчасне виконання роботи на всіх етапах у встановлені кафедрою терміни	від 0 до 5	4		Ніжегородцев В.О.
4. Рецензент	від 0 до 5	5		Суховецька Л.П.
РАЗОМ БАЛІВ	від 0 до 50	48		

Оцінювання кваліфікаційної роботи науковим керівником - 47 балів.

ПЕРЕВЕДЕННЯ ОЦІНКИ ЗА 100-БАЛЬНОЮ ШКАЛОЮ ДО НАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ТА ШКАЛИ ЄКТС

Оцінка за 100-бальною шкалою	Оцінка за шкалоюЄКТС	Оцінка за національною шкалою	Дата	П.І.Б.: голови, членів комісії, секретаря, (підпис)
95	A	5(відмінно)	11.06.2025	Франчук В.М. Філоненко М.М. Ратушняк Т.В. Ніжегородцев В.О. Суховецька Л.П.

ПРАВИЛА ПЕРЕВЕДЕННЯ ОЦІНОК ДО НАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ТА ШКАЛИ ЄКТС

Оцінка за 100-бальною шкалою	Оцінка за шкалою ЄКТС	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	5 (відмінно)
80-89	B	4 (добре)
70-79	C	
60-69	D	3 (задовільно)
50-59	E	
35-49	FX	2 (незадовільно)

Факультет фінансів та цифрових технологій
Кафедра комп'ютерних та інформаційних технологій і систем
Галузь знань: 12 «Інформаційні технології»
Спеціальність: 122 «Комп'ютерні науки»
Освітня програма: «Технології цифрового дизайну»

Затверджую
Завідувач кафедри
_____ Філоненко М.М.
«14» листопада 2024

Завдання на кваліфікаційну роботу
здобувачу вищої освіти
Хом'яку Андрію Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка 3D-конструктора для проєктування модульного будинку
Затверджена наказом ректора від «13» листопада 2024 № 1717
2. Строк здачі закінченої роботи «12 » травня 2025
3. Мета роботи: Розробка 3D-конструктора для проєктування модульного будинку, який спрощує процес візуалізації, дозволяє користувачам інтуїтивно взаємодіяти з моделлю, вносити зміни в реальному часі без потреби у спеціальних знаннях з архітектури чи програмного забезпечення.
Об'єкт дослідження: інформаційні технології проєктування цифрових тривимірних моделей.
Предмет дослідження: методи та інструменти 3D-моделювання для створення інтерактивного конструктора, функціонал спеціалізованих програм 3D-моделювання та можливості інтеграції з технологіями 3D-друку та штучного інтелекту.
Орієнтовна база дослідження: Гостомельська селищна військова адміністрація.
4. Вихідні дані до роботи: програмне забезпечення та його документація для 3D-моделювання (Blender, SketchUp); системи штучного інтелекту для автоматизації проєктування; науково-технічні публікації у сфері цифрового моделювання, 3D-друку, модульного будівництва; технічні параметри 3D-принтерів та типів пластику; зразки реалізованих моделей.
5. Перелік графічного матеріалу: Цифрова 3D-модель, згенерована AI методом «text-to-3D»; Цифрова 3D-модель, згенерована методом «picture-to-3D»; Цифрова 3D-модель, імпортована в програмне середовище Blender; Екструдування пазів з'єднання конструктора у програмному середовищі Blender; Цифрова 3D-модель у програмному середовищі SketchUp з параметричними розмірами; Вид 3D-конструктора зверху з кріпленнями «ластівчин хвіст» та його комбінації; Вид кріплення знизу «through housing»; Логотип 3D-конструктора, розроблений у програмному середовищі Figma; Цифрова 3D-модель у програмному середовищі редагування друку Bambu Studio; фотографія надрукованої цифрової 3D-моделі.
6. Зміст кваліфікаційної роботи: Вступ; Розділ 1. 3D – моделювання та напрями використання; 1.1. Основні властивості 3d-моделюваня; 1.2. 3D-друк. Його характеристика та можливості; 1.3. Впровадження 3d-моделювання в будівництві; Розділ 2. Концепція 3d-конструктора для модульного будинку ; 2.1. Аналіз модульного житла; 2.2. Розгляд існуючих конструкторів для макетування; 2.3. Технології AI для 3D-моделювання; Розділ 3. Розробка 3D-конструктора; 3.1. Вибір програмного середовища для моделювання; 3.2. Методологія проєктування та моделювання ; 3.3. 3D-друк. Огляд та висновки виконаного прототипування проєкта ; Висновки; Список використаних джерел.

7. Календарний план виконання роботи

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційноїроботи	Строк виконання етапів роботи	
		За планом	Фактично
1	2	3	4
1	Вибір теми, підбір літературних джерел, формування структури кваліфікаційної роботи	До 30.10.2024	До 30.10.2024
2	**І розділ** (розкрити сутність і стан дослідження наукової проблематики роботи, після чого навести її загальну характеристику; огляд літератури за темою і вибір конкретних напрямів досліджень)	25.12.2024	25.12.2024
3	**ІІ розділ** (аналіз експериментальної частини про методики досліджень)	15.02.2025	15.02.2025
4	**ІІІ розділ** (проведені теоретичні і (або) експериментальні дослідження та проєктні рішення)	14.04.2025	14.04.2025
5	**Висновки**	01.05.2025	01.05.2025
6	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень наукового керівника	09.05.2025	09.05.2025
7	Отримання відгуку керівника	03.06.2025	03.06.2025
8	Отримання зовнішньої рецензії	05.06.2025	05.06.2025

8. Дата видачі завдання «14» листопада 2024

9. Керівник кваліфікаційної роботи _____ (підпис) Ратушняк Т.І (прізвище, ініціали)

10. Керівник освітньо-професійної програми _____ (підпис) Ратушняк Т.І (прізвище, ініціали)

11. Завдання до виконання отримав здобувач вищої освіти _____ (підпис) Хом'як А.В. (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Розробка 3D-конструктора для проєктування модульного будинку

Мета роботи: розробка 3D-конструктора для проєктування модульного будинку, який спрощує процес візуалізації, дозволяє користувачам інтуїтивно взаємодіяти з моделлю, вносити зміни в реальному часі без потреби у спеціальних знаннях з архітектури чи програмного забезпечення.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз особливостей модульного будівництва та актуальних рішень у сфері 3D-моделювання;
2. Визначити технічні вимоги до конструктора, зокрема функціональні особливості та вимоги до інтерактивності;
3. Вивчити можливості сучасних інструментів (SketchUp, Blender) та технологій штучного інтелекту для оптимізації процесу моделювання;
4. Розробити архітектуру конструктора, яка включає адаптивний графічний інтерфейс та підтримку експорту у формати STL;
5. Забезпечити використання апаратних компонентів (мікроконтролери Arduino) для визначення положення модулів у фізичному просторі;
6. Реалізувати прототип конструктора та провести тестування його функціоналу.

Об'єкт дослідження: інформаційнітехнології проєктування цифрових тривимірних моделей.

Предмет дослідження: методи та інструменти 3D-моделювання для створення інтерактивного конструктора, функціонал спеціалізованих програм 3D-моделювання та можливості інтеграції з технологіями 3D-друку та штучного інтелекту.

Методи дослідження:

1. Аналіз літературних джерел;
2. Порівняльний аналіз програмних засобів;
3. Моделювання та проєктування інтерфейсів;

4. Візуалізація;
5. Експериментальне тестування.

Базою дослідження слугує сучасне програмне забезпечення для 3D-моделювання, інформаційно-аналітичні ресурси в галузі комп'ютерного проєктування, а також науково-технічні джерела, що розкривають новітні методи 3D-друку та особливості їх застосування в IT-сфері.

Одержані результати можуть бути використані в освітній та архітектурній діяльності у процесах проєктування та моделювання модульних будівель. Одержані результати дозволять використовувати 3D-конструктор широким колом користувачів для створення індивідуальних рішень у модульному будівництві.

Кваліфікаційна робота містить 51 сторінки, 10 рисунків, список використаних джерел з 47 найменувань, 4 додатки.

Ключові слова: 3D-конструктор, модульне житло, цифрове моделювання, архітектурна візуалізація, Arduino, Blender, SketcUp, AI, 3D-друк.

Рік виконання кваліфікаційної роботи 2025.

Рік захисту роботи 2025.

ABSTRACT

Development of a 3D-constructor for designing a modular house

Purpose of the work: development of a 3D designer for designing a modular house, which simplifies the visualization process, allows users to intuitively interact with the model, make changes in real time without the need for special knowledge of architecture or software.

Research objectives:

1. Analyze the features of modular construction and current solutions in the field of 3D modeling;
2. Determine technical requirements for the designer, in particular functional features and requirements for interactivity;
3. Study the capabilities of modern tools (SketchUp, Blender) and artificial intelligence technologies to optimize the modeling process;
4. Develop the designer architecture, which includes an adaptive graphical interface and support for export to STL formats;
5. Ensure the use of hardware components (Arduino microcontrollers) to determine the position of modules in physical space;
6. Implement a prototype of the designer and test its functionality.

Object of research: information technologies for designing digital three-dimensional models.

Subject of research: methods and tools of 3D modeling for creating an interactive designer, functionality of specialized 3D modeling programs and possibilities of integration with 3D printing and artificial intelligence technologies.

Research methods:

1. Analysis of literary sources;
2. Comparative analysis of software tools;
3. Modeling and design of interfaces;
4. Visualization;
5. Experimental testing.

The research is based on modern 3D modeling software, information and analytical resources in the field of computer-aided design, as well as scientific and technical sources that reveal the latest 3D printing methods and features of their application in the IT field.

The results obtained can be used in educational and architectural activities in the processes of designing and modeling modular buildings. The results obtained will allow a wide range of users to use the 3D designer to create individual solutions in modular construction.

The qualification work contains 51 pages, 10 figures, a list of used sources of 47 items, 4 appendix.

Keywords: 3D designer, modular housing, digital modeling, architectural visualization, Arduino, Blender, SketcUp, AI, 3D printing.

Year of completion of the qualification work 2025.

Year of defense of the work 2025.

ЗМІСТ

ВСТУП 3
РОЗДІЛ 1. 3D – МОДЕЛЮВАННЯ ТА СУЧАСНІ НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ 5
1.1.Основні властивості 3D-моделювання 5
1.2. 3D-друк. Його характеристика та можливості 9
1.3. Впровадження 3D-моделювання в будівництві 14
РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПЦІЯ 3D-КОНСТРУКТОРА ДЛЯ МОДУЛЬНОГО БУДИНКУ 19
2.1. Аналіз модульного житла 19
2.2. Розгляд існуючих конструкторів для макетування 24
2.3. Технології AI для 3D моделювання 28
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА 3D-КОНСТРУКТОРА 32
3.1. Вибір програми моделювання 32
3.2. Методологія проєктування та моделювання 34
3.3. 3D-друк. Огляд та висновки виконаного прототипування проєкта 39
ВИСНОВКИ 45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 47
ДОДАТКИ 52

ВСТУП

Останніми роками модульні будинки набувають все більшої популярності як швидке, економічне та екологічне рішення для створення житлових об’єктів. Такий підхід дозволяє скоротити терміни будівництва, оптимізувати витрати та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

У зв’язку з цим актуальною є розробка спеціалізованих 3D-конструкторів, які допомагають у моделюванні та оцінці модульних будівель. Використання такого конструктора дозволяє клієнтам отримати наочне уявлення про майбутній будинок, легко вносити зміни в проєкт та адаптувати його під свої потреби без необхідності розуміння складних будівельних схем, програм проєктування та комп’ютерних технологій, які пов’язані з цифровим дизайном. Це особливо важливо для користувачів, які не мають знань у сфері будівництва, оскільки 3D-конструктор дає змогу інтуїтивно та наочно взаємодіяти з проєктом.

Сучасні програмні рішення для 3D-моделювання здебільшого є універсальними й не завжди адаптовані до специфічних завдань проєктування. Багато спеціалізованих програмних пакетів розробляються великими компаніями як комерційні продукти, що потребують значного часу на опанування, наприклад, Archicad, що ускладнює їх доступність для індивідуальних користувачів. У рамках дипломної роботи будуть розглянуті популярні інструменти для моделювання, зокрема SketchUp та Blender, які вимагають невисокого рівня підготовки з інженерної графіки та 3D-моделювання і є потужними засобами для створення індивідуальних проєктів. Також буде застосовано штучний інтелект як допоміжний засіб у проєктуванні конструктора.

Метою дипломної роботи є розробка 3D-конструктора для проєктування модульного будинку, який спростить процес візуалізації та моделювання, дозволить клієнтам інтуїтивно взаємодіяти з проєктом та вносити коригування без необхідності глибоких технічних знань. На цьому етапі можна відокремити такі завдання, які потрібно вирішити для досягнення поставленої мети – аналіз ринку модульних будинків та їх сутність, AI технології у моделюванні, взаємодія

з програмним середовищем 3D моделювання для подальшого друку і взаємодії з моделями.

Об’єктом дослідження є процес проєктування складних цифрових моделей із використанням сучасних програмних технологій та 3D-моделювання.

Предметом дослідження є методи та інструменти 3D-моделювання, що використовуються для створення конструктора, зокрема функціональні можливості спеціалізованого програмного забезпечення для проєктування та візуалізації цифрових об’єктів.

У дослідженні застосовуються загальнонаукові методи аналізу та синтезу для вивчення існуючих підходів до проєктування та 3D-моделювання [3]. Порівняльний аналіз використовується для оцінки можливостей різного програмного забезпечення у сфері цифрового моделювання. Метод візуалізації дозволяє створити реалістичне представлення майбутнього будинку, а розроблений інтерактивний 3D конструктор сприятиме ефективному проєктуванню модульних споруд.

Базою дослідження є сучасне програмне забезпечення для тривимірного моделювання, інформаційні ресурси у сфері комп’ютерного проєктування, а також наукові та технічні джерела, що висвітлюють актуальні методи 3D-друку та їхнє застосування в ІТ-галузі [3].

Результатом роботи є розроблений 3D-конструктор модульного будинку, що дозволяє користувачам візуалізувати проєкт, вносити зміни та оцінювати майбутній вигляд будівлі в реальному часі без залучення спеціалізованих програмних середовищ.

Апробація. Результати роботи було висвітлено на наукових конференціях, зокрема: 3rd International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives» [36].

РОЗДІЛ 1. 3D – МОДЕЛЮВАННЯ ТА СУЧАСНІ НАПРЯМИ ВИКОРИСТАННЯ

1.1.Основні властивості 3D-моделювання

Тривимірна графіка, або 3D-графіка – це розділ комп’ютерних технологій, що охоплює методи та інструменти, призначені для створення й візуалізації об’ємних об’єктів у цифровому середовищі. Вона відіграє ключову роль у багатьох сферах, зокрема у розробці комп’ютерних ігор, архітектурному проєктуванні, промисловому дизайні, медицині, кінематографії, наукові роботи, інженерії, машинному виробництві (літаки, авто, кораблі, тощо).

3D-моделювання є основним процесом у створенні тривимірної графіки. Воно дозволяє розробляти цифрові об’єкти, які можуть імітувати реальні матеріали та структури, маючи детальну текстуру, тіні, освітлення та фізичні властивості. Висока точність і можливість масштабування роблять 3D-моделювання важливим інструментом у виробництві, де необхідно розробляти складні конструкції та тестувати їх перед виготовленням [39].

Перші значущі досягнення у сфері 3D-моделювання з’явилися у 1960-х роках з розвитком перших комерційних систем автоматизованого проєктування (САПР). Саме тоді Вільям Феттер (William Fetter) започаткував використання математичних формул для перетворення тривимірних координат у двовимірні, що стало основою для візуалізації. Його розробка дозволяла створювати тривимірні об'єкти, використовуючи лінійні контури (Fetter, 1962).

Приблизно в той самий період аспірант Массачусетського університету Іван Сазерленд (Ivan Sutherland) експериментував із відображенням об’єктів на комп’ютерних екранах. У 1963 році він розробив першу програму для 3D-моделювання – Sketchpad [26], яка дозволяла створювати прості тривимірні об’єкти на основі полігональної сітки, що складалася з вершин, ребер і граней. Унікальність цієї програми полягала в можливості малювання векторних фігур за допомогою світлового пера, збереження їх у пам’яті, а також використання шаблонів.

