

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра комп'ютерної інженерії



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Поліпшення технології створення об'ємних
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)
комп'ютерних моделей за допомогою сучасних
засобів прототипування

Здобувача Соколової О.П.
(прізвище, ініціали)

2 курсу 777a групи

Керівники: к.т.н., доц. Сахарова С.В.
(посада, прізвище та ініціали)
ст. викл. Журнова Т. М
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: _____
(посада, прізвище та ініціали)
д.е.н., проф. Басюркіна Н.Й.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 30.11 2023 р., протокол № 3
Завідувач кафедри комп. інженерії _____ Сергій АРТЕМЕНКО
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерної інженерії, програмування та кіберзахисту
Кафедра комп'ютерної інженерії
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма Комп'ютерні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри комп'ютерної інженерії
Сергій АРТЕМЕНКО
« 30 » листопада 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Соколової Оксани Петрівни

- Тема роботи Поліпшення технології створення об'ємних комп'ютерних моделей за допомогою сучасних засобів прототипування
- Затверджена наказом університету від « 30 » листопада 2022 р., наказ № 884-03
- Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28 листопада 2023 р.
- Вихідні дані роботи
Технологія створення 3D моделей старовинних механізмів за кресленнями та фото та друку їх на 3D принтері
- Перелік питань, які потрібно розробити
1. Вступ. 2. Дослідження предметної області. 3. Вивчення технології побудови об'ємних моделей на основі креслень та фото 4. Розробка технології створення 3D моделей по фото. 5. Загальні висновки. 6. Економічні розрахунки. 7. Охорона праці.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація Power Point - 12 слайдів

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіка</i>	<i>д.е.н., проф. Басюркіна Н.Й.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>ст..викладач Жуковецька С.Л.,</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>доцент Сахарова С.В.,</i>		

7. Дата видачі завдання 30.11.2022

Керівники

Світлана САХАРОВА

Тетяна ЖИРНОВА

Завдання прийняв до виконання

Оксана СОКОЛОВА

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Дослідження предметної області</i>	05.09.2023	Виконано
2.	<i>Дослідження питань створення 3D моделей</i>	05.10.2023	Виконано
3.	<i>Розробка технології створення моделей по фото</i>	07.11.2023	Виконано
4.	<i>Розробка демонстраційної версії ПЗ</i>	27.03.2023	Виконано
5.	<i>Підготовка техніко-економічної частини</i>	30.11.2023	Виконано
6.	<i>Підготовка розділу охорони праці</i>	30.11.2023	Виконано
7.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	30.11.2023	Виконано
8.	<i>Оформлення графічної частини та лістингу</i>	30.11.2023	Виконано

Здобувач - дипломник

Оксана СОКОЛОВА

Керівники

Світлана САХАРОВА

Тетяна ЖИРНОВА

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник

Оксана СОКОЛОВА

АНОТАЦІЯ

У цій кваліфікаційній роботі розглядається удосконалення технології створення тривимірних 3D-моделей з використанням креслень, фотографій та рисунків механізмів старих зразків, що потребує адаптації та розвитку сучасних засобів прототипування. Робота спрямована на розробку методів та алгоритмів, що дозволяють точно та ефективно відтворювати конструкції механізмів у вигляді 3D-моделей.

В першому розділі описується застосування моделювання в різних галузях, включаючи інженерну справу, дизайн та архітектуру, описуються проблеми, що виникають під час створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів минулих років.

В другому розділі обґрунтовано перспективність створення таких 3D-моделей у харчовій та переробній промисловості, зроблено огляд програмного забезпечення, що застосовується для створення тривимірних моделей, сформульовано технологію розробки подібних моделей з урахуванням подальшого друку їх на FDM принтері.

У третьому розділі наведено докладну схему створення 3D-моделей у додатку Blender за допомогою примітивів та додаткових інструментів, Показано етапи практичної реалізації запропонованої технології створення 3D-моделей на прикладі обраного обладнання, Також показано схему зміни налаштувань слайсера CURA за результатами експериментів, детально описаний алгоритм друку моделей на 3D-принтері за технологією FDM..

Четвертий розділ обґрунтовує економічну вигоду від застосування одержаної системи. У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці.

Результатом роботи є сформована технологія, що дозволяє точно та ефективно відтворювати конструкції механізмів у вигляді 3D-моделей на основі наявних креслень, фотографій та даних.

Ключові слова: 3D-принтер, FDM технологія, G-kod, слайсер CURA, Anycubic Kossel, PLA-пластик, Blender, прототипування.

ABSTRACT

This qualifying work considers the improvement of the technology of creating three-dimensional 3D models using drawings, photographs and drawings of the mechanisms of old samples, which requires adaptation and development of modern prototyping tools. The work is aimed at the development of methods and algorithms that allow accurate and efficient reproduction of mechanism designs in the form of 3D-models.

The first chapter describes the application of modeling in various fields, including engineering, design and architecture, and describes the problems that arise when creating three-dimensional models from drawings and photographs of mechanisms of yesteryear.

In the second chapter, the perspective of creating such 3D-models in the food and processing industry is substantiated, an overview of the software used to create three-dimensional models is made, and the technology of developing such models is formulated, taking into account their subsequent printing on an FDM printer.

The third section provides a detailed scheme for creating 3D-models in the Blender application using primitives and additional tools, shows the stages of practical implementation of the proposed technology for creating 3D-models on the example of selected equipment, also shows a scheme for changing the settings of the CURA slicer based on the results of experiments, a detailed description of the algorithm for printing models on 3D-printers using FDM technology..

The fourth section substantiates the economic benefit from the application of the obtained system. The fifth chapter deals with the issue of labor protection.

The result of the work is a developed technology that allows you to accurately and efficiently reproduce the designs of mechanisms in the form of 3D models based on available drawings, photos and data.