Важливим нововведенням Sketchpad стала концепція ієрархічної структури «батько-нащадок»: користувач міг багаторазово копіювати створені об'єкти, змінюючи їх незалежно один від одного. При внесенні змін до вихідного об'єкта його дублікати автоматично оновлювалися відповідно до нових параметрів. Крім того, програма містила інструменти автоматичного малювання геометричних фігур, де користувачеві достатньо було вказати лише розташування та розміри, що значно спрощувало процес моделювання (Sutherland, 1963).Крім того, сучасні технології 3D-моделювання інтегруються зі штучним інтелектом та автоматизованими алгоритмами, що дозволяє значно прискорити процес розробки та підвищити якість кінцевих результатів. У поєднанні з віртуальною та доповненою реальністю тривимірна графіка створює інтерактивні середовища, які використовуються у навчанні, симуляціях та розважальній індустрії [11].

Розробка процесу 3D-моделювання була зумовлена необхідністю більш реалістичного та точного представлення об’єктів у цифровому середовищі. У різних сферах виникла потреба у створенні візуалізацій, що максимально точно передавали б форму, текстуру та поведінку реальних предметів. 3D-моделювання дозволило значно спростити розробку складних конструкцій, зменшити витрати на створення фізичних прототипів і покращити процеси тестування. Крім того, його використання у віртуальній реальності, симуляціях та анімації зробило можливим створення інтерактивних імітацій для навчання, досліджень та розваг.

Завдяки своїм ключовим характеристикам 3D-моделювання стало невід’ємною частиною сучасних цифрових технологій, розширюючи можливості дизайну, інженерії, медицини та інших галузей. Постійний розвиток програмного забезпечення, апаратних засобів та методів обробки тривимірної графіки сприяє її подальшому поширенню та вдосконаленню.

Однією з головних властивостей 3D-моделювання є висока геометрична точність. Ця характеристика дозволяє створювати складні форми та об’єкти з високим рівнем деталізації, що критично важливо для певних галузей. Сучасне

програмне забезпечення надають широкі можливості для точного відтворення реальних об’єктів у цифровому форматі.

Одне з них є текстурування. Це процес нанесення візуальних матеріалів на 3D-модель, що надає їй реалістичності. За допомогою цього методу можна відтворювати різні поверхні: метал, дерево, скло, тканину тощо. Освітлення також має серйозний вплив, оскільки дозволяє створювати природні тіні та відблиски, для більшої реалістичної та аналізу об’єкту. Сучасні 3D-редактори містять вбудовані системи освітлення та рендерингу, що дозволяють досягати фотореалістичних ефектів. Ще однією важливою властивістю 3D-моделювання є можливість інтерактивної взаємодії з об’єктами. Завдяки цьому 3D-моделі використовуються у віртуальній та доповненій реальності, відеоіграх і симуляторах. Крім того, анімація дозволяє оживити моделі, задаючи їм рух за допомогою ключових кадрів або фізичних симуляцій [39].

Також 3D-моделі можуть бути створені у різних масштабах, що дозволяє використовувати їх як для макро, так і для мікрорівневого проєктування. Наприклад, у містобудуванні можна змоделювати цілий квартал, тоді як у медицині можна створювати точні копії людських органів для подальшого аналізу або хірургічного планування [47].

3D-моделювання стало основою для технології 3D-друку, що дозволяє створювати фізичні об’єкти на основі цифрових моделей. Це відкриває нові можливості у виробництві, особливо у сфері прототипування, ювелірній справі та навіть в звуко-аудіо симуляцій. Сучасні 3D-принтери можуть друкувати об’єкти з різних матеріалів: пластику, металу, кераміки тощо.

Це дає одну з ключових переваг 3D-моделювання - значного зменшення витрат на розробку та виробництво. Це досягається за рахунок попереднього моделювання та тестування конструкцій перед їхнім фізичним створенням. Автоматизовані алгоритми також дозволяють швидко змінювати параметри моделей без необхідності їх повного перероблення. Технології нашого часу дають можливість інтегрувати 3D-моделювання з нейромережами та штучним інтелектом, що значно полегшує процес створення та редагування моделей.

Такі властивості роблять цю технологію незамінною у багатьох галузях, а постійний розвиток програмних та апаратних засобів лише розширює її можливості. Воно активно інтегрується у новітні технологічні сфери, відкриваючи можливості для створення віртуальних світів, розробки високотехнологічних пристроїв і вдосконалення виробничих процесів. До прикладу біоінженерія, де цифрові 3D-моделі використовуються для розробки протезів, імплантів і також друку органів за допомогою біопринтерів. Це значно прискорює процеси створення медичних виробів та дозволяє адаптувати їх під індивідуальні особливості пацієнтів. У сфері медицини 3D-моделювання також використовується для симуляції операцій, що дає можливість хірургам детально вивчити особливості будови органів перед втручанням. Це особливо актуально при складних нейрохірургічних операціях, коли необхідно розрахувати кожен рух.

Окрім медичної сфери, 3D-технології стали невід'ємною частиною сучасного виробництва та будівництва. Багато промислових підприємств використовують 3D-моделювання для створення прототипів продукції, що дозволяє тестувати її характеристики до запуску у серійне виробництво. Завдяки цьому зменшується кількість помилок та знижуються витрати на виправлення конструктивних недоліків. У будівництві 3D-моделювання сприяє точному проєктуванню та візуалізації майбутніх споруд. Це особливо важливо у модульному будівництві, де кожен елемент конструкції повинен відповідати строгим параметрам. Завдяки інтеграції 3D-моделей у спеціалізовані програмні платформи, архітектори та інженери можуть заздалегідь передбачати проблемні ділянки, що значно підвищує ефективність процесу [7].

У майбутньому 3D-технології стануть ще більш інтерактивним та доступними завдяки поєднанню з технологіями штучного інтелекту та машинного навчання. Наприклад, сучасні алгоритми дозволяють автоматично створювати складні моделі на основі базових ескізів, що значно спрощує процес. Крім того, розвиток квантових обчислень може суттєво прискорити рендеринг та симуляцій.

Сучасна освіта активно впроваджує 3D-моделювання як один із ключових напрямів підготовки майбутніх спеціалістів. Це зумовлено зростаючою роллю тривимірної графіки у різних галузях науки та техніки, що вимагає від випускників володіння сучасними цифровими інструментами. Відтак, все більше навчальних закладів додають до своїх програм курси з основ 3D-графіки, що допомагає студентам опановувати навички, необхідні для роботи у багатьох галузях.

Інтеграція 3D-технологій у навчальний процес відкриває широкі можливості для майбутніх фахівців. Крім цього, поширення 3D-моделювання у навчальних закладах позитивно впливає на розвиток творчих здібностей студентів, стимулює їх до експериментів та пошуку нових рішень. Віртуальні лабораторії, інтерактивні симуляції та моделювання складних процесів допомагають глибше зрозуміти предмет та опанувати сучасні технологічні підходи. Такий підхід сприяє зростанню кількості кваліфікованих фахівців, які можуть ефективно застосовувати ці технології на практиці, що, своєю чергою, позитивно впливає на загальний рівень розвитку індустрії. Таким чином, впровадження 3D-технологій у систему освіти сприяє не лише підвищенню рівня підготовки спеціалістів, а й загальному розвитку технологічного прогресу в різних сферах [22].

1.2. 3D-друк. Його характеристика та можливості

3D-друк – це передова технологія, що дає змогу виготовляти тривимірні об'єкти шляхом пошарового нанесення матеріалу відповідно до цифрової моделі. 3D-друк, також відомий як адитивне виробництво [5], є сучасною технологією, яка дозволяє створювати тривимірні об'єкти шляхом пошарового додавання матеріалу відповідно до цифрової моделі. На відміну від традиційних виробничих процесів, що базуються на видаленні матеріалу, таких як фрезерування чи свердління, 3D-друк забезпечує точне формування об'єктів без значних втрат сировини. Завдяки цій особливості можна швидко та ефективно виготовляти складні деталі без необхідності використання форм або штампів, що

значно зменшує кількість відходів і оптимізує виробничі процеси, що робить виробництво більш екологічним та економічно вигідним [10]. Крім того, 3D друк дозволяє реалізовувати унікальні дизайнерські рішення, створювати персоналізовані вироби та прототипи, а також швидко адаптувати конструкції під індивідуальні потреби. Він має широкий попит у промисловості, медицині, архітектурі, автомобілебудуванні та навіть у космічних дослідженнях, відкриваючи нові можливості для розробки та виготовлення складних технічних елементів [39].

Популярність настільних 3D-принтерів почала зростати приблизно у 2010 році, коли такі компанії, як MakerBot, привернули увагу інвесторів і ЗМІ. Однак виробники чудово розуміють, що сам принцип цієї технології – пошарове нанесення матеріалу для створення об’єкта за цифровою 3D-моделлю – має набагато глибші історичні корені. Перший патент на технологію, що отримав назву «рідинний металевий самописець», з’явився ще у 1970-х роках, хоча сама концепція зародилася значно раніше. У 1945 році письменник-фантаст Мюррей Лейнстер у своєму оповіданні «Речі проходять повз» передбачив методику, схожу на сучасний 3D-друк. Він описав процес, у якому спеціальний механізм подає «магнітронний пластик» і, керуючись сканованими фотоелементами зображеннями, формує конструкції просто в повітрі. Те, що колись виглядало як фантастика, у підсумку стало технологічною реальністю [4].

Створення 3D-принтера стало результатом зусиль кількох учених і винахідників, однак ключову роль у розвитку цієї технології відіграв американський інженер Чарльз (Чак) Халл. Саме його дослідження в галузі стереолітографії та розробка першого комерційного 3D-принтера стали відправною точкою для нової ери у виробництві.

У 1983 році Чак Халл розробив новаторську технологію, яка пізніше отримала назву стереолітографії, і стала першою методикою 3D-друку. Його відкриття полягало в тому, що рідкий фотополімер під впливом ультрафіолетового світла тверднув, формуючи об’ємний об’єкт пошарово. Саме цей принцип став основою для подальшого розвитку тривимірного друку та

сприяв значному прогресу у виробничих процесах. Головною особливістю стереолітографії була її здатність створювати складні деталі з високою точністю, використовуючи цифрові моделі для контролю друку. До появи цієї технології процес виготовлення прототипів був повільним і затратним, що спонукало розробників до пошуку більш ефективних рішень. Інновація Халла стала проривом, що змінив підхід до виробництва та проєктування. У 1986 році він отримав патент на свою технологію та заснував компанію 3D Systems, яка згодом стала лідером у сфері 3D-друку. Вже у 1988 році світ побачив перший комерційний 3D-принтер під назвою SLA-1. Його поява стала революційною для багатьох галузей, відкривши нові горизонти для швидкого прототипування та виробництва [15].

Хоча Чак Халл є найбільш відомим винахідником 3D-друку, подібні дослідження проводилися ще у 1980-х роках у Японії та Франції. Відповідно винахідник, японський інженер Хідео Кодама та французькі дослідники Жан-Клод Андре, Олів'є де Вітте та Ален ле Меоте.

Існує кілька основних технологій 3D-друку, кожна з яких має свої особливості та застосування:

Стереолітографія (SLA) – це одна з перших і найточніших технологій 3D-друку, заснована на використанні лазера для затвердіння рідкого фотополімеру. У процесі друку лазер спрямовується на фоточутливу рідину, затверджуючи її шар за шаром відповідно до цифрової моделі. Цей метод дозволяє отримувати об'єкти з високою деталізацією та гладкою поверхнею, що робить його популярним у стоматології, ювелірному виробництві та інженерії. Завдяки високій точності стереолітографія ідеально підходить для створення прототипів і складних геометричних конструкцій.

Моделювання методом наплавлення (FDM) – це найбільш поширена технологія 3D-друку, яка базується на екструзії термопластичного матеріалу. Пластикова нитка розплавляється у друкарській головці та накладається шарами, поступово формуючи об'єкт. FDM-друк підтримує різні види пластику, кожен із яких має унікальні властивості та застосування. ABS (акрилонітрил-бутадієн-

стирол) – міцний і термостійкий матеріал, що використовується для функціональних деталей і прототипів. Вимагає підігріву платформи для запобігання деформації. PLA (полілактид) – біорозкладний та екологічний пластик, легкий у друку, ідеальний для освітніх і декоративних виробів, хоча менш міцний за ABS. PETG (гліколізований поліетилентерефталат) – поєднує гнучкість, міцність і стійкість до вологи, добре підходить для функціональних деталей та інженерних компонентів. Також застосовують TPU для гнучких виробів, Nylon для міцних деталей та PC для високотемпературних навантажень. Це різноманіття робить FDM-друк універсальним для прототипування, медицини, машинобудування та архітектури [39].

Лазерне спікання порошків (SLS) – це метод 3D-друку, який використовує потужний лазер для спікання дрібних частинок порошкового матеріалу, таких як нейлон, метал або кераміка. Під впливом лазера порошок плавиться та утворює тверду структуру, забезпечуючи міцність і зносостійкість готових виробів. SLS-друк дозволяє створювати складні, функціональні деталі без використання підтримуючих структур, що робить його ідеальним для промислового виробництва, аерокосмічної та автомобільної галузей.

Тепер постає питання. Як принтер розуміє які шари і розміри необхідні для друку 3D об’єктів? 3D-принтер не може безпосередньо працювати з файлами моделей – йому потрібен набір чітких інструкцій, що регулюють рух друкуючої головки, температуру, швидкість і спосіб формування об’єкта. Цю функцію виконує – слайсер.

Слайсер – це спеціальна програма, яка перетворює 3D-модель у набір інструкцій (G-код) для 3D-принтера. Він розрізає модель на тонкі шари та визначає, як принтер має їх друкувати, враховуючи параметри, такі як швидкість, температура, заповнення та підтримки.

Основна функція слайсера – адаптація цифрової моделі до можливостей конкретного принтера, забезпечуючи оптимальну якість друку. Завдяки йому користувач може налаштовувати параметри друку, що впливає на міцність,

детальність та швидкість виготовлення об'єкта. Без слайсера 3D-принтер не зміг би інтерпретувати модель і перетворити її в фізичний об'єкт [23].

Можливості 3D-друку охоплюють широкий спектр галузей. До прикладу у медицині ця технологія використовується для виготовлення індивідуальних імплантатів, протезів та моделей органів, які допомагають лікарям у плануванні складних хірургічних операцій. В архітектурі та будівництві 3D-друк дозволяє створювати точні масштабні моделі будівель, а також друкувати будівельні елементи і навіть цілі конструкції. У сфері автомобільної та авіаційної промисловості адитивне виробництво застосовується для швидкого прототипування та створення спеціалізованих компонентів. Також ця технологія відкрила нові можливості для моди та дизайну, адже дозволяє виготовляти унікальні аксесуари, одяг і ювелірні вироби. В освітній сфері 3D-друк активно впроваджується для навчання студентів, які отримують практичний досвід у створенні інженерних та дизайнерських рішень [11].

Однією з найбільших переваг 3D-друку є можливість швидкого прототипування, що дозволяє значно скоротити час від розробки концепції до створення фізичного виробу. Завдяки цьому компанії можуть швидше впроваджувати нові продукти на ринок. Іншою важливою перевагою є індивідуалізація, оскільки 3D-друк дозволяє виготовляти унікальні вироби без значного збільшення вартості. Крім того, адитивне виробництво сприяє зменшенню кількості відходів, оскільки використовує лише необхідний матеріал. Також важливою особливістю є можливість створення деталей зі складною геометрією, які неможливо або дуже важко виготовити традиційними методами.

Попри значні переваги, 3D-друк має певні обмеження. Наприклад, не всі матеріали підходять для цього процесу, а деякі з них можуть бути занадто дорогими або складними у використанні. Ще одним викликом є швидкість друку, яка часто залишається низькою, особливо якщо йдеться про великі чи деталізовані об'єкти. Крім того, не всі надруковані деталі мають необхідну механічну міцність, що інколи обмежує їхнє використання у виробництві критично важливих компонентів.

Попри ці виклики, 3D-друк продовжує активно розвиватися, стаючи дедалі доступнішим і універсальнішим. Очікується, що нові розробки у сфері матеріалів та технологій допоможуть значно покращити якість та швидкість друку. Уже сьогодні проводяться дослідження, спрямовані на створення нових біосумісних матеріалів для медичних імплантатів, а також розробку методів 3D-друку для будівництва житла та інфраструктури. Ця технологія має величезний потенціал і продовжує відкривати нові можливості для промисловості, науки та повсякденного життя.