Keywords: 3D-printer, FDM technology, G-kod, CURA slicer, Anycubic Kossel, PLA plastic, Blender, prototyping.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ.....	14
1.1 Аналіз предметної області.....	14
1.1.1 Створення тривимірних моделей механізмів старих зразків.....	14
1.1.2 Обґрунтування збереження старовинних механізмів у вигляді 3D- моделей.....	15
1.1.3 Основні галузі застосування технології створення 3D-моделей старовинних механізмів.....	17
1.2 Аналіз публікацій останніх років.....	23
1.3 Сучасні аналоги.....	27
1.4 Розробка технічного завдання.....	31
Висновок до першого розділу.....	32
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА / ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	34
2.1 Необхідність збереження інформації про механізми переробки харчової продукції у вигляді 3D-моделей.....	34
2.2 Огляд програмного забезпечення для створення тривимірних моделей.....	39
2.3 Програма Blender та технологія виробництва 3D-моделей за кресленнями та рисунками.....	44
2.3.1 Використання програми Blender для отримання 3D-моделей.....	44
2.3.2 Технологія створення 3D-моделі старовинного механізму за кресленням або фотографією за допомогою програми Blender.....	46
Висновок до другого розділу.....	48

					КРМ.КІ.1. 884-03.3.7			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Оксана СОКОЛОВА			<i>Поліпшення технології створення об'ємних комп'ютерних моделей за допомогою сучасних засобів прототипування</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевіриє		Світлана САХАРОВА					6	112
Рецензент						ОНТУ, 123, гр.777,		
Нормоконтроль		Світлана САХАРОВА						
Затвердив		Сергей АРТЕМЕНКО						

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ...	50
3.1 Використання літератури та фото столітньої давності для моделювання обладнання.....	50
3.2 Практичні аспекти створення 3D-моделей по фото.....	53
3.3 Експерименти щодо покращення друку на 3D-принтері.....	60
3.4 Друк моделей на 3D-принтері за технологією FDM.....	64
Висновок до третього розділу.....	66
Розділ 4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЕКТУ.....	68
4.1 Організаційно-економічне і маркетингове обґрунтування проекту.....	68
4.2 Економічні розрахунки проекту.....	75
4.3 Визначення капітальних витрат.....	80
Висновки до четвертого розділу.....	83
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	84
Висновок до п'ятого розділу.....	87
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	88
Наукова новизна отриманих результатів.....	88
Практичне значення отриманих результатів.....	88
Загальні висновки.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
ДОДАТКИ.....	96
Додаток А. G-kod слайсера CURA для роботи 3D принтера ANYCUBIC KOSSEL.....	96
Додаток Б Графічний матеріал	107

ВСТУП

Поліпшення технології створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей на основі сучасних засобів прототипування має вирішальне значення для різних галузей, включаючи інженерну справу, дизайн та медицину. Сучасні засоби прототипування, такі як 3D-принтери та програмні платформи для моделювання, дозволяють створювати більш точні та складніші 3D-моделі [1, 2]. Це відкриває нові можливості для інженерів та дизайнерів, дозволяючи їм максимально точно візуалізувати та перевірити свої ідеї перед фізичним виробництвом. За допомогою вдосконалених технологій створення 3D-моделей можна скоротити час розробки та покращити якість кінцевого продукту [3]. Прототипування в 3D також сприяє найбільш швидкій та ефективній передачі концепції клієнтам та зацікавленим сторонам.

Крім того, застосування об'ємних 3D-моделей на основі сучасних засобів прототипування знаходить широке використання також у медицині. Лікарі можуть створювати точні моделі органів чи кісток пацієнта, що допомагає у діагностиці та плануванні складних операцій.

Загалом, покращення технології створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей на основі сучасних засобів прототипування сприяє інноваціям, підвищує ефективність процесів та відкриває нові можливості у різних галузях [4].

У даній кваліфікаційній роботі розглядається один із аспектів удосконалення такої технології у вигляді особливостей створення тривимірних 3D-моделей з використанням креслень, фотографій та рисунків механізмів старих зразків, що потребує адаптації та розвитку сучасних засобів прототипування. Результатом цього дослідження стала розробка нових методів та модифікація існуючих, що дозволяють більш ефективно створювати тривимірні 3D-моделі з використанням креслень та фотографій механізмів старих зразків.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Створення комп'ютерних моделей технічного обладнання старих зразків – один із методів відновлення та збереження історичної спадщини. Технології та обладнання, які використовувалися в минулому в різних галузях промисловості, можуть представляти великий інтерес для дослідників, науковців та студентів. У наші дні, коли ми маємо доступ до високошвидкісних комп'ютерів та потужних програм для моделювання, створення комп'ютерних моделей технічного обладнання старих зразків стало доступним, простим та швидким способом відновлення та збереження історичних даних [4, 5].

Створення комп'ютерних моделей технічного обладнання за старими зразками дозволяє зберегти не лише основні розміри та форми об'єкта, а й унікальні деталі та архітектурний стиль. При цьому можна збільшити масштаб та вивчити деталі об'єкта, створити різні моделі та симуляції для аналізу та оптимізації роботи обладнання. Такий підхід дозволяє отримати важливі дані щодо ремонту, обслуговування, покращення, модернізації або інших видів впливу на об'єкт. Можливість перегляду вхідної моделі дає можливість дізнатися більше про різні технології, їх принципи роботи та вплив на сучасне обладнання.

Створення моделей механізмів, які вже давно не використовуються, має кілька важливих обґрунтувань [5, 19, 22. 28]:

Історичне збереження: старі механізми є цінними історичними артефактами, що відбивають технологічний розвиток певної епохи. Створення моделей дозволяє зберегти їхню віртуальну копію, яка може бути доступна для дослідження, освіти та публічного доступу навіть у разі фізичного погіршення чи втрати.

Освітні цілі: моделі старих механізмів можуть бути використані в освітніх цілях для демонстрації та пояснення принципів пристроїв та застосування цих механізмів. Студенти та дослідники можуть вивчати їх конструкцію, роботу та вплив на розвиток технологій.

Реставрація та реплікація: такі моделі можуть бути основою для реставрації та реплікації технічних об'єктів. Вони дозволяють візуально уявити

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

і зрозуміти складні механізми, а також використовувати ці моделі як основу для створення нових екземплярів.