Крім того, технологія 3D-друку відкриває нові перспективи у сфері екології та сталого розвитку. Завдяки можливості друкувати вироби безпосередньо в місці їхнього використання, зменшується потреба у транспортуванні, що, у свою чергу, знижує рівень викидів вуглекислого газу. Також дедалі більше компаній експериментують із використанням біорозкладних та перероблених матеріалів для 3D-друку, що сприяє зменшенню кількості промислових відходів [4].

У перспективі технологія 3D-друку може повністю змінити підхід до виробництва, дозволяючи компаніям створювати продукцію безпосередньо на вимогу, мінімізуючи складські запаси та витрати на логістику. Уже сьогодні спостерігається активний розвиток технологій багатошарового друку, які дозволяють створювати об'єкти з різних матеріалів одночасно, що ще більше розширює можливості застосування цієї технології [15].

Загалом, 3D-друк є однією з найперспективніших технологій сучасності. Його характеристики, такі як точність, швидкість виробництва, гнучкість у виборі матеріалів та можливість створення складних структур, роблять його незамінним у багатьох сферах. Завдяки безперервному розвитку, 3D-друк уже сьогодні дозволяє реалізовувати інноваційні проєкти, які ще кілька десятиліть тому здавалися фантастикою.

1.3. Впровадження 3D-моделювання в будівництві

Сучасні технології 3D-моделювання стрімко розвиваються і стають невід’ємною частиною будівельної галузі. Їхнє застосування відкриває нові

можливості для архітекторів, інженерів і будівельників, забезпечуючи ефективніше планування, оптимізацію ресурсів та підвищення якості кінцевого продукту. Завдяки цифровому проєктуванню можна створювати детальні віртуальні моделі, що дозволяють аналізувати всі конструктивні особливості, оцінювати їхню стійкість і ефективність, а також прогнозувати можливі проблеми ще на етапі проєктування.

Окрім того, 3D-моделювання значно скорочує витрати часу та фінансових ресурсів на створення прототипів. Завдяки цій технології стало можливим швидке виявлення недоліків і внесення змін до проєкту без необхідності дорого вартісних виправлень уже на етапі будівництва.

Прототипи відіграють ключову роль на всіх стадіях проєктування та виробництва, оскільки вони дозволяють створювати фізичні або віртуальні моделі майбутніх конструкцій для їх тестування та оптимізації. На ранніх етапах розробки вони допомагають оцінити конструкційну міцність, функціональність та відповідність стандартам, що суттєво знижує ризики невідповідностей під час будівництва. Це особливо важливо для складних архітектурних рішень, де навіть незначні прорахунки можуть призвести до значних витрат на коригування. Також можливо значно скоротити час між проєктуванням і реалізацією, оскільки вони дозволяють замовникам та інженерам візуально оцінити майбутній об’єкт, виявити потенційні проблеми та внести корективи, ще до початку основного будівництва. Крім того, такі прототипи дають змогу проводити випробування різних матеріалів, що сприяє вибору найбільш оптимальних.

З ключових переваг 3D-моделювання можна виділити адаптивність та універсальність, адже воно застосовується не лише у великомасштабному будівництві, а й у проєктуванні індивідуальних житлових об'єктів, ландшафтному дизайні та реставрації історичних пам’яток. Таким чином, ця технологія відкриває широкі перспективи розвитку та продовжує вдосконалювати традиційні підходи до будівництва [46].

Одним із ключових напрямів розвитку є інтеграція 3D-моделювання з технологією Building Information Modeling (BIM) [15], що забезпечує

комплексний підхід до управління будівельними проєктами. BIM-моделі дозволяють керувати всіма аспектами проєкту в єдиному цифровому середовищі, що значно зменшує ймовірність помилок і скорочує час виконання робіт. Завдяки BIM-інтеграції будівельні компанії можуть проводити більш точні розрахунки витрат, контролювати використання матеріалів та забезпечувати ефективне управління ресурсами [39].

Для цього здебільшого використовують технології віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) у будівництві, яка надає можливість взаємодіяти з цифровими моделями в режимі реального часу. Це дозволяє замовникам, архітекторам і будівельникам проводити детальну оцінку.

Для взаємодії з VR та AR технологіями використовуються спеціальні пристрої, такі як окуляри віртуальної та доповненої реальності. Серед популярних моделей виділяються:

- Meta Quest 2: автономна гарнітура VR, розроблена компанією Meta (раніше Facebook), яка не потребує підключення до зовнішнього обладнання;
- Microsoft HoloLens 2: окуляри доповненої реальності, які накладають цифрові об'єкти на реальний світ, дозволяючи користувачам взаємодіяти з віртуальними елементами в реальному середовищі;
- Apple Vision Pro: новітня гарнітура змішаної реальності від Apple, яка поєднує елементи VR та AR для створення інтерактивного досвіду.

Все більше будівельних компаній інтегрують VR та AR технології у свої процеси, що значно покращує якість проєктування. Завдяки цим рішенням фахівці можуть не лише створювати детальні цифрові моделі, а й оцінювати їх у реальному масштабі, аналізуючи кожен елемент [45].

Ще одним напрямом є генеративний дизайн, який застосовує штучний інтелект для автоматичного створення найбільш ефективних та стійких конструкцій. Такий підхід допомагає оптимізувати використання матеріалів, знижувати витрати та покращувати енерго-теплоефективність будівель [46].

Для реалізації генеративного дизайну активно використовуються штучні інтелекти, такі як Autodesk Dreamcatcher, Nvidia Omniverse, OpenAI Codex та

Google DeepMind AI. Наприклад, Autodesk Dreamcatcher [12] дозволяє інженерам задавати необхідні параметри конструкції, після чого AI пропонує оптимальні варіанти дизайну. Nvidia Omniverse інтегрується з 3D-моделюванням і забезпечує високоточні симуляції в реальному часі. OpenAI Codex може автоматизувати процеси кодування для архітектурного моделювання, а Google DeepMind AI використовується для прогнозування довговічності конструкцій і зниження ризиків під час будівництва.

Генеративне моделювання дозволяє створювати проєкти, які відповідають екологічним стандартам, використавши при цьому мінімальну кількість ресурсів отримуючи високу стійкість до зовнішніх впливів. Завдяки цьому технологія стає важливим інструментом у створенні будівель нового покоління.

Впровадження 3D-моделювання та друку сприяє економії ресурсів і оптимізації будівельних витрат. Використання точних цифрових моделей дозволяє зменшити перевитрати матеріалів, а також скоротити час на виправлення помилок, що виникають через недосконале планування.

З екологічної точки зору, 3D-друк допомагає мінімізувати кількість будівельних відходів, забезпечуючи максимально ефективне використання матеріалів. Завдяки точному дозуванню сировини та можливості повторного використання залишків, значно знижується екологічне навантаження на навколишнє середовище. Додатково, застосування екологічно чистих матеріалів, таких як перероблений бетон або біополімери, зменшує викиди CO_2 та сприяє сталому розвитку будівельної галузі [34].

3D-візуалізація також дозволяє зменшити споживання електроенергії в порівнянні з традиційними методами будівництва, де часто виникає необхідність у переробці помилок, таких як не ефективне електропостачання або нераціональне використання електроінструментів. Також 3D знижує потребу у великій кількості додаткових будівельних машин, таких як шліфувальні пристрої чи машинне штукатурення. Це, своєю чергою, сприяє зменшенню витрат електроенергії та скороченню часу, необхідного для реалізації будівельних проєктів [22].

Таким чином, перспектива широкомасштабного впровадження 3D-друку в будівництво є дуже високою. Очікується, що ця технологія не лише покращить якість будівельних процесів, а й зробить їх більш економічно вигідними та екологічно сталими. Однак для успішної інтеграції 3D-моделювання необхідно подолати певні виклики, такі як висока вартість технологій, адаптація до нормативних стандартів та підготовка спеціалістів. Успішне вирішення цих проблем дозволить зробити будівельну галузь більш ефективною, технологічно розвиненою та екологічно стійкою.

РОЗДІЛ 2. КОНЦЕПЦІЯ 3D-КОНСТРУКТОРА ДЛЯ МОДУЛЬНОГО БУДИНКУ

2.1. Аналіз модульного житла

Сучасний світ швидко змінюється, і разом із цим зростають вимоги до житла, яке має бути не лише комфортним, але й екологічно стійким, економічно вигідним та швидко реалізованим. Одним із перспективних напрямків у будівництві є житлові модульні будинки, які поєднують у собі функціональність, енергоефективність та можливість швидкого зведення [29].

Модульне житло – це тип будівель, що складається з окремих модулів (секцій), які попередньо виготовляються на заводі, а потім транспортуються на будівельний майданчик для збирання в єдину конструкцію. Такий метод будівництва є прикладом індустріалізації житлового сектору, оскільки значна частина робіт виконується у контрольованих умовах виробництва, що забезпечує високу якість будівельних елементів та зменшує залежність від погодних умов [46].

Основні характеристики модульного будівництва включають:

- Швидкість зведення – будинки можуть бути побудовані в кілька разів швидше, ніж традиційні споруди, оскільки більшість процесів здійснюється паралельно (виготовлення модулів та підготовка ділянки);
- Уніфікація конструкцій – модулі розробляються за стандартними розмірами, що спрощує їх транспортування, монтаж і можливість масштабування будівлі;
- Енергоефективність – сучасні модульні будинки часто проєктуються з використанням енергоощадних технологій, що знижує витрати на експлуатацію;
- Мобільність – за потреби такі будинки можна демонтувати та перемістити в інше місце, що є важливим для тимчасового житла чи швидкого реагування на кризові ситуації.

Основна відмінність модульного житла від класичних будівельних технологій полягає у процесі створення споруд. Якщо у традиційному

будівництві всі роботи виконуються безпосередньо на місці, що залежить від погодних умов та людського фактора, то модульне будівництво базується на заводському виготовленні конструктивних елементів, що забезпечує більш високу якість та контроль за стандартами виробництва [4].

Ще одна важлива відмінність – швидкість реалізації проєктів. Наприклад, будівництво традиційного житлового будинку може займати від 6 місяців до кількох років, у той час як модульний будинок зводиться від кількох тижнів до декількох місяців. Крім того, модульні будівлі відрізняються гнучкістю у плануванні, оскільки окремі блоки можна додавати або змінювати, що дає змогу адаптувати житло під потреби мешканців [29].

Модульні будинки можуть мати різні призначення та конструктивні особливості. Залежно від функціональності, їх можна поділити на житлові, комерційні та тимчасові модулі.

1. Житлові модулі

До житлових модулів належать індивідуальні та багатоквартирні будинки.

Індивідуальні модульні будинки – це компактні житлові споруди, які можуть складатися з одного або кількох модулів. Вони часто використовуються як дачні будинки або економічне рішення для швидкого будівництва житла. Завдяки модульній структурі їх можна розширювати, додаючи нові секції.

Багатоквартирні модульні будинки – складаються з великої кількості модулів, що формують багатоповерхові житлові комплекси. Такі будинки вже активно використовуються у країнах Європи та Північної Америки як доступне житло, адже вони швидко монтуються та мають нижчу вартість у порівнянні з традиційним будівництвом.

2. Комерційні та офісні модулі

Окрім житлових споруд, модульне будівництво широко застосовується для комерційних потреб:

Офіси та бізнес-центри – модульні конструкції дозволяють швидко створювати офісні приміщення, які легко адаптуються під потреби компаній.

Завдяки цьому стартапи та підприємці можуть орендувати або купувати модульні офіси з мінімальними витратами.

Готелі та кемпінги – модульні технології активно використовуються у сфері туризму, створюючи екологічні та мобільні готелі в гірських регіонах, на узбережжях чи у віддалених місцях. Такі конструкції легко транспортуються, швидко монтуються та мають комфортні умови для проживання.

Ресторани, магазини та виставкові павільйони – тимчасові або постійні модульні конструкції можуть використовуватися для відкриття кафе, торгових точок і навіть медичних центрів. Завдяки швидкому монтажу вони стають економічним рішенням для бізнесу.

3. Тимчасове житло (мобільні будинки, житло для переселенців)

Тимчасове модульне житло активно використовується у випадках гуманітарних криз або в умовах, де необхідно забезпечити людей житлом у стислі терміни.

Мобільні будинки – це невеликі компактні споруди, які можуть переміщуватися з місця на місце. Вони використовуються як тимчасове або сезонне житло, наприклад, для робітників, туристів або людей, які ведуть кочовий спосіб життя.

Житло для переселенців – модульні містечка активно використовуються під час надзвичайних ситуацій, воєнних конфліктів або стихійних лих. У 2022–2023 роках в Україні було реалізовано кілька проєктів (Rotary, Wasatch Group, Уряди Польщі, Великої Британії, Фінляндії та Турції) з будівництва модульних містечок для внутрішньо переміщених осіб . Такі будинки забезпечують мінімальний рівень комфорту та швидке розміщення великої кількості людей [8].

Сучасні модульні будинки розробляються з високим рівнем енергоефективності, що дозволяє зменшити споживання енергоресурсів. Використання термоізоляційних матеріалів, сонячних панелей та сучасних вентиляційних систем сприяє зниженню витрат на опалення та кондиціонування.

Окрім цього, модульне будівництво є більш екологічним, оскільки виробництво відбувається на заводах, що дозволяє контролювати відходи та зменшити забруднення навколишнього середовища. Також використання відновлюваних матеріалів (наприклад, дерев'яних панелей або утеплювачів із вторинної сировини) робить такі будинки менш шкідливими для довкілля [26].

Попри значні переваги, модульне будівництво має певні виклики та обмеження:

4. Транспортування та логістика – великі модулі потребують спеціального транспорту для перевезення та потужної техніки для монтажу, що може ускладнювати реалізацію проєктів у важкодоступних регіонах.

5. Обмежені можливості дизайну – хоча сучасні технології дозволяють створювати унікальні архітектурні рішення, модульні будинки все ж мають стандартизовані розміри, що може обмежувати гнучкість планування.

6. Юридичні та нормативні обмеження – у деяких країнах та регіонах законодавство не повністю адаптоване під модульне будівництво, що ускладнює процес отримання дозволів.

7. Витрати на якісні матеріали – хоча в цілому модульне житло дешевше, використання енергоефективних матеріалів та високотехнологічних рішень може збільшити початкову вартість будівництва [16].

Модульне житло активно використовується у різних країнах світу, особливо в умовах зростання потреби в швидкому та доступному будівництві.

1. Європа та США

У таких країнах, як Швеція, Нідерланди, Німеччина та США, модульне будівництво стало стандартною практикою для створення:

- бюджетного житла для молодих сімей;
- гуртожитків для студентів;
- тимчасового житла для біженців та соціально незахищених верств населення.

Яскравий приклад – модульні квартири в Амстердамі. Влада міста у співпраці з приватними інвесторами збудувала доступне житло для студентів та

переселенців. Також у США успішно реалізовано проєкти екологічних модульних будинків, які працюють на сонячній енергії та мають мінімальний вуглецевий слід [46].

2. Україна

Після 2022 року модульне будівництво отримало активний розвиток в Україні через необхідність швидкого розміщення внутрішньо переміщених осіб. Одним із наймасштабніших проєктів стало будівництво модульних містечок у Львові, Києві, Дніпрі та інших містах. Вони були зведені за підтримки міжнародних організацій та урядів інших країн.

Також в Україні з'являються індивідуальні модульні будинки для постійного проживання, які користуються попитом через швидкість будівництва та доступну вартість.

Нормативне- правове регулювання в Україні та за кордоном

1. За кордоном

У розвинених країнах модульне будівництво має чітко прописані будівельні норми. Наприклад, у Німеччині та Великій Британії діють стандарти, які регламентують:

- енергоефективність модульного житла;
- сейсмостійкість конструкцій;
- екологічність матеріалів.

Завдяки цим нормам модульні будинки можуть використовуватися як постійне житло без будь-яких юридичних обмежень.

2. В Україні Законодавство України лише розвивається у напрямку модульного будівництва. Основні проблеми:

- Відсутність чіткої нормативної бази для визнання модульних будинків капітальним житлом;
- Необхідність спрощення процедур для отримання дозволів;
- Інтеграція сучасних будівельних стандартів ЄС.