Дослідження та інновації: створення таких 3D-моделей може сприяти дослідженням та інноваціям у галузі інженерії та технологій. Аналіз та віртуальне тестування механізмів, що працювали, дозволяють здобути цінні уроки та застосувати їх у розробці сучасних технологій.

Культурна спадщина: старі механізми мають велику культурну цінність і є частиною національної та світової культурної спадщини. Створення їх віртуальних моделей дозволяє зберегти та передати цю спадщину майбутнім поколінням, а також забезпечити доступність та вивчення цих об'єктів широкої аудиторії.

Таким чином, створення моделей старих механізмів має величезне значення для збереження історичної, освітньої, культурної цінності та сприяє розвитку та інноваціям у галузі інженерії та технологій.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у появі нових вимог до технологій створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей, у зростанні зацікавленості створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків, з розвитком технологій та необхідністю ефективного використання ресурсів [19]. Це дозволяє зберегти та відтворити цінні історичні артефакти, а також використовувати їх у дослідженнях, навчальних програмах та інженерних проектах. Засоби прототипування є найважливішим інструментом у процесі, оскільки дозволяють швидко створювати фізичні прототипи з урахуванням комп'ютерних моделей. Однак існуючі технології мають свої обмеження, що призводить до необхідності покращення процесу створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та покращення технології створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків на основі сучасних засобів прототипування. Робота спрямована на розробку методів та алгоритмів, що дозволяють точно та

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ефективно відтворювати конструкції механізмів у вигляді 3D-моделей на основі наявних креслень, фотографій та даних.

Об'єктом дослідження є процес створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей механізмів старих зразків, які мають історичну, культурну, наукову та інженерну цінність.

Предметом дослідження є методи та алгоритми створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків. Мета роботи – вивчення та розробка оптимальних підходів до цього процесу з урахуванням особливостей конкретних механізмів.

Методи розроблення (дослідження). Для досягнення поставленої мети будуть використані такі методи: аналіз літературних джерел, вивчення існуючих технологій створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей, експериментальне моделювання та впровадження покращень у процес створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей. Також використовуються методи комп'ютерного моделювання та програмування для розробки алгоритмів та створення тривимірних моделей механізмів.

Наукова новизна одержаних результатів. Результати дослідження сприятимуть розвитку методів та практик створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків. Отримані результати будуть впроваджуватись у наукові, культурні та освітні проекти, сприяючи збереженню та використанню цінних історичних артефактів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені методи та алгоритми створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків матимуть практичне застосування у різних галузях, зокрема, у музеях, наукових дослідженнях, освітніх програмах та інженерних проектах. Використання цих моделей дозволить зберігти та вивчати цінні історичні об'єкти, а також сприятиме подальшому розвитку технологій тривимірного моделювання та віртуальної реальності.

Апробація результатів роботи та публікації. Результати досліджень доповідались на наступних конференціях [6-10]:

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

1. XXI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» (Одеса, 22-23 квітня 2021 р.);
2. 82 Наукова конференція викладачів Одеського національного технологічного університету (Одеса, 26 – 29 квітня 2022 р.);
3. XXIII Всеукраїнська науково-технічна конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій» (Одеса, 20-21 квітня 2023 р.);
4. XVI Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології і автоматизація – 2023». Одеса, 19-20 жовтня 2023 р.

Основні результати досліджень були опубліковані в наступних наукових статтях та монографіях[11-15]:

1. Соколова О.П., Котлик С.В., Корнієнко Ю.К. Огляд застосовування програмного забезпечення для 3D моделювання/ Інформаційні технології та автоматизація: монографія / кол. авт.: Бондаренко З.В., Борисова Н.В., Бурдейна О.В. [та ін.]; за заг. ред. С.В.Котлика. — Одеса : Астропринт, 2020, с.180-186.
2. Іванова Л. О., Котлик С. В., Соколова О. П. Використання 3D-друку при створенні ювелірних виробів / На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація : монографія / кол. авт. : В. Б. Артеменко, Л. В. Артеменко, О. В. Артеменко [та ін.] ; за заг. ред. С. В. Котлика. — Одеса : Астропринт, 2021, с. 317 - 332.
3. С. Котлик, О. Романюк, О. Соколова, Д. Котлик, Розробка доступної технології створення 3D комп'ютерних моделей на основі фотограмметрії. Частина I., Automation of technological and business processes, Volume 14, Issue 2, pp. 37-50, Sep 2022, DOI:<https://doi.org/10.15673/atbp.v14i2.2332>.
4. С. Котлик, О. Романюк, О. Соколова, Д. Котлик, Розробка доступної технології створення 3D комп'ютерних моделей на основі фотограмметрії. Частина II., Automation of technological and business processes, Volume 14, Issue 3, pp. 11-19, Sep 2022, DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v14i3.2348> .

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5. Kotlyk S.V., Sokolova O.P., Romaschenko S.S., Kostyrenko T.P. Development of an information system to support high-quality printing on a 3D printer using FDM technology. Automation of Technological and Business Processes, Volume 15, Issue 1 /2023, p.1-10, DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v15i1.2495>.

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		13

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ

1.1 Аналіз предметної області

1.1.1 Створення тривимірних моделей механізмів старих зразків

У сучасну епоху тривимірні моделі широко використовуються в різних галузях, включаючи інженерну справу, дизайн та архітектуру [4, 18]. Одним із цікавих та складних аспектів створення тривимірних моделей є відтворення механізмів старих зразків на основі креслень та фотографій (рис.1.1)