Проте, у 2023 році в Україні почали розглядати можливість внесення змін до ДБН (Державних будівельних норм), які спростять процес будівництва та експлуатації модульних будинків [16].

Модульне будівництво є сучасним, ефективним та економічним рішенням у сфері житлового та комерційного будівництва. Його перевагами є швидкість зведення, енергоефективність та екологічність.

Досвід європейських країн та США демонструє, що модульне житло може стати повноцінною альтернативою традиційному будівництву. За прогнозами, модульне будівництво до 2030 року може зайняти до 25% ринку житлового будівництва у світі [29]. В Україні воно активно розвивається, особливо в контексті житла для переселенців. Проте, подальше поширення модульного житла залежить від законодавчих змін та адаптації нормативної бази до європейських стандартів.

2.2. Розгляд існуючих конструкторів для макетування

Фізичне моделювання продовжує відігравати значну роль у процесі цифрового проєктування, зокрема в контексті комп'ютерних наук. Традиційні фізичні моделі дозволяють дослідникам, розробникам і кінцевим користувачам здійснювати попередню візуалізацію об'єкта ще до його цифрової чи фізичної реалізації. Вони слугують ефективним інструментом для аналізу просторових характеристик, пропорцій та об'ємних конфігурацій. Масштабні прототипи, у тому числі масові моделі, сприяють трансформації абстрактних концепцій у конкретні тривимірні структури, що значно спрощує комунікацію між учасниками проєкту. Такий підхід забезпечує зручний механізм для обговорення, виявлення помилок та внесення коректив на ранніх етапах розробки, що особливо важливо при створенні складних цифрових систем або візуалізацій у середовищах доповненої чи віртуальної реальності [4].

Вибір матеріалів для макетування залежить від вимог до деталізації, міцності та естетики моделі. Найпоширенішими матеріалами є:

- Пінопластові плити — легкі, зручні в обробці, ідеальні для швидких концептуальних моделей;
- Прозорі матеріали (акрил, оргскло) — імітація вікон і скління; добре піддаються лазерному різанню;
- Картон і фанера — доступні матеріали: картон — для концептів, фанера — для міцних презентаційних моделей;
- Дерево — естетичний і довговічний матеріал для фасадів, колон тощо;
- Спінений ПВХ — легкий, стійкий до деформацій, універсальний для створення макетних елементів [10].

Масштабність є одним із визначальних чинників при створенні фізичних моделей, оскільки вона забезпечує відповідність пропорцій та точність репрезентації реальних об'єктів у зменшеному вигляді. Правильний вибір масштабу безпосередньо впливає на ефективність візуального аналізу, а також на рівень деталізації, необхідний для досягнення поставлених цілей моделювання. Вибір масштабного коефіцієнта зумовлюється як функціональним призначенням моделі, так і специфікою завдань, що вирішуються в процесі її розробки — від загального огляду просторової організації до глибокої технічної деталізації у проєктуванні складних цифрових систем.

Модульність виступає ключовим принципом при розробці універсальних фізичних конструкторів, які дозволяють моделювати різні конфігурації будівель і споруд. Такий підхід є надзвичайно актуальним у сфері проєктування модульних будинків, де стандартні елементи поєднуються у гнучкі архітектурні рішення. З позиції комп’ютерних наук, модульна структура полегшує побудову параметричних 3D-моделей, спрощує алгоритмічну генерацію варіантів забудови та дозволяє реалізувати ефективне структурне прототипування. Використання фізичних моделей, надрукованих на 3D-принтері, дозволяє проводити валідацію цифрових концепцій, експериментувати з просторовими рішеннями та оптимізувати геометрію елементів ще до етапу розгортання повномасштабного будівництва.

Загалом, фізичні конструктори для макетування повинні відповідати вимогам точності, гнучкості та наочності, що забезпечує ефективність процесу архітектурного проєктування та сприяє прийняттю обґрунтованих рішень. Розглянем приклади:

1. LEGO Architecture – можливості для проєктування будівель

Серія LEGO Architecture є однією з найвідоміших у світі систем модульного макетування. Вона дозволяє як професіоналам, так і любителям створювати архітектурні моделі на основі реальних споруд. Основною перевагою LEGO Architecture є його модульність і точність, що дає змогу будувати складні архітектурні форми та експериментувати з їхньою структурою. Крім того, завдяки доступності цього конструктора, він широко використовується в освітніх програмах для навчання основам архітектури та дизайну.

2. Організація 3Dreams

Українська компанія 3Dreams спеціалізується на виготовленні архітектурних макетів та фізичних моделей будівель. Вони створюють детальні макети із застосуванням сучасних технологій, таких як лазерне різання та 3D-друк. Основна мета цих конструкторів – надати архітекторам і девелоперам можливість якісно представити свої проєкти, використовуючи фізичні моделі. Крім того, подібні моделі дозволяють вивчати просторову організацію забудови та тестувати різні планувальні рішення [6].

3. Персоналізовані архітектурні конструктори від KLONA

Компанія KLONA пропонує створення архітектурних макетів за індивідуальними параметрами. Вони використовують технології 3D-друку та високоточне різання матеріалів для виготовлення масштабних моделей будівель. Основною перевагою цих конструкторів є можливість адаптації під конкретний архітектурний проєкт, що дозволяє створювати унікальні макети для презентацій та навчальних цілей [19].

Фізичні архітектурні конструктори залишаються актуальним інструментом у сучасному проєктуванні, оскільки дозволяють швидко візуалізувати 3D-моделі, перевіряти просторову логіку та ефективно комунікувати концепції. В

умовах спеціальності 122 це поєднується з цифровим моделюванням, алгоритмічною генерацією форм та автоматизованим тестуванням конфігурацій.

Технологія 3D-друку відіграє ключову роль у виготовленні прототипів: вона забезпечує високу точність, дозволяє створювати складні геометрії та швидко реалізовувати змінні варіанти модулів. Це особливо цінно для модульного будівництва, де кожен елемент може бути індивідуалізованим під технічні вимоги.

Використання 3D-друку в поєднанні з цифровими інструментами дозволяє скоротити час та вартість виготовлення прототипів, забезпечити гнучкість у проєктних рішеннях і провести ранню валідацію моделі ще до етапу впровадження [8].

При розробці нового фізичного конструктора для модульного будівництва важливо врахувати наступні характеристики:

Модульність — підтримка різних конфігурацій будівель відповідно до стилю та технічних вимог.

- Деталізація — точне відтворення архітектурних елементів.
- Масштабованість — відповідність моделі реальним розмірам для точного планування.
- Економічність — використання доступних і недорогих матеріалів.
- Цифрова інтеграція — поєднання з 3D-технологіями для візуалізації й аналізу.

Розроблений 3D-конструктор орієнтований на моделювання модульних будинків, що відрізняє його від універсальних систем. Основні особливості включають:

- Спеціалізація — підтримка стандартів модульного будівництва, що підвищує точність та практичність моделей;
- Точність з’єднань — забезпечення стабільності конструкцій за рахунок високоточних з’єднувальних елементів;
- Гнучкість дизайну — можливість адаптації моделі шляхом додавання або видалення модулів;

- Екологічність — використання безпечних і чистих матеріалів у виробництві фізичних компонентів;
- Цифрова інтеграція — експорт у формати для подальшої роботи у 3D-середовищах.

Завдяки цим характеристикам, конструктор сприяє ефективному візуальному проєктуванню, пришвидшуючи розробку та полегшуючи комунікацію в команді.

2.3. Технології AI для 3D моделювання

Штучний інтелект (AI, англ. *Artificial Intelligence*) — це галузь комп'ютерних наук, що займається створенням систем, здатних до навчання, аналізу, прогнозування та прийняття рішень, подібно до людського мислення. У сучасних умовах AI активно впроваджується в різні сфери діяльності, зокрема в архітектурне проєктування, дизайн, промислове виробництво та, зокрема, у сферу 3D-моделювання.

У 3D-моделюванні AI використовується для автоматизації процесів створення та оптимізації моделей. Одним із ключових напрямів є генерація 3D-об'єктів на основі 2D-зображень, текстових описів або сканованих даних. Наприклад, алгоритми глибокого навчання (Deep Learning) здатні аналізувати плоскі зображення і реконструювати їх у вигляді повноцінних 3D-моделей, що значно прискорює процес моделювання у сфері дизайну, ігор, віртуальної реальності та навіть в архітектурі [11].

Іншим напрямом є оптимізація геометрії. AI може автоматично виявляти зайві елементи, покращувати топологію моделей, зменшувати кількість полігонів без втрати якості та підвищувати ефективність 3D-друку. Це особливо важливо при створенні моделей для модульного будівництва, де точність і економія матеріалів відіграють важливу роль.

Також важливим є використання AI для розпізнавання об'єктів та навколишнього середовища. Наприклад, за допомогою комп’ютерного зору штучний інтелект може аналізувати фотографії будівель, визначати типи

конструкцій, їхні розміри та пропонувати відповідні 3D-рішення на основі бази даних.

AI також допомагає проєктувальникам приймати оптимальні архітектурні рішення, аналізуючи тисячі прикладів із бази даних і пропонуючи найбільш енергоефективні або економічні варіанти.

Тож, для створення прототипу конструктора було обрано підхід, заснований на використанні текстового запиту (text-to-3D). Цей метод є особливо зручним у ситуаціях, коли немає вихідного 2D-зображення або креслення, але є чітке уявлення про бажаний об’єкт. Завдяки розвитку сучасних нейронних мереж, генерація 3D-моделей на основі текстового опису стала доступною для широкого кола користувачів — вона не потребує глибоких технічних знань і дозволяє отримати швидкий візуальний результат.

У моєму випадку саме цей варіант став найбільш доцільним, оскільки я мав концептуальний опис елементів конструктора, але не мав готових 2D-ескізів. Провівши порівняльний аналіз існуючих рішень і зібравши інформацію з різних баз даних та онлайн-сервісів, було обрано платформу Meshy.ai — сучасний веб-додаток, безкоштовний, який дозволяє генерувати 3D-об'єкти на основі короткого текстового запиту. Meshy.ai підтримує сучасні AI-моделі генерації та оптимізації 3D-геометрії, має простий інтерфейс і підтримує експорт результату у форматах, придатних для подальшого редагування або 3D-друку [15] .

Таким чином, обраний підхід дозволяє ефективно реалізувати первинну візуалізацію деталей конструктора без потреби в складних моделінгових середовищах, що значно економить час на етапі прототипування.

Оригінальний текстовий запит, використаний для генерації моделі, мав такий вигляд:

«An elongated rectangle 9 cm long, 3 cm high, 3.5 centimeters wide, inside the block should be hollow (hollow) like a box. On each wall, there should be a hook-like attachment. To connect with another rectangle. Material - rough white plastic. The blocks should be easy to connect and disconnect manually. Through holes in the walls are prohibited. The bottom is flat, not see-through.»

У результаті обробки мого запиту додатком було згенеровано наступну 3D-модель, що представлена на рисунку 1 нижче:

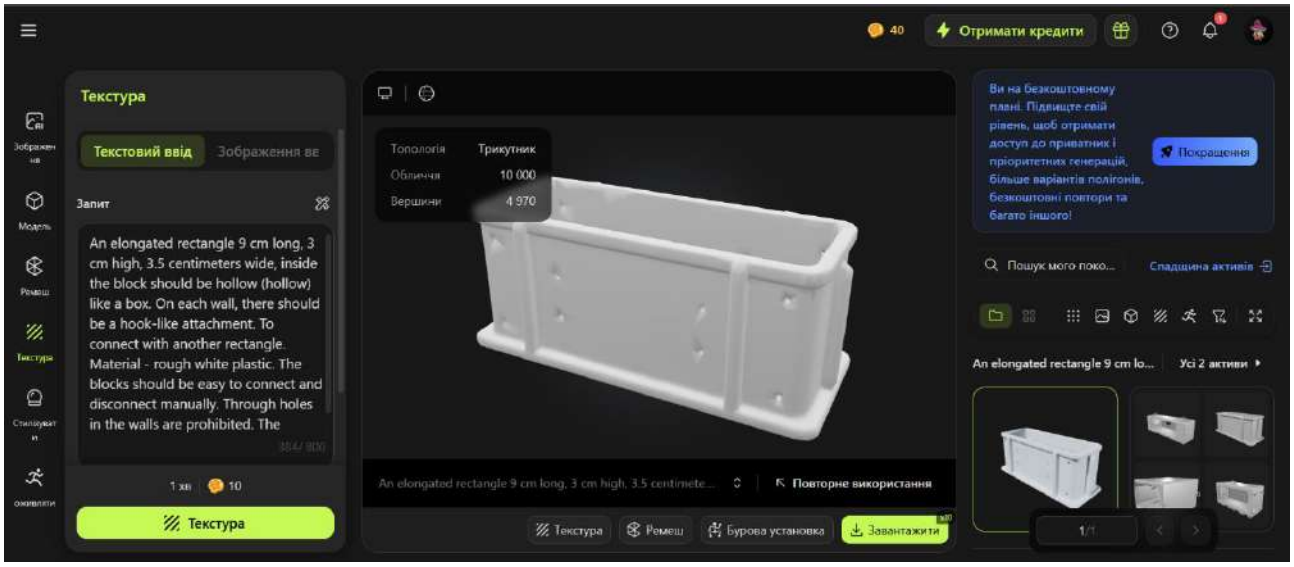


Рис. 2.1. Цифрова 3D- модель, згенерована AI методом «text-to-3D»

З метою подальшого вдосконалення моделі, її завантажено у широко використовуваному форматі - STL.

Основні функції програмного продукту Meshy.ai :

•Генерація 3D-моделей на основі текстових описів. Користувач вводить опис об'єкта, а система створює відповідну 3D-модель;

•Перетворення 2D-зображень або ескізів у 3D-моделі. Користувач завантажує зображення, і система створює тривимірну версію об'єкта;

•Генерація текстур для 3D-моделей на основі текстових описів. Це дозволяє створювати унікальні поверхні для моделей без необхідності ручного текстурування.

Meshy.ai є потужним інструментом для швидкого створення та обробки 3D-контенту, що значно спрощує процес моделювання та відкриває нові можливості для творчості.

Маючи загальне уявлення про зовнішній вигляд мого конструктора, у роботі створено ескіз у графічному редакторі Paint. Надалі, за допомогою соціальної мережі TikTok, було виявлено інструмент генерації 3D-моделей на основі зображення — MakerWorld.Beta, який реалізує метод «picture-to-3D» [10]. Результатом компіляції зображення стала 3D-модель, яка продемонстрована на рис. 2. 2.

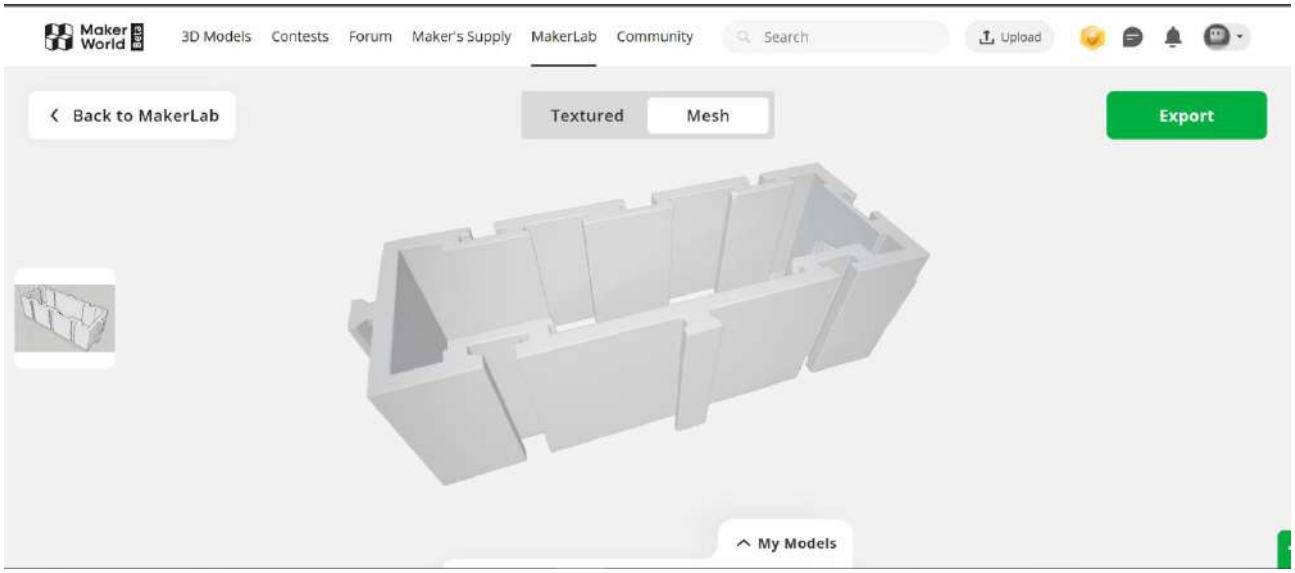


Рис. 2.2. Цифрова 3D-модель, згенерована методом «picture-to-3D»

Отриману 3D-модель було експортовано у формат, сумісний із середовищем Meshy.ai, де здійснювалась подальша оптимізація геометрії та покращення візуальних характеристик. Зокрема, було виконано згладжування поверхонь, корекцію масштабів і застосування базових текстур для надання об’єкту більш реалістичного вигляду. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу платформи, вдалося оперативно внести необхідні зміни, що дозволило значно зекономити час на етапі моделювання.

Подальше використання вдосконаленої моделі передбачалося у контексті розробки інтерактивного конструктора.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА 3D-КОНСТРУКТОРА

3.1. Вибір програми моделювання

У межах проєктування 3D-конструктора для модульного будівництва особливу увагу було приділено вибору оптимального програмного забезпечення для створення тривимірних моделей. Враховувалися такі основні критерії: функціональні можливості систем, гнучкість інструментів для моделювання, зручність інтерфейсу, інтеграція з іншими середовищами, підтримка сучасних форматів файлів і активність спільноти розробників.

Програми для 3D-моделювання працюють на основі складних математичних алгоритмів і графічних движків, які перетворюють абстрактні геометричні дані у віртуальні тривимірні об'єкти. На початковому етапі створення 3D-фігури відбувається побудова базової цифрової моделі у тривимірному просторі. Модель описується за допомогою координат точок (вершин) у просторі (X, Y, Z), які з’єднуються ребрами та утворюють грані, що формують поверхню об’єкта. Вся ця структура об'єднується у так звану полігональну сітку (mesh), яка слугує основою для подальшої обробки.

На рівні кодування програма зберігає інформацію про положення кожної вершини, її зв'язки з іншими вершинами через ребра і утворення граней. Паралельно із геометричною інформацією додаються властивості об’єкта, такі як матеріали, кольори, шейдери або текстури, які визначають вигляд об'єкта при візуалізації. Кожен об’єкт, який бачить користувач у вікні програми, фактично є результатом чисельних розрахунків та обробки графічних даних у реальному часі.

Щоб перенести створений віртуальний об'єкт у фізичне середовище, наприклад для 3D-друку, модель необхідно експортувати у спеціальний формат файлу. Одним із найпоширеніших форматів для цього є STL (stereolithography) [2]. Під час експорту у формат STL програма виконує трансформацію цифрової 3D-моделі в опис трикутних граней. STL-файл не містить інформації про колір

чи текстури, а лише описує поверхню об’єкта через координати вершин трикутників, які разом утворюють повну зовнішню оболонку моделі.

Формат STL фактично представляє модель як набір замкнених трикутників у тривимірному просторі. Кожен трикутник у файлі описується трьома вершинами і вектором нормалі, що визначає напрямок зовнішньої поверхні. Така структура є оптимальною для обробки 3D-принтерами, які зчитують координати граней для послідовного створення фізичного об'єкта шар за шаром. У такий спосіб цифрова фігура, створена у віртуальному середовищі, набуває фізичної форми через процес кодування геометричних даних у машинозчитуваний формат.

З урахуванням зазначених вимог для реалізації завдань проєкту були обрані дві програмні платформи — Blender і SketchUp. Нижче наведено обґрунтування вибору кожного інструмента та аналіз їхніх функціональних можливостей.

Огляд вибраного програмного забезпечення

Blender — це універсальний інструмент для створення тривимірного контенту з відкритим вихідним кодом. Він широко використовується у галузях 3D-моделювання, анімації, візуальних ефектів, розробки ігор та симуляцій. Основні переваги Blender для реалізації проєкту [1]:

- Потужність та гнучкість: Підтримка процедурного моделювання, скульптингу, UV-розгортки, текстурування і рендерингу в єдиному середовищі;
- Відкритий код: Blender безкоштовний і постійно оновлюється спільнотою розробників;
- Широкий набір інструментів: Моделювання складних архітектурних об’єктів, робота зі шейдерами, фізичні симуляції;
- Інтеграція: Підтримка експорту у формати, що використовуються для подальшої розробки та інтеграції моделей у сторонні системи;
- Розвинена екосистема: Велика кількість доступних аддонів, включно з інструментами для архітектурного моделювання (AddMesh, Archipack).

Blender дозволив реалізувати високоточне створення елементів модульних будинків з гнучким налаштуванням параметрів об'єктів.

Огляд можливостей SketchUp у контексті проєктування 3D-конструктора:

SketchUp є професійним програмним забезпеченням, яке спеціалізується на архітектурному, будівельному та інженерному моделюванні. Його основна перевага полягає у поєднанні інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу з потужним набором інструментів для швидкого створення тривимірних прототипів. Програма ідеально підходить для етапів концептуального проєктування, коли важливо оперативно візуалізувати ідеї у тривимірному просторі [16].

Однією з ключових переваг SketchUp є доступ до великої бібліотеки готових моделей через платформу 3D Warehouse — найбільшу онлайн-базу тривимірних об'єктів. 3D Warehouse містить мільйони безкоштовних моделей будівель, меблів, інженерних систем, конструктивних елементів та різноманітних архітектурних деталей. Користувачі можуть безпосередньо завантажувати об'єкти у свої проєкти або створювати власні моделі для подальшого обміну із спільнотою. Це значно пришвидшує процес моделювання, оскільки дозволяє уникнути потреби самостійного створення кожного елемента з нуля [47].

Ще однією важливою особливістю SketchUp є високий рівень інтеграції з іншими програмними продуктами. Створені у SketchUp моделі можуть експортуватися у різноманітні формати файлів, включаючи .obj, .fbx, .dae та .stl, що дозволяє легко переносити дані у Blender, Unity, Unreal Engine та інші середовища для подальшої обробки або використання у складніших проєктах.

Завдяки комбінації простоти використання, доступу до великої бази готових моделей та гнучкості налаштувань, SketchUp є надзвичайно ефективним інструментом для створення як початкових, так і деталізованих 3D-проєктів у галузі архітектурного та будівельного моделювання.

3.2. Методологія проєктування та моделювання

Наступний підготовчий етап полягає в аналізі конкурентів на ринку модульного будівництва з метою визначення габаритних розмірів модульних блоків та перенесення їх у цифрову модель. Це створює основу для подальшого моделювання із використанням сучасних технологій та інструментальних засобів

для створення складних геометричних і технічних об’єктів. На мою суб'єктивну думку, було обрано українську компанію Qhome, яка надала моїй родині тимчасовий модульний будинок розмірами 9×3×3,5 метра [39].

Даний підрозділ присвячений детальному опису процесу створення 3D-моделі конструктора за допомогою програм Blender та SketchUp. Основна увага приділяється етапам перетворення початкової AI-згенерованої моделі на точну, оптимізовану конструкцію, придатну для використання в інтерактиві.

Далі робота розпочалася з імпорту цифрової моделі, створеної за допомогою штучного інтелекту MakerWorld.Beta , у Blender у форматі STL.

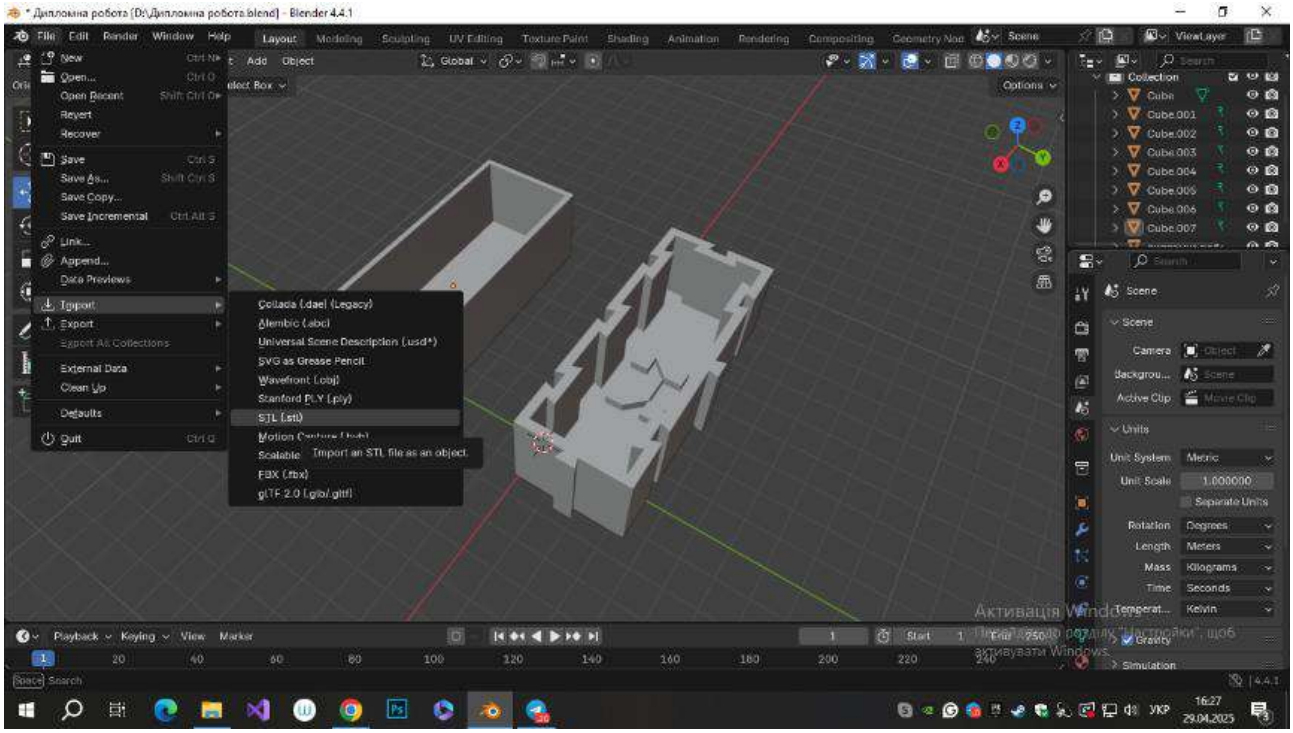


Рис. 3.1. Цифрова 3D-модель, згенерована AI
та імпортована в програмне середовище Blender

На цьому етапі було виконано корекцію форми, поліпшення топології та підготовку базових елементів для подальшого детального моделювання. Важливим кроком стало визначення основних розмірів та розробка системи кріплень, що дозволяють з’єднувати модулі між собою.

У процесі створення 3D-моделі модульного будинку в Blender були використані ключові інструменти та техніки моделювання. Основна увага приділялася параметричному підходу, що дозволяє швидко адаптувати модель

під різні конфігурації. Параметричне моделювання — це спосіб автоматизованого проєктування (CAD), який базується на побудові тривимірних моделей із використанням заданих параметрів, взаємозв'язків і обмежень. Цей метод дозволяє дизайнерам та інженерам створювати й редагувати 3D-об'єкти, зберігаючи повний контроль над усіма характеристиками проєкту [34].

Основні операції:

- Екструзія (Extrude) для формування стін та перегородок;
- Поділ петлями (Loop Cut) для контролю форми;
- Скруглення (Bevel) для реалістичних країв;
- Булеві операції (Boolean) для створення отворів та з'єднань.

Ключові модифікатори:

- Mirror - для симетричних елементів;
- Array - багаторазове копіювання модулів;
- Subdivision Surface - згладжування форм;
- Solidify - надання товщини тонким поверхням.

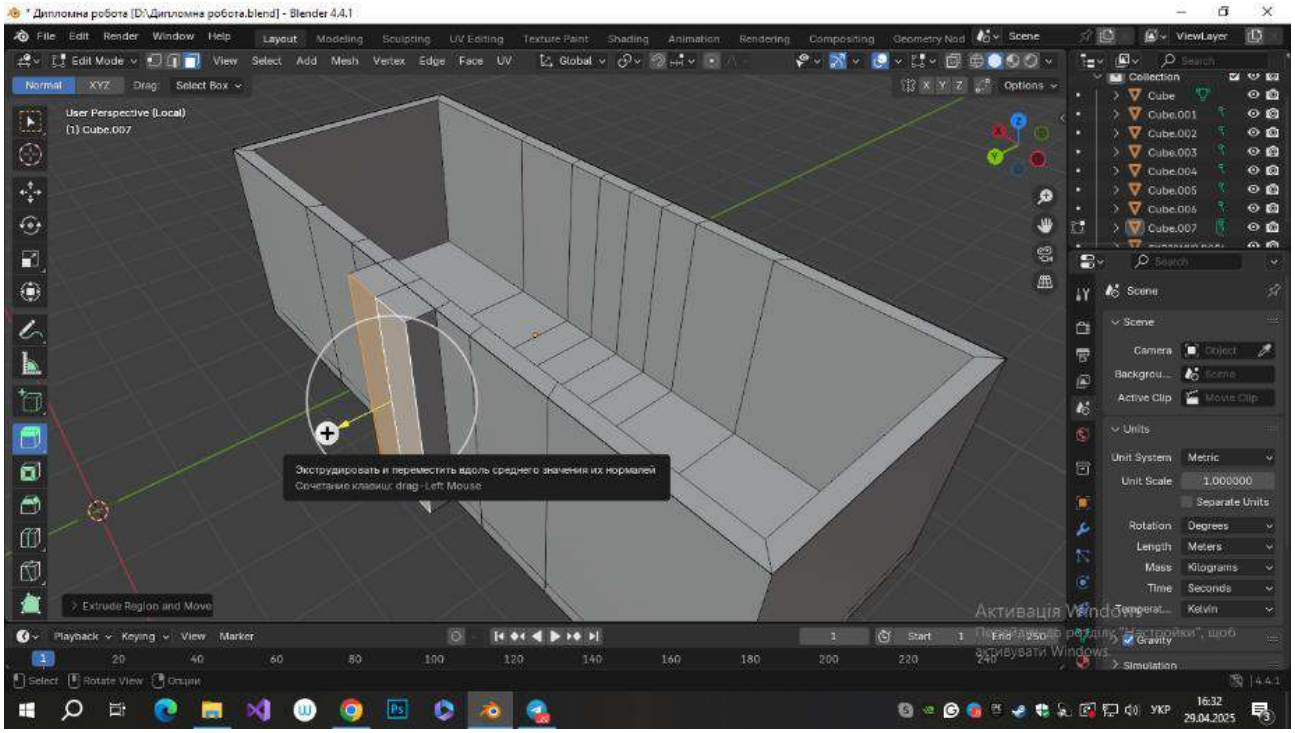


Рис. 3.2. Процес екструдування пазів з’єднання конструктора

Параметричне моделювання реалізоване через:

- Геометричні ноди (Geometry Nodes) для автоматизації процесів,

- Python-скрипти для створення адаптивних кріплень,
- Динамічні розміри, що змінюються через драйвери.

Наступний етап передбачав перенесення моделі до SketchUp для більш точного масштабування та деталізації. Розрахований масштаб 1:250 дозволив зручно працювати з моделлю у фізичному середовищі, зберігаючи пропорції реального об’єкта. У SketchUp було розроблено параметричні компоненти (розміри), що дозволяють швидко змінювати конфігурацію будинку, а також оптимізовано модель для подальшого використання в інтерактивному конструкторі.