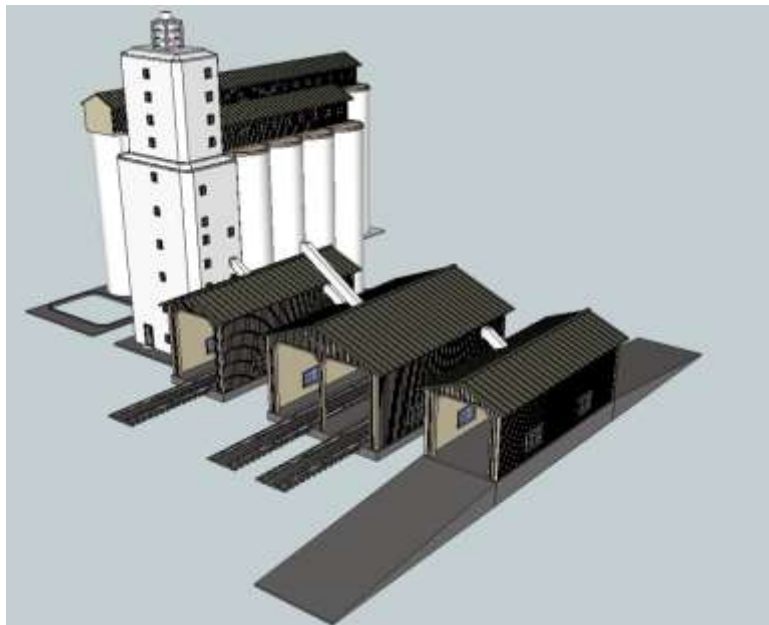


Рис.1.1 – Модель елеватора з під'їзними шляхами

Однією з основних проблем при створенні тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів минулих років є недолік точної та повної інформації. Креслення та фотографії можуть бути зношеними, пошкодженими або неповними, що ускладнює процес моделювання. У таких випадках потрібно ретельний аналіз доступних джерел інформації та можливе поєднання різних даних для створення найбільш достовірної моделі. Ще однією складністю є необхідність інтерпретації та адаптації двомірних креслень та

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

фотографій у тривимірний простір. Це вимагає від дослідника розуміння принципів роботи механізму, його конструктивних особливостей та взаємозв'язків. Важливо розуміти, що механізми старих зразків можуть мати відмінності та особливості, які необхідно врахувати під час створення тривимірної моделі.

Для успішного створення тривимірних моделей механізмів старих зразків необхідно використовувати спеціалізовані програмні інструменти. Сучасні CAD (Computer-Aided Design) системи дозволяють створювати складні тривимірні моделі на основі двовимірних даних. Однак, при роботі зі старовинними механізмами може знадобитися додаткова адаптація та модифікація програмного забезпечення для врахування особливостей та специфіки цих механізмів [16, 17].

Створення тривимірних моделей механізмів минулих років є складним та трудомістким процесом, що потребує уважного аналізу та інтерпретації вхідних даних. Недолік точної інформації, необхідність адаптації двовимірних даних до тривимірного простору та використання спеціалізованих програмних інструментів – все це фактори, які необхідно враховувати при створенні достовірних тривимірних моделей механізмів старих зразків.

1.1.2 Обґрунтування збереження старовинних механізмів у вигляді 3D-моделей

Збереження відомостей про старовинні механізми у вигляді тривимірних 3D-моделей надає ряд переваг та можливостей, які можуть бути важливими для досліджень, освіти та збереження культурної спадщини. Ось кілька причин, чому створення 3D-моделей старовинних механізмів вигідне [10, 19, 26, 28]:

1. **Краще розуміння механізмів:** 3D-моделі дозволяють дослідникам та громадськості краще розуміти внутрішню структуру та принципи роботи старовинних механізмів, які могли б бути не такі очевидні на основі 2D-зображень (рис.1.2).

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

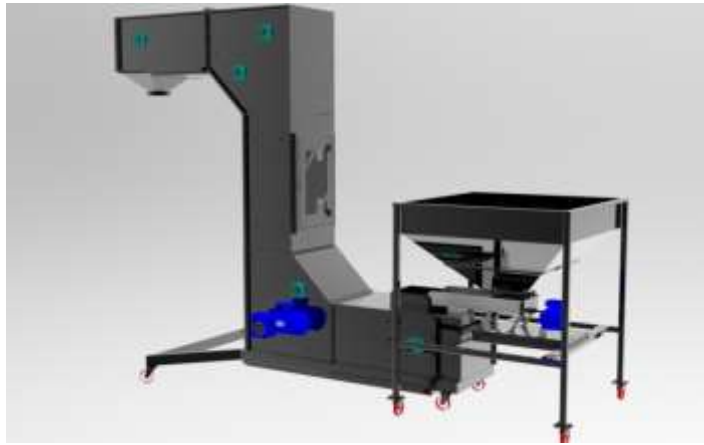


Рис.1.2 – Модель зернового елеватора з видимою внутрішньою структурою

2. **Інтерактивні навчальні матеріали:** 3D-моделі забезпечують можливість створення інтерактивних навчальних матеріалів та віртуальних турів, що робить освіту більш привабливою та доступною.

3. **Довготривале зберігання:** 3D-моделі забезпечують довготривале зберігання інформації про старовинні механізми у цифровій формі, що сприяє збереженню культурної спадщини для майбутніх поколінь.

4. **Механічний аналіз:** 3D-моделі можуть бути використані для проведення механічних аналізів, визначення міцності та стійкості старовинних механізмів.

5. **Реконструкція археологічних знахідок:** У разі археологічних розкопок 3D-моделі дозволяють створювати точні віртуальні реконструкції знайдених механізмів (рис.1.3).



Рис.1.3 – Стилїзована модель стародавнього зернового водяного млина

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

6. **Доступність для широкої аудиторії:** 3D-моделі дозволяють створювати віртуальні музеї та виставки, забезпечуючи доступ до культурної спадщини усьому світу незалежно від фізичного розташування.

7. **Інтеграція інформації:** 3D-моделі можуть інтегрувати дані з різних джерел, таких як археологічні знахідки, рукописи та історичні записи для створення більш повної картини.

8. **Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR):** 3D-моделі можуть бути використані у VR та AR для створення захоплюючих та інтерактивних дослідів.

Громадський інтерес до історії та культурної спадщини, а також розвиток технологій у галузі 3D-моделювання роблять ці підходи ефективним інструментом для досліджень та збереження старовинних механізмів.