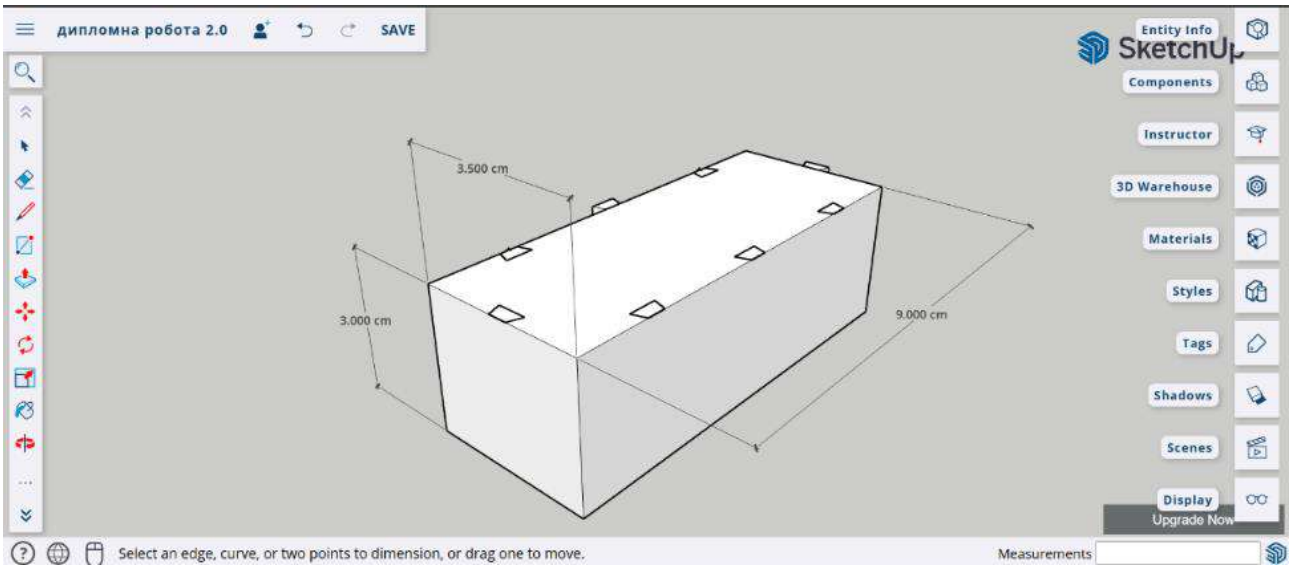


Рис. 3.3. Цифрова 3D-модель у програмному середовищі SketchUp з параметричними розмірами

Далі за допомогою операцій редагування Push/Pull, Line, Rectangle, Scale та Tape measure виконувалось подальше моделювання та вдосконалення Окрема увага приділялася аналізу типів кріплень (болтові, шпонкові тощо) та їх тестуванню на стабільність у віртуальному середовищі. Результатом цієї роботи стала уніфікована модульна система, яка може бути використана для швидкого

прототипування різних варіантів будівель – ластівчин хвіст який зазначено на рисунку 4 нижче став самим оптимальним та вірним кріпленням.

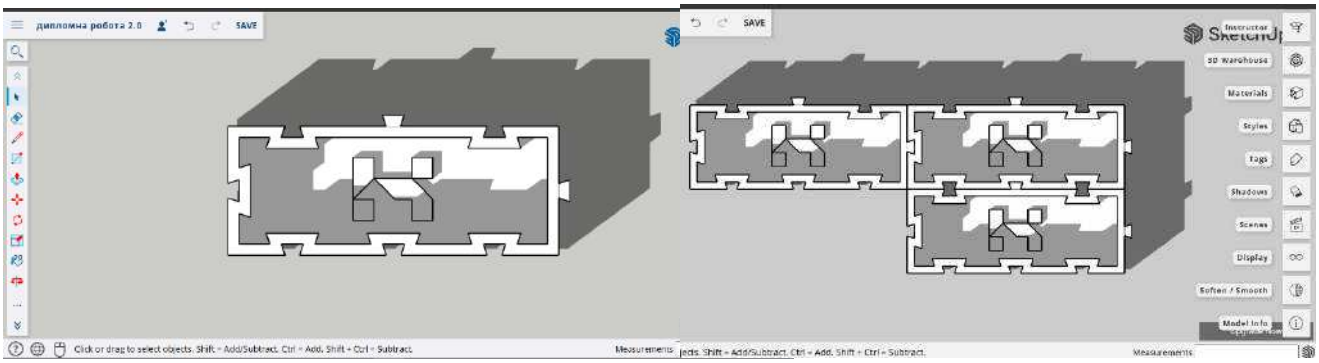


Рис. 3.4. Вид 3D-конструктора зверху з кріпленнями «ластівчин хвіст» та його комбінації

Для забезпечення можливості конструкції двоповерхового варіанту та подальшого проєктування складної цифрової моделі було розроблено додатковий кріпильний паз. При цьому використовувалася широка база даних із доступних веб-порталів із можливими варіантами реалізації типу [39].

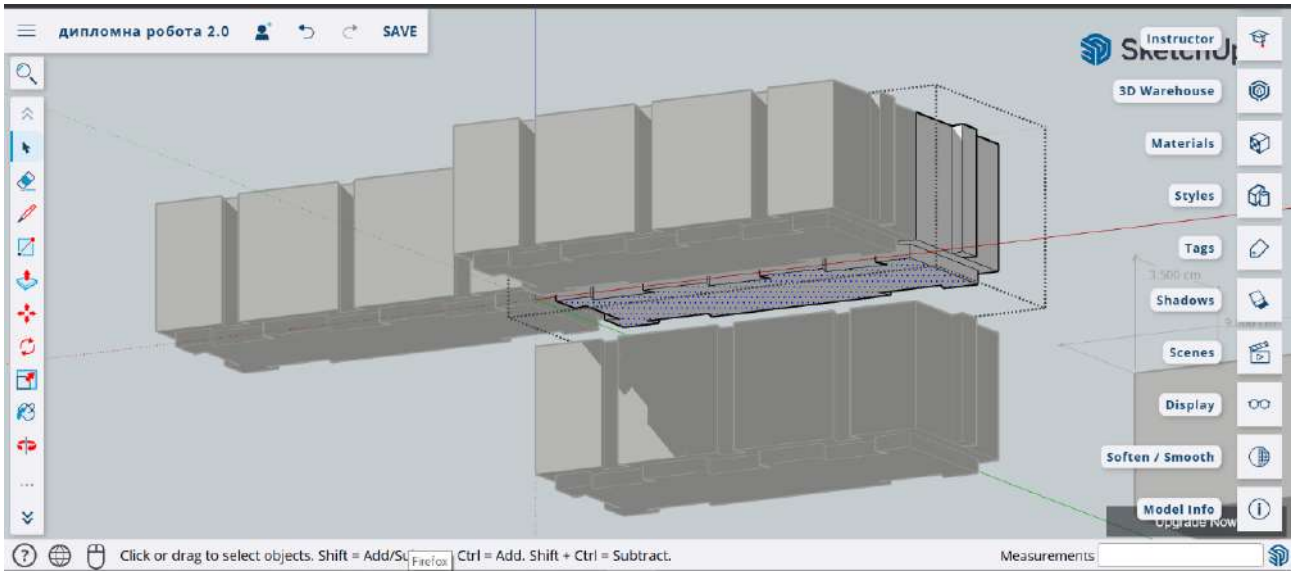


Рис. 3.5. Спроєтований вид кріплення нижньої частини – «through housing»

У роботі використано розроблений під час навчання брендбук компанії будівництва модульних будинків з назвою «Oselya», логотип котрої далі буде позначатися на конструкторі як бренд та знаходитись у центрі моделі. Логотип було розроблено у програмному середовищі Figma [34].

Логотип компанії є комбінованим. Він складається з емблеми та назви. Емблема створена з геометричних фігур (квадратів та трикутників), що уособлюють модулі. Їх комбінація створює дім, що символізує виробництво компанії. Прості геометричні фігури додають строгість та дисципліну.



Рис. 3.6. Логотип, розроблений у програмному середовищі Figma

Метою даного підрозділу є не лише опис технічних аспектів моделювання, але й демонстрація ефективності обраного підходу для створення функціонального 3D-конструктора. У висновках буде оцінено переваги та обмеження використаних інструментів, а також запропоновано напрями для подальшого вдосконалення проєкту.

3.3. 3D-друк. Огляд та висновки виконаного прототипування проєкта

Одним із ключових етапів реалізації проєкту зі створення 3D конструктора для проєктування модульного будинку є виготовлення фізичного прототипу. Для цього було обрано технологію 3D-друку як найбільш доступний, швидкий і гнучкий інструмент прототипування. Основна мета використання 3D-друку в межах даного проєкту полягає у створенні реальної масштабованої моделі конструктора, яка дозволяє наочно продемонструвати принципи модульного будівництва, протестувати механіку з’єднання блоків, а також оцінити загальну ергономіку елементів системи.

Вибір саме 3D-друку зумовлений низкою об'єктивних переваг. По-перше, ця технологія дозволяє виготовляти деталі складної геометричної форми без потреби в дорогому інструменті або формах, що робить її ідеальним вибором для створення унікальних або одноразових прототипів. По-друге, час на підготовку та виготовлення моделей значно менший порівняно з традиційними методами обробки — це дозволяє швидко вносити зміни у конструкцію, адаптувати дизайн і тестувати нові варіанти, що особливо важливо в процесі ітеративної розробки.

Завдяки 3D-друку була реалізована можливість перевірки наступних параметрів:

- Візуалізація концепції — фізичний об'єкт дозволяє краще оцінити форму, пропорції та масштаб модульного будинку, ніж його цифрова модель;
- Тестування ергономіки — зручність роботи з окремими модулями, наявність місця для маніпуляцій, з’єднання елементів вручну;
- Перевірка складання — оцінка точності з’єднань, стабільності конструкції, щільності стиків, і виявлення потенційних проблем, які можуть виникнути при реальному будівництві.

Таким чином, 3D-друк у цьому проєкті виконує роль ефективного засобу швидкого прототипування, що дозволяє мінімізувати витрати часу та ресурсів на ранніх етапах розробки, водночас забезпечуючи практичну перевірку розробленої концепції.

Для виготовлення фізичного прототипу 3D конструктора модульного будинку було використано сучасний 3D-принтер Bambu Lab A1 Mini, який поєднує високу точність друку, компактні розміри та зручність експлуатації. Це обладнання підтримує друк широким спектром термопластиків, що дозволяє гнучко підходити до вибору матеріалів для конкретних задач.

Вибір матеріалу.

У даному проєкті як основний матеріал було використано PET (поліетилентерефталат). Основними перевагами цього пластику є:

- Механічна міцність — PET має високу жорсткість і стійкість до деформацій;
- Хімічна інертність — матеріал не взаємодіє з вологою або більшістю побутових хімікатів;
- Легка обробка і друк — PET легко піддається друку навіть на принтерах початкового рівня, таких як Bambu Lab A1 Mini;
- Мінімальна усадка — зменшує ризик деформації готових деталей після охолодження.

Ці властивості роблять PET ідеальним для виготовлення функціональних прототипів, які повинні бути не тільки точними, але й достатньо міцними для тестування збірки.

Програмне забезпечення: слайсер.

Для підготовки 3D-моделей до друку використовувалась програма-слайсер — Bambu Studio, фірмове рішення для принтерів Bambu Lab. Слайсер (від англ. *slicer*) — це спеціальне програмне забезпечення, яке розбиває тривимірну модель на шари і формує G-код — набір інструкцій, які 3D-принтер виконує під час друку. У цьому процесі користувач може налаштувати параметри:

- Висоту шару;
- Швидкість друку;
- Температуру екструдера і платформи;
- Тип і кількість заповнення;
- Наявність підтримок4
- Розташування об'єкта на друкарській поверхні.

Таким чином, слайсер є ключовим інструментом, що перетворює цифрову 3D-модель (у форматах STL, 3MF, OBJ) на фізичний об’єкт через точну інтерпретацію кожного шару друку.

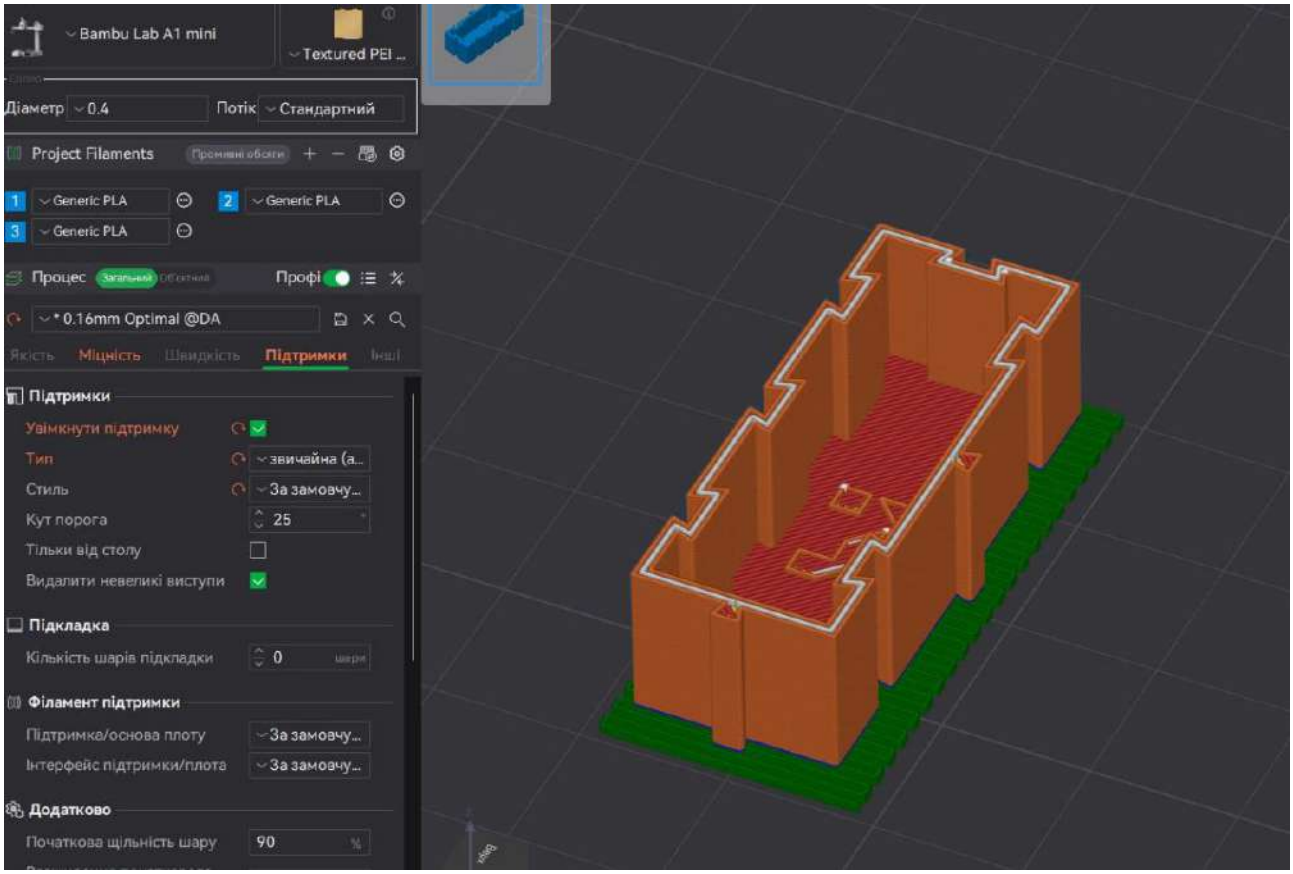


Рис. 3.7. Програмне середовище Bambu Studio для редагування друку

G-код (або *G-code*) — це текстовий файл, що містить інструкції для управління рухами та параметрами 3D-принтера. Кожна команда в G-коді визначає певну дію: переміщення головки, екструзію пластику, зміну температури, швидкість руху тощо.

Приклад команд G-коду:

«yaml

КопіюватиРедагувати

G28 ; перемістити всі осі в нульову позицію

G1 X50 Y25 Z0.3 F1500 ; перемістити головку в координати X=50, Y=25 на висоту Z=0.3 мм з швидкістю 1500 мм/хв

M104 S220 ; встановити температуру екструдера на 220°C»

Ці команди можуть бути:

- Згенеровані автоматично у слайсері;
- Введені вручну, що дозволяє досвідченим користувачам виконувати налаштування або корекцію друку без використання графічного інтерфейсу.

Можливість ручного введення G-коду особливо корисна для тестування, калібрування або розв'язання нестандартних задач, наприклад, повторного запуску друку з конкретного шару після збою.

Після завершення етапу 3D-друку усі надруковані модулі конструктора були протестовані на сумісність, точність та зручність складання. Збірка модульних елементів здійснювалася вручну з метою оцінки якості з’єднань, відповідності розмірів, а також виявлення можливих недоліків конструкції.