1.1.3 Основні галузі застосування технології створення 3D-моделей старовинних механізмів

Процес створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фотографіями механізмів досить поширений у світі. З розвитком сучасних технологій та програмного забезпечення, спеціалізовані інженерні та проєктувальні компанії часто застосовують цей процес для відтворення старих механізмів у тривимірному вигляді. Основні сфери застосування такої технології такі [4, 5, 8, 19]:

1. **Реставрація та реконструкція історичних механізмів:** Наприклад, археологічні дослідження можуть включати створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фото артефактів, таких, як стародавні механізми чи машини. Це дозволяє більш точно відтворити та вивчити історичні механізми.

2. **Проєктування нових моделей на основі старих креслень:** У деяких випадках, маючи старі креслення або фотографії механізму, можна створювати тривимірні моделі нових версій або модифікацій цього механізму.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

Наприклад, якщо є креслення старого автомобіля, можна створити тривимірну модель модернізованої сучасної версії.

3. **Відновлення втрачених або пошкоджених креслень:** Якщо креслення механізму були втрачені або пошкоджені, тривимірне моделювання може використовуватися для відновлення цих креслень. За наявними фрагментами чи з допомогою додаткових досліджень можна створити тривимірну модель механізму.

4. **Створення цифрових архівів:** Старі креслення механізмів та фото можуть бути перетворені на тривимірні моделі для створення цифрових архівів. Це дозволяє зберегти та зберігати інформацію про механізми у більш сучасному та зручному форматі..

5. **Відновлення історичних архітектурних пам'яток:** Були випадки, коли 3D-моделісти використовували старі креслення та фотографії знаменитих будівель або архітектурних споруд, щоб створити точні цифрові 3D-моделі цих об'єктів. Це дозволило зберегти віртуальні копії історичних пам'яток, які можуть використовуватися для дослідження, навчання та візуалізації (рис.1.4).



Рис.1.4 – Надрукована 3D-модель старовинного особняка (Відень)

6. **Відновлення археологічних предметів:** Археологи та дослідники можуть використовувати старі креслення та знахідки для створення 3D-моделей артефактів, які можуть бути пошкоджені або втрачені з часом. Такі моделі

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		18

допомагають зберігати та вивчати цінні артефакти та бачити їх у реалістичній формі.

7. **Прототипування оригінальних дизайнів:** У деяких випадках дизайнери та інженери використовують старі креслення та фотографії, щоб створити 3D-модель для прототипування та тестування нових продуктів або деталей. Це допомагає побачити, як концептуальні ідеї минулого виглядатимуть у реальності та дозволяє внести зміни для покращення дизайну.

Це лише кілька прикладів використання тривимірного моделювання з урахуванням старих креслень механізмів. Фактично, цей процес може бути застосований у різних галузях, включаючи машинобудування, архітектуру, виробництво, дизайн, науку, освіту.

Ось кілька прикладів успішної розробки 3D-моделей за старими фотографіями та малюнками:

Компанія 3D Way співпрацювала з архітекторами та істориками для відновлення історичної будівлі, використовуючи старі креслення [29]. Вони створили точну 3D-модель будівлі, включаючи деталі фасаду, інтер'єру та архітектурних елементів (рис.1.4). Ця модель була використана для реконструкції будівлі та її подання у віртуальній реальності.

Фірма 3D Evolution працювала із виробничою компанією, яка мала застаріле обладнання без доступних 3D-моделей [30]. Вони створили 3D-моделі цих машин на основі старих креслень, що дозволило компанії виробляти запасні частини і модернізувати обладнання без необхідності фізичного вимірювання.

Фрілансер, який працює на платформі Upwork, допоміг археологічній експедиції відновити античну споруду [33]. Він використовував старі креслення та архівні матеріали, щоб створити детальну 3D-модель споруди. Ця модель використовувалася надалі при демонстрації цієї споруди на конференціях (рис.1.5).

					КРМ.КІ.1. 884-03.3.7	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис.1.5 – Надрукована 3D-модель стародавньої античної споруди

Удосконалення технології створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фотографіями механізмів також може давати багато нетривіальних результатів у сфері освіти [34, 35]:

1. **Історичні знання:** студенти можуть вивчити історію створення, розвитку та застосування цього пристрою.
2. **Інженерні навички:** студенти можуть навчитися проектуванню та побудові пристрою, а також розумінню принципів його функціонування та конструкції.
3. **Фізичні знання:** студенти можуть вивчити фундаментальні закони фізики, пов'язані з пристроєм, та навчитися застосовувати ці закони під час створення своєї копії.
4. **Розвиток креативності:** проектування та створення пристрою можуть стимулювати у студентів креативне мислення та розвиток їх творчих здібностей.
5. **Розвиток комунікативних навичок:** студенти можуть працювати у групах та спілкуватися один з одним, що сприяє розвитку їх комунікативних навичок.
6. **Мотивація до навчання:** створення пристрою може мотивувати студентів на подальше вивчення науки та техніки та розвиток своїх професійних навичок.

					КРМ.КІ.1. 884-03.3.7	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.1.4 Труднощі, що виникають у процесі створення 3D-моделей механізмів минулого часу

Створення тривимірних моделей за старими кресленнями та фотографіями механізмів може зустрічати деякі труднощі, ось кілька з них [2, 17, 20, 25]:

1. **Відсутність точних вимірів:** Старі креслення механізмів можуть бути недосконалими або не містити достатньо точних вимірів. Це може ускладнити точне відтворення тривимірної моделі та вимагати додаткових зусиль для інтерпретації та оцінки розмірів та пропорцій.

2. **Неповні або нечіткі деталі:** Старі креслення можуть містити неповні або нечіткі деталі, такі як нечіткі контури, невиразні розміри або відсутність деяких частин. Це може вимагати додаткового дослідження та аналізу для заповнення прогалів та відтворення повної тривимірної моделі.

3. **Зношення та пошкодження:** Старі креслення та оригінальні механізми можуть бути пошкоджені або зношені з часом. Це може призвести до втрати деяких деталей або інформації про конструкцію. Відновлення та відтворення тривимірної моделі в таких випадках може вимагати експертної оцінки та додаткових досліджень.