У процесі тестування встановлено, що надруковані модулі є повністю сумісними між собою: з’єднання відбувається без люфтів, а фіксація компонентів — надійна та стійка до багаторазового складання й розбирання. Такий результат підтверджує правильність розрахунків при моделюванні елементів конструктора та достатню точність друку, досягнуту з використанням принтера Bambu Lab A1 Mini.

Окрему увагу було приділено ергономіці та зручності складання. Модулі легко з'єднуються між собою, не потребують надмірних зусиль при монтажі та демонтажі, а завдяки використаному матеріалу (PET), зберігають форму і функціональність навіть після багаторазового використання.

Результати перевірки свідчать також про високу точність геометрії надрукованих деталей: усі елементи відповідають заданим розмірам у 3D-моделі, відсутні викривлення або недруковані ділянки. Друк пройшов якісно, без збоїв або видимих дефектів.

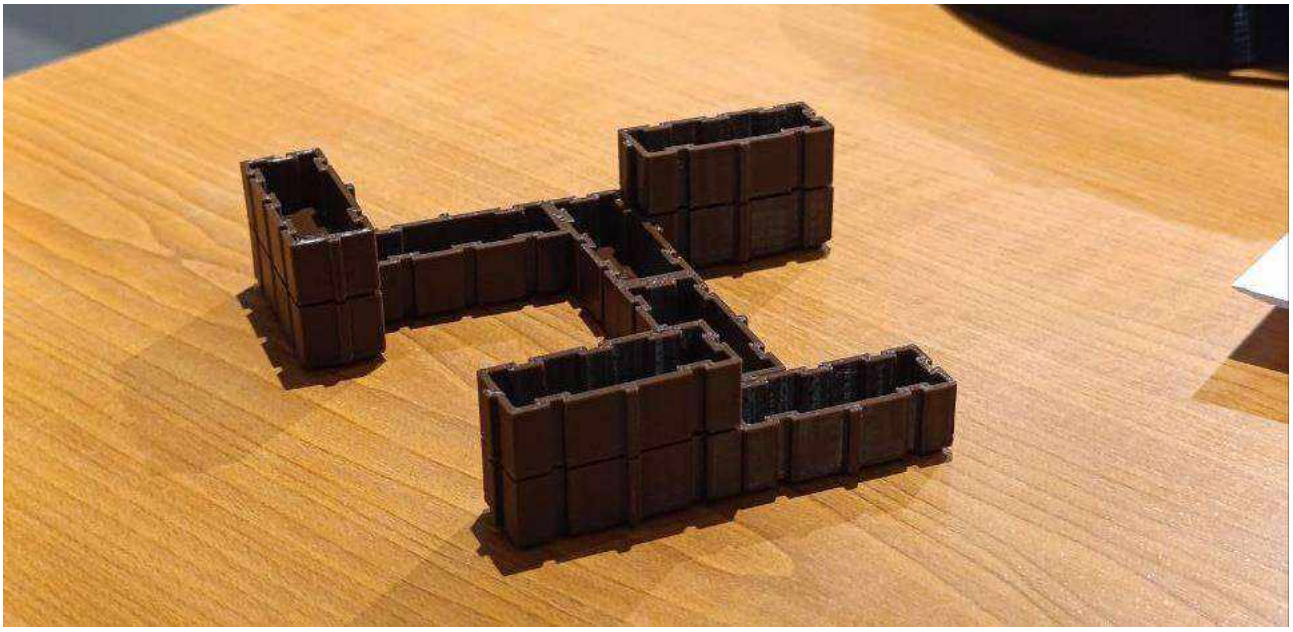


Рис. 3.8 . Результат надрукованої цифрової 3D-моделі конструктора

Однак у процесі аналізу було виявлено потенційні напрямки подальшого вдосконалення дизайну і виробництва. Зокрема:

- Зменшення діаметру друкувального сопла (нозлу) дозволить підвищити деталізацію друку, що особливо важливо для дрібних елементів або складних з’єднань;
- Також варто розглянути можливість використання рідинного (резинового) 3D-друку (наприклад, SLA або LCD технології), що забезпечує ще вищу точність і якість поверхні, порівняно з FDM-друком. Такий підхід доцільний у випадках, коли потрібно досягти максимальної деталізації або виготовити демонстраційний зразок високого рівня.

Загалом проведене тестування підтвердило практичну життєздатність розробленої моделі конструктора, а також продемонструвало, що обрана технологія друку є доцільною для цілей прототипування у сфері модульного будівництва.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було досліджено, проаналізовано та реалізовано повний цикл створення 3D конструктора для проєктування модульного будинку. Основна мета полягала в поєднанні принципів 3D-моделювання, швидкого прототипування та модульного підходу до будівництва задля розробки зручного фізичного інструменту для архітекторів, інженерів та дизайнерів.

У першому розділі дипломної роботи розглянуто загальні властивості 3D-моделювання, його сучасні технологічні можливості, а також перспективи використання в галузі будівництва. Особливу увагу було приділено технології 3D-друку як інструменту виготовлення точних прототипів складних об’єктів, що дозволяє перевіряти конструктивні рішення ще на етапі проєктування.

Другий розділ був присвячений аналітичній частині — розгляду сучасного підходу до модульного житла, аналізу існуючих фізичних макетів та конструкторів, а також можливостям інтеграції штучного інтелекту в процес 3D-моделювання. Отримані висновки стали основою для формування концепції власного конструктора, орієнтованого на гнучкість, масштабованість і практичність використання.

У третьому розділі безпосередньо реалізовано процес проєктування та прототипування. Для створення 3D-моделей було обрано відповідне програмне забезпечення (SketchUp та Blender), розроблено базові модулі конструктора, враховано технологічні обмеження та особливості подальшого фізичного друку. Завдяки використанню 3D-принтера Bambu Lab A1 Mini та матеріалу PET, було надруковано функціональний макет конструктора, який успішно пройшов тестування. Отримані результати підтвердили точність, ергономіку та надійність модульних елементів. Також було визначено шляхи подальшого вдосконалення, зокрема — підвищення деталізації за рахунок зменшення діаметру сопла або використання рідинного друку.

Таким чином, дипломна робота довела ефективність поєднання цифрового моделювання та фізичного прототипування у сфері модульного будівництва. Створений 3D-конструктор може використовуватись як навчальний, презентаційний або дослідницький інструмент у процесі архітектурного проєктування, з перспективою подальшого вдосконалення шляхом інтеграції мікроплат (наприклад, Arduino або ESP32) для синхронізації фізичної моделі з програмним середовищем, у якому здійснюється її візуалізація та рендеринг.

Отримані практичні результати мають прикладне значення та можуть бути основою для подальших розробок у напрямі автоматизованого або генеративного проєктування модульних споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 3D-Design Software | 3D Modeling & Drawing | SketchUp. 3D Design Software | 3D Modeling & Drawing | SketchUp. URL: https://www.sketchup.com/en.

2. 3D-Warehouse. 3D Warehouse. URL: https://3dwarehouse.sketchup.com/

3. 3D-графіка: актуальність, напрями та думка експерта. UniverPL. URL: https://univerpl.com.ua/blog/3d-grafika-aktualnist-napryami-ta-dumka-eksperta/

4. 3D-друк архітектурних макетів в Києві. 3Д принтер для архітектора | Якісний 3D друк пластиком і нейлоном високої точності в Києві, Харкові, Львові, Луцьку за найкращою ціною. URL: https://3dreams.com.ua/ua/архітектурні-макети/

5. 3D-друк: довга історія технології майбутнього URL: https://www.prostranstvo.media/uk/zd-druk-dovga-istoriya-tehnologiyi-majbutnogo/

6. 3D-принтер: що можна зробити — ідеї для дому, бізнесу та промисловості. Easy3Dprint. URL: https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-printer-shho-mozhna-zrobiti/?utm

7. 3D-технології та розширена реальність: як застосувати їх у вищій освіті. URL: https://www.jta.com.ua/trends/3d-tekhnolohii-ta-rozshyrena-realnist-iak-zastosuvaty-ikh-u-vyshchiy-osviti/

8. Alibasic A. 3D Modeling Using Artificial Intelligence. Mälardalen University. URL: https://mdu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1938159/FULLTEXT01.pdf

9. Autodesk 3ds MAX – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_MAX

10. Blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. blender.org. URL: https://www.blender.org/

11. Complete Guide to 3D Printing STL Files. Xometry. URL: https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-stl-files/

12. Contributors to Wikimedia projects. 3D Slicer - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_Slicer

13. Fg1LqR. Будинки з конопель, 3D-друк та модульні містечка. 5 крутих технологій, які можуть швидко забезпечити українців житлом. dev.ua. URL: https://dev.ua/news/budynky-z-konopel-3d-druk-ta-modulni

14. History of 3D printing: It's older than you think. Access Denied. URL: https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-3d-printing?us_oa=dotcom-us&us_si=e7a3646d-7d8f-487c-80d7-638a08f9c600&us_st=History%20of%203D%20Printing

15. Image to 3D Model. Makerworld. URL: https://makerworld.com/en/makerlab/imageTo3d?from=makerlab

16. QHome. QHome – українські модульні будинки. https://qhome.ua/

17. Revolutionising Construction: 3D Printing and Its Impact on the Industry - Parker Brent - Training for Building and Construction. Parker Brent - Training for Building and Construction. URL: https://www.parkerbrent.com.au/blog/revolutionising-construction-3d-printing-and-its-impact-on-the-industry/

18. SketchUp – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/SketchUp

19. Workspace. Meshy AI - The #1 AI 3D Model Generator for Creators. URL: https://www.meshy.ai/workspace

20. Адитивні технології – Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Адитивні_технології

21. Будєєв А.Л., Риндюк С.В. Модульні будинки - інноваційність у сучасному будівництві. Репозитарій Вінницького Національного Технічного Університету. URL: https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42257/20890.pdf?sequence=3

22. Використання вторинних будматеріалів у будівництві: ефективність, переваги та особливості. URL: https://vash-master.com.ua/vikoristannya-vtorinnix-budmaterialiv-u-budivnitstvi-efektivnist-perevagi-ta-osoblivosti/

23. Гудима Л.О. BIM-технології в будівництві: сучасні виклики для України / Л. О. Гудима // Бізнес Інформ. – 2024. – № 2. – С. 97–104. – DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-2-97-104. Bim-технології в будівництві: сучасні виклики для України. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-2_0-pages-97_104.pdf?

24. Деркач А.М. Використання 3D-моделювання у процесі проєктування архітектурних об’єктів [Електронний ресурс] / А. М. Деркач // Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського». – Одеса, 2022. – Режим доступу: http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/18600/1/Derkach%20Anna.pdf3D-моделювання у школі: нові горизонти освіти та шкільне обладнання https://visrozdil.lviv.ua/2024/10/17/3d-modelyuvannya-u-shkoli-novi-goryzonty-osvity-ta-shkilne-obladnannya/

25. Іванов-Костецький С.О. Шляхи застосування технологій 3d-друку у створенні сучасних об'єктів архітектури / [С. Іванов-Костецький, І. Гуменюк, І. Воронкова] // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: «Архітектура», Випуск 4, Номер 1, С. 54-64. URL: https://doi.org/10.23939/sa2022.01.054

26. Інновації в проєктуванні промислових об’єктів за допомогою технологій AR та VR - AgroTimes. AgroTimes. URL: https://agrotimes.ua/article/innovacziyi-v-proyektuvanni-promyslovyh-obyektiv-za-dopomogoyu-tehnologij-ar-ta-vr/?utm_source

27. Клівак В. Особливості використання технології 3d-моделювання в робочому та навчальному процесі дизайнерів. Київ, 2021. 75 с. URL: https://www.aphn-journal.in.ua/archive/45_2021/part_1/11.pdf

28. Коли з’явилося поняття «3D принтер»? Easy3DDPrint URL: https://easy3dprint.com.ua/uk/koli-z-yavilosya-ponyattya-3d-printer/

29. Матеріали для макетів і моделювання від компанії AVERS. AVERS - пластики і плівки | AVERS. URL: https://avers.ua/catalog/filter/sphere:maketi-i-modelyuvannya?utm_source

30. Модульний будинок – технологія майбутнього, і як вона завойовує будівельний ринок. DailyLviv.com. URL: https://dailylviv.com/news/ekonomika/modulnyi-budynok-tekhnolohiya-maibutnoho-i-yak-vona-zavoiovuie-budivelnyi-rynok-94296

31. Модульні будинки: інноваційність у будівництві сучасного житла. Народна Газета Онлайн в Україні. URL:https://narodna.com.ua/budivnytstvo/modulni-budinki-innovatsijnist-u-budivnitstvi-suchasnogo-zhitla.html

32. Нові технології будівництва: екологічні матеріали та сучасний дизайн будинків. Dew Point. URL: https://dewpoint.com.ua/uk/novi-tehnologiyi-budivnitstva-ekologichni-materiali-ta-suchasnij-dizajn-budinkiv/

33. Новік Г.В., Гнатюк Л.Р., Візір А.С. Практичність модульного будівництва: досвід минулого та перспективи / Г.В. Новік, Л.Р. Гнатюк, А.С. Візір // Теорія та практика дизайну: зб. наук. праць / Національний авіаційний університет. - К., 2022. - Вип. № 25. С. 76-84.

34. Особистий проєкт брендбука - Oselya. Figma. URL: https://www.figma.com/design/7g3FY6A73noXurT1c4SOae/Untitled?node-id=0-1&t=bwRcPd6M9h20vqo8-1

35. Переваги та недоліки модульних будинків. Dew Point. URL: https://dewpoint.com.ua/uk/perevagi-ta-nedoliki-modulnih-budinkiv/

36. Ратушняк Т.В., Хом'як А.В. Житловий модульний будинок: фунціональність та перспективи // Collection of Scientific Papers with the Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference «Scientific Research: Modern Innovations and Future Perspectives» (February 24-26, 2025. Montreal, Canada). European Open Science Space, 2025. 297 p. PP. 23-27. ISBN 979-8-89704-956-1 (series). DOI 10.70286/EOSS-24.02.2025 https://www.eoss-conf.com/wp-content/uploads/2025/02/Montreal_Canada_24.02.25.pdf

37. Слайсер для 3D-принтера: як працює та навіщо потрібен. Easy3DPrint. URL: https://easy3dprint.com.ua/uk/shcho-take-slayser-dlya-3d-pryntera/

38. Створення архітектурних макетів: від будинку до дерев. KLONA. URL: https://klona.ua/uk/blog/3d-modeling-and-visualization-uk/stvorennya-arhitekturnyh-maketiv-vid

39. Столярні з'єднання дерев'яних деталей: основні види теслярських з'єднань. Огляд необхідних деталей та інструментів. Wood Expert. URL: https://woodexpert.net.ua/stolyarni-zyednannya-derevyanyh-detalej-osnovni-vydy-teslyarskyh-zyednan-oglyad-neobhidnyh-detalej-ta-instrumentiv/

40. Татарченко Г.О. 3D-моделювання будівельних об'єктів / [Г.О. Татарченко, З.С. Татарченко, Н.І. Паніна, Н.І. Білошицька] // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, № 16, 2021. С. 194-204. DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-24

41. Хто винайшов 3D-принтер: Історія та розвиток технології URL: https://easy3dprint.com.ua/uk/hto-vinajshov-3d-printer/

42. Цифровізація будівельної галузі: переваги та виклики. Автоматизація будівельного бізнесу | DedalSoft. URL: https://dedalsoft.com.ua/blog/tsifrovizatsiya-budivelnoi-galuzi

43. Чи справді біопластик PLA екологічний? EcoGrizzly. URL: https://ecogrizzly.shop/ecological-bioplastic-pla/

44. Що таке PLA пластик. EcoGrizzly. URL: https://ecogrizzly.shop/ecological-bioplastic-pla/

45. Що таке масові моделі? Посібник щодо їх ролі та впливу в архітектурі | QZY Custom Model Maker. QZY Models. URL: https://www.qzymodels.com/uk/what-are-massing-models-a-guide-to-their-role-and-impact-in-architecture/?utm_source