4. **Зміни у технології та стандартах:** Старі креслення можуть бути створені за допомогою застарілих технологій та стандартів, які відрізняються від сучасних методів проектування та вимірювань. Це може ускладнити процес створення тривимірної моделі, вимагаючи адаптації та внесення корекцій для відповідності сучасним стандартам.

5. **Обмежена доступність вхідних даних:** Старі креслення та інші вхідні матеріали можуть бути обмежено доступними або існувати лише в обмеженій кількості. Це може ускладнити процес створення тривимірної моделі, особливо якщо потрібна додаткова інформація або перевірка деталей.

Незважаючи на ці труднощі, використання сучасних методів та інструментів тривимірного моделювання, таких як комп'ютерне відеовимірювання (СММ), сканування та фотограмметрія, допомагає подолати

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

деякі з цих проблем та досягти достатньої точності та деталізації при створенні тривимірних моделей за старими кресленнями механізмів. Створенню такої методики і присвячено цю кваліфікаційну роботу.

Для подолання труднощів створення тривимірних моделей за старими кресленнями механізмів можна використовувати такі алгоритми [5, 16, 17, 18]:

1. **Додаткове дослідження та експертна оцінка:** можна провести додаткове дослідження та/або звернутися до експертів у відповідній галузі для отримання додаткової інформації та оцінки розмірів, форм та інших деталей. Вони також можуть запропонувати рекомендації, поради та підказки щодо створення тривимірної моделі на основі старих креслень.

2. **Використання сучасного CAD-програмного забезпечення:** сучасні CAD-програми мають потужні інструменти для створення тривимірних моделей. Вони дозволяють імпортувати старі креслення, сканувати фотографії та малюнки, та використовувати їх як основу для створення тривимірної моделі. Такі програми також можуть іноді перетворювати двомірні креслення на тривимірні моделі.

3. **Реверс-інжиніринг:** якщо є старі креслення механізму, але немає тривимірної моделі, можна застосувати метод реверс-інжинірингу. Це процес, у якому старі креслення аналізуються і на їх основі створюється тривимірна модель. Для цього можна використовувати спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє сканувати креслення та перетворювати їх на тривимірні моделі.

Важливо пам'ятати, що створення тривимірної моделі за старими кресленнями та фотографіями може бути складним процесом, що потребує часу та зусиль. Проте з використанням сучасних інструментів та консультацією з фахівцями можливо подолати ці труднощі та успішно створити 3D-модель потрібного механізму.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2 Аналіз публікацій останніх років

Зберігати зображення та креслення столітньої давності різних технічних пристроїв дуже важливо для нашої історії та її вивчення. Ці артефакти можуть стати цінними ресурсами для майбутніх поколінь, які дадуть їм змогу побачити, які технології ми використовували в минулому і як вони розвивалися. Зображення та креслення є ключовими документами, коли справа доходить до вивчення технічних розробок та винаходів. Вони допомагають нам краще розуміти технологічний прогрес та його розвиток у конкретному часовому періоді. Наприклад, старовинні креслення та зображення парового двигуна можуть допомогти дослідникам краще зрозуміти, як цей двигун працював, як його компоненти були спроектовані та як його використання призвело до революції у можливостях транспорту та промисловості [5, 19, 22, 26].

Крім того, акуратне зберігання та збереження старовинних креслень та зображень може допомогти зберегти нашу культурну та технологічну історію, яка б загубилася в іншому випадку.

На жаль, упродовж минулих років багато документів та зображень було втрачено або знищено, причиною чого стало неакуратне та неправильне їх зберігання. Це унеможливило повноцінне вивчення нашої культурної та технічної історії. Тим паче значима праця дослідників, котрі займаються методологією створення 3D-моделей із зображень та креслень які вийшли з вжитку механізмів.

В силу сказаного численні фірми та окремі вчені з різним успіхом розробляють подібну методологію, публікації на цю тематику становлять досить значний список. Наведемо огляд сучасних досліджень та технік, пов'язаних із створенням тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків. Вони пропонують різні підходи та інструменти для досягнення точних та реалістичних результатів у цій галузі [4, 5, 19, 22, 34, 35].

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Smith, J. (2016). "Advanced Techniques for 3D Modeling of Antique Mechanisms". У цій статті автор представляє різні просунуті техніки та методи створення тривимірних моделей старовинних механізмів на основі креслень та фотографій. Описуються підходи до моделювання складних деталей та механізмів із використанням сучасних програмних інструментів.

Brown, A., & Johnson, M. (2017). "Applying Photogrammetry in 3D Modeling of Vintage Mechanical Devices". У статті досліджується застосування фотограмметрії до створення 3D-моделей старих механізмів. Автори надають докладний опис процесу зйомки фотографій та їх подальшої обробки з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Garcia, R., & Martinez, C. (2018). "Integration of CAD and Reverse Engineering Techniques for Modeling Antique Mechanisms". У цій публікації автори розглядають інтеграцію програмного забезпечення комп'ютерного моделювання (CAD) із методами зворотної інженерії для створення тривимірних моделей старовинних механізмів. Описуються кроки процесу моделювання, включаючи зняття точних розмірів та перетворення даних на 3D-моделі.

Lee, S., & Kim, H. (2019). "Efficient Reconstruction of Old Mechanical Devices Using 3D Scanning Technology". У статті автори досліджують ефективні методи відновлення старих механічних пристроїв з використанням 3D-сканування. Описуються принципи роботи та переваги 3D-сканерів, а також процес обробки отриманих даних для створення точних тривимірних моделей.

Wang, L., & Zhang, G. (2020). "A Comparative Study of Modeling Techniques for Antique Mechanical Devices". У статті автори проводять порівняльний аналіз різних технік моделювання старовинних механізмів. Розглядаються традиційні методи, такі як ручне моделювання, та порівнюються сучасні підходи, засновані на використанні CAD та 3D-сканування. Виділяються переваги та недоліки кожного методу.

					КРМ.КІ.1. 884-03.3.7	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Chen, X., et al. (2021). "Enhancing Accuracy of 3D Models of Old Mechanisms through Data Fusion Techniques". У цій публікації автори досліджують методи підвищення точності тривимірних моделей старих механізмів шляхом суміщення даних із різних джерел. Описуються техніки ф'южнерування даних, такі як поєднання результатів 3D-сканування та фотограмметрії для досягнення більш точних та реалістичних моделей.

Можна також навести деякі наукові конференції, в яких розглядаються питання вивчення старовинних механізмів та створення на їх основі 3D-моделей, в основному вони пов'язані з областями археології, історії науки і техніки, комп'ютерної графіки, віртуальної реконструкції та музейних досліджень [34, 35]:

International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision, and Image Processing (CGVCVIP). Ця конференція охоплює широкий спектр тем у галузі комп'ютерної графіки, включаючи візуалізацію та 3D-моделювання. Серед тем, які торкнулися - віртуальна реконструкція та моделювання історичних механізмів.

International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage (VAST). Конференція VAST зосереджується на використанні віртуальної реальності, комп'ютерної графіки та 3D-моделювання в археології та культурній спадщині. Тут представлені та обговорені роботи зі створення 3D-моделей старовинних механізмів.

Digital Heritage International Congress. Цей конгрес присвячений цифровій спадщині і включає теми, пов'язані зі створенням віртуальних моделей культурних об'єктів, у тому числі старовинних механізмів.

International Conference on 3D Imaging (IC3D). IC3D фокусується на технологіях 3D-зображень, і дослідження в цій галузі торкаються різних аспектів створення 3D-моделей, включаючи старовинні механізми.

Ці конференції надають платформи для обміну ідеями та передачі останніх досягнень у галузі створення 3D-моделей та вивчення старовинних механізмів.

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

В Україні також відомі публікації, які стосуються питань створення 3D-моделей старовинних механізмів:

Книга **"Віртуальне відродження старовинних механізмів" авторства Л.І.Перовой** [26] розглядає процес віртуального моделювання та відродження старовинних механізмів за допомогою комп'ютерних технологій. У книзі досліджується методика створення віртуальних моделей на основі старовинних креслень та літературних джерел. Автор розглядає процес відтворення інженерних конструкцій, механізмів та пристроїв, використовуючи сучасні програмні засоби для комп'ютерного моделювання. Книга також розглядає аспекти візуалізації, анімації та віртуального тестування старовинної техніки. Автор пропонує методи та підходи до точного відтворення та адаптації стародавніх механізмів за допомогою віртуальних технологій з метою збереження культурної спадщини та вивчення історії технічного розвитку.

Публікація **"Створення віртуальних моделей технічних систем" В. М. Литвина и О. В. Кравчука** присвячена створенню віртуальних моделей різних технічних систем. Автори розглядають методи та технології створення тривимірних віртуальних моделей, застосування віртуальних середовищ для тестування та аналізу різних технічних систем, а також можливі галузі застосування таких моделей. Книга є практичним посібником зі створення віртуальних моделей і охоплює різні інженерні методи та технології, що використовуються для цієї мети.

Стаття **"Методика створення віртуальних моделей механізмів і приладів" А. А. Клеменко, Ю. М. Івасенко** [27] присвячена деяким підходам до створення віртуальних моделей механізмів. Вона включає опис інструментів та програмного забезпечення, що використовуються для моделювання, аналізу та оптимізації таких систем. У ній також розглядаються принципи побудови віртуальних моделей, включаючи математичні моделі, алгоритми та техніки симуляції, наведено приклади застосування віртуального моделювання у різних галузях, таких як машинобудування, автоматизація, робототехніка.

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		26

Публікація "*Віртуальне моделювання машинобудівних конструкцій*" *О. М. Мельника та О. В. Хмари* [25] включає такі аспекти, як принципи та методи віртуального моделювання, застосування комп'ютерних програм для моделювання, аналізу та оптимізації машинобудівних конструкцій. Ця книга може бути корисною студентам, викладачам та фахівцям у галузі машинобудування та інженерії.

Зроблений огляд літератури на цю тематику свідчить про існуючий інтерес до використання віртуального моделювання для реконструкції та дослідження старовинного технічного обладнання. Перелічені публікації містять огляд різних методів та підходів до створення віртуальних моделей (включаючи використання комп'ютерної графіки та моделювання фізичних властивостей та динаміки об'єктів), у них наводяться приклади досліджень, які використовують віртуальні моделі старовинного технічного обладнання, а також обговорюються можливі переваги та обмеження цього підходу.

1.3 Сучасні аналоги

В Україні є кілька компаній та фрілансерів, які займаються створенням 3D-моделей за старими кресленнями. Деякі приклади таких організацій:

3D Way. Компанія 3D Way надає послуги зі створення 3D-моделей, включаючи моделювання за старими кресленнями фотографій [29]. Вони мають досвід роботи з різними галузями та можуть допомогти замовникам втілити ідеї у тривимірну модель (рис.1.6., 1.7).



Рис.1.6 – Фотографія залізничного перевізника сипучих вантажів.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		27

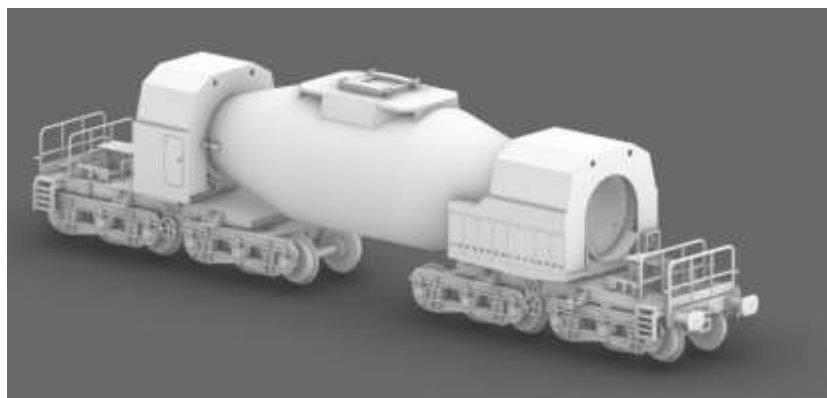


Рис.1.7 – Надрукована 3D-модель перевізника сипучих вантажів з деталями

3D Evolution. Фірма 3D Evolution спеціалізується на створенні високоякісних 3D-моделей для різних галузей, включаючи інженерію та промисловість [30]. Представники фірми можуть працювати зі старими кресленнями та перетворювати їх на реалістичні 3D-моделі.