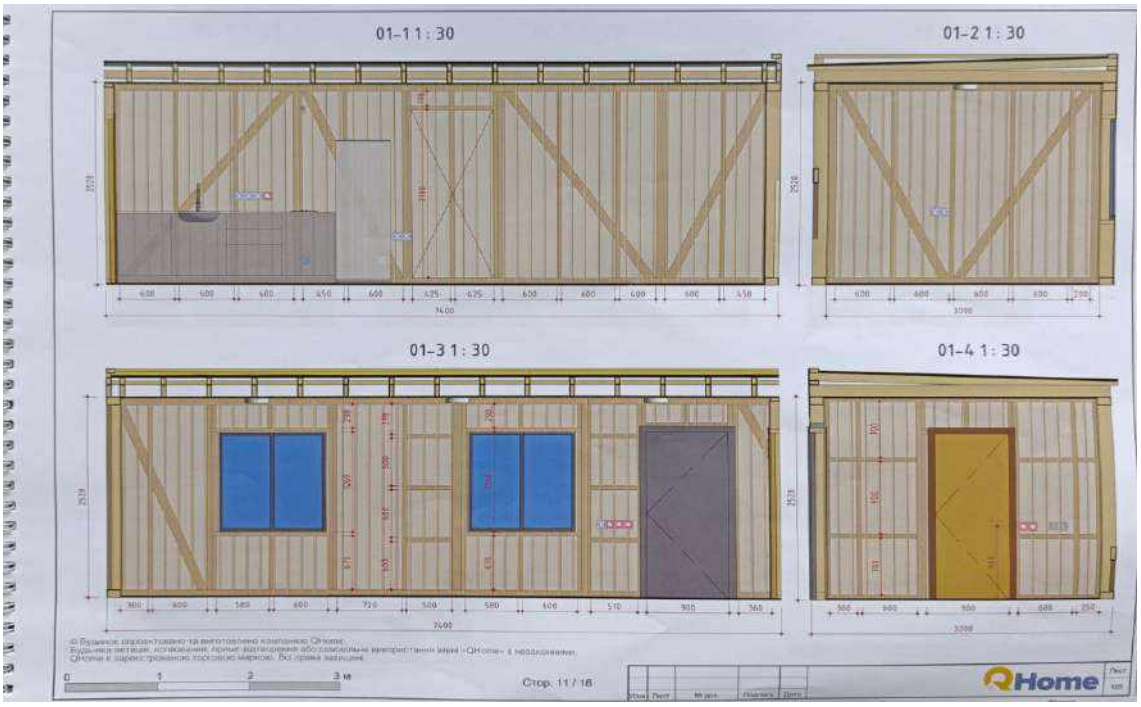
46. Що таке модульний будинок? Dew Point. URL: https://dewpoint.com.ua/uk/modulniy-dom/

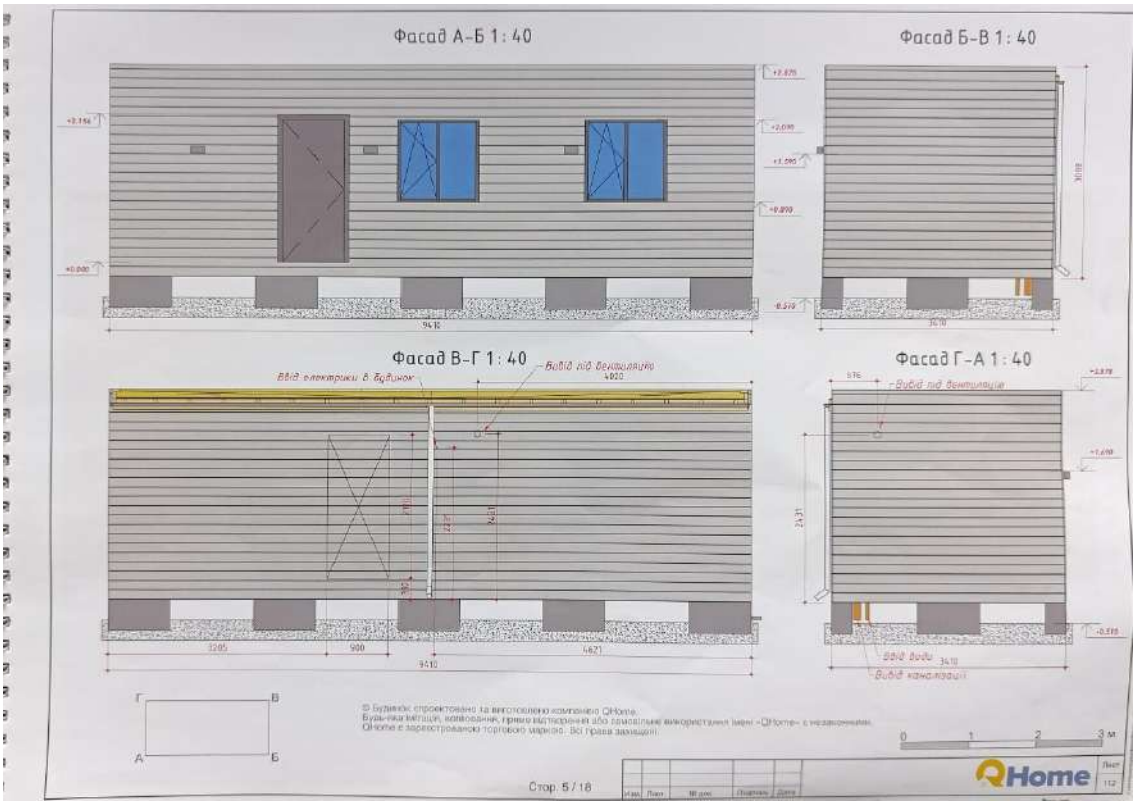
47. Що таке параметричне моделювання? Adobe. URL: https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/parametric-modeling.html

ДОДАТКИ

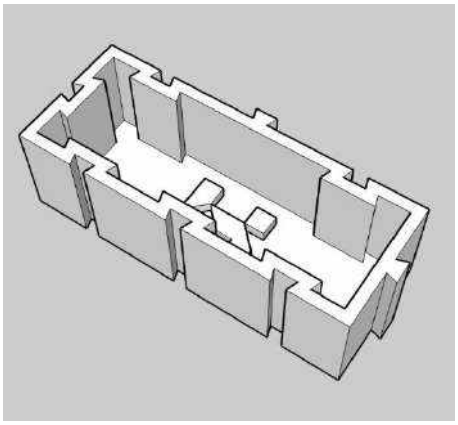
Додаток 1

Схема проєктування модульного будинку, на основі якого було створено конструктор для моделювання будівель. Усі авторські права на проєктування, ліцензію та виготовлення належать компанії Qhome.



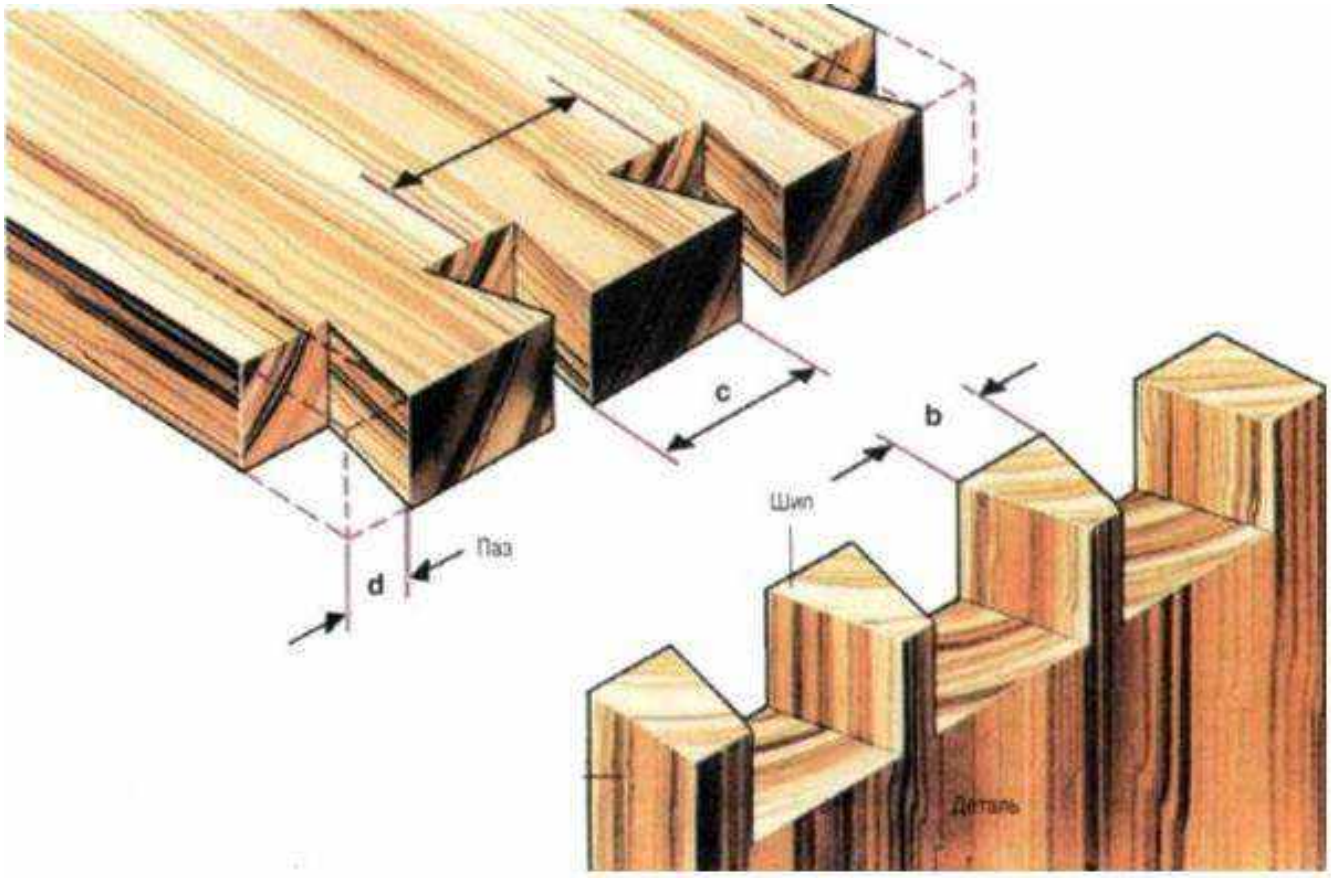


Додаток 2

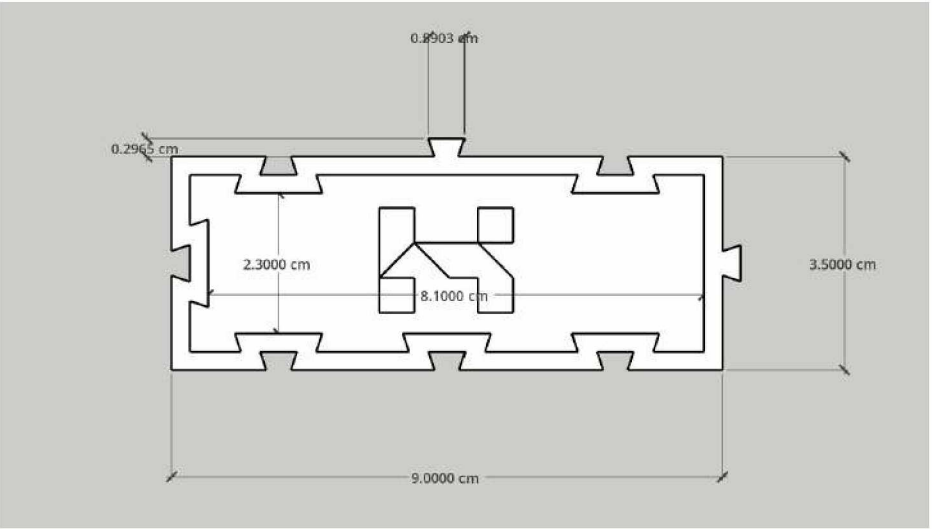
Найменування характеристик товару	**Показники характеристик товару**	**Кількість (шт.)**	**Орієнтовний зовнішній вигляд**
Довжина, мм	37	10	
Висота, мм	12		
Ширина, мм	15		
Глибина, мм	11		
Масштаб	1:250		
Матеріал	PET пластик		
Ресурс	Необмежаний		
Колір	Коричневий		
Якість	Висока		
Товщина пластику в межах (мм)	1		
Отриманий результат відповідає вимогам проєкту	Так		

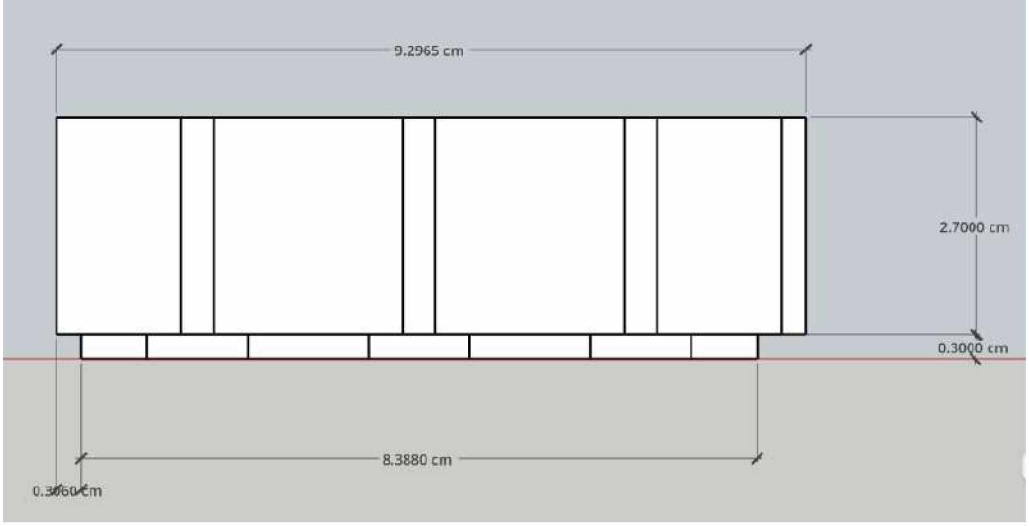
Додаток 3

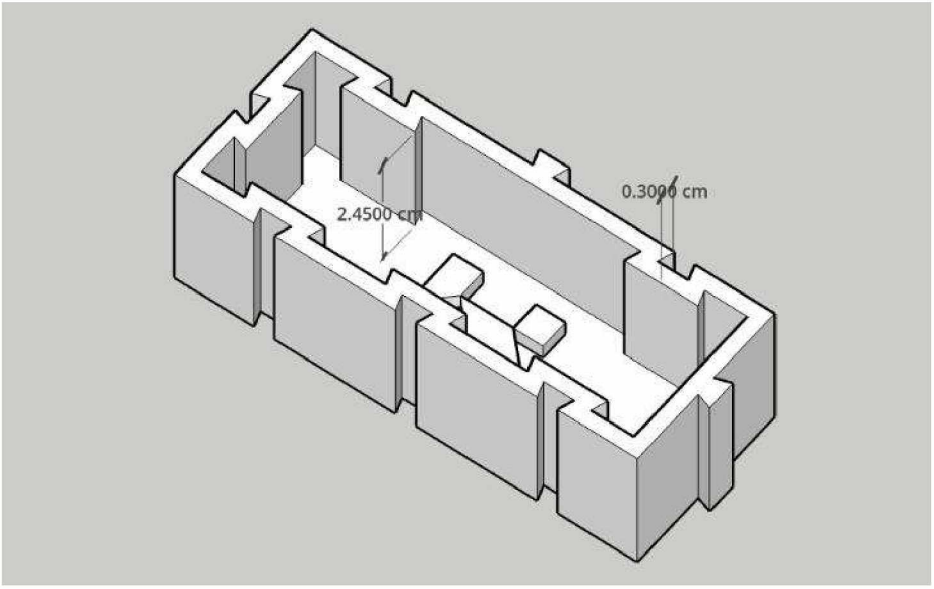
Для забезпечення фізичного моделювання конструктора та його надійного з’єднання, з-поміж широкого переліку столярних з’єднань у базі даних було обрано оптимальний варіант — з'єднання типу «ластівковий хвіст». Це кріплення відзначається високою механічною міцністю та стабільністю як при використанні деревини, так і полімерних матеріалів, що робить його ефективним для прототипування в умовах модульного проєктування.



Додаток 4


0.2965 cm
2.3000 cm
8.1000 cm
3.5000 cm
9.0000 cm


9.2965 cm
2.7000 cm
0.3000 cm
8.3880 cm


0.3000 cm
2.4500 cm