Платформа **Freelancer.com** – місце, де можна знайти фрілансерів з усього світу, включаючи Україну, які спеціалізуються на створенні 3D-моделей [32]. У ній можна знайти приклади розробки та виготовлення на 3D-принтері копій старовинних механізмів.

Upwork - ще одна популярна платформа для шанувальників 3D-моделювання [33]. Платформа надає консультантів або експертів у галузі старовинного технічного обладнання. Вони зможуть допомогти розробити концепцію та надати рекомендації щодо створення віртуальних моделей. Якщо вже є готові віртуальні моделі, то можна найняти фахівців на Upwork для їхньої рецензії та доопрацювання. Вони зможуть надати зворотний зв'язок та допомогти покращити моделі, зробивши їх більш реалістичними та точними (рис.1.8).

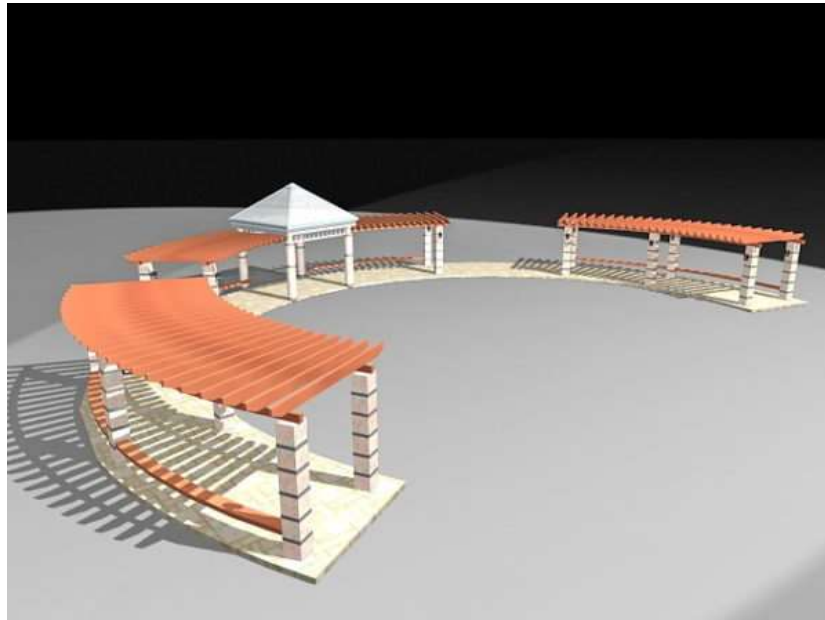


Рис.1.8 - 3D-модель вуличної альтанки

В Україні також існує кілька університетів та ВНЗ, в яких вивчаються питання 3D-моделювання за кресленнями та зображеннями, ось їх неповний перелік [26, 28, 34, 35]:

1. **Національний університет "Києво-Могилянська академія"**: факультет комп'ютерних наук та кібернетики пропонує програми, пов'язані з комп'ютерною графікою та 3D-моделюванням.

2. **Національний університет "Львівська політехніка"**: факультет інформаційних технологій та програмування, а також факультет архітектури, становлять інтерес для обговорення та вивчення 3D-моделювання за кресленнями.

3. **Київський національний університет будівництва та архітектури**: факультет архітектури та графіки займається 3D-моделюванням та реконструкцією за кресленнями.

4. **Харківський державний університет будівництва та архітектури**: факультет архітектури та дизайну, а також факультет комп'ютерних наук та інформаційних технологій, надають можливість вивчення та обговорення 3D-моделювання.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

Існує також безліч організацій по всьому світу, що займаються створенням 3D-моделей старовинних механізмів. Ось кілька прикладів [16, 17, 29, 30, 31]:

CyArk: CyArk - це некомерційна організація, яка спеціалізується на цифровій документації та збереженні культурної спадщини. Вони займаються створенням 3D-моделей та віртуальними турами для історичних місць та пам'ятників.

Digital Archaeology Foundation: Ця організація зосереджена на цифровій археології та створенні віртуальних реконструкцій археологічних знахідок, включаючи старі механізми.

Museum of Applied Arts and Sciences (MAAS): MAAS в Австралії є музеєм, який активно використовує 3D-технології для створення віртуальних моделей старовинних механізмів та інших артефактів.

Smithsonian Digitization Program Office: Smithsonian Institution у США веде програму цифрової документації, включаючи створення 3D-моделей для багатьох експонатів, в які входять старі механізми.

British Museum: Багато музеїв у всьому світі, включаючи British Museum, використовують 3D-моделювання для демонстрації своїх колекцій в онлайн-просторі.

Open Heritage Project (Google Arts & Culture): Google Arts & Culture запусив проект Open Heritage, який включає створення 3D-моделей та віртуальних турів для різних історичних місць.

Sketchfab: Це онлайн-сервіс, де художники, дослідники та інститути можуть публікувати та обмінюватися 3D-моделями. Деякі з них присвячені старовинним механізмам та археологічним знахідкам.

UNESCO: UNESCO підтримує безліч проектів, пов'язаних із цифровою документацією культурної спадщини, включаючи створення 3D-моделей.

Однак при всій численності можливостей створення 3D-моделей за кресленнями та фотографіями ці підходи не стали повсякденними та рутинними. Насамперед це обумовлено високими витратами - створення

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		30

точних 3D-моделей старовинних механізмів потребує значних ресурсів, включаючи час, експертизу та спеціалізоване обладнання [18, 19]. Також має місце обмежена доступність даних - для створення точних моделей втрачених механізмів потрібен доступ до достовірних вхідних даних, таких, як оригінальні креслення або фотографії, однак, у багатьох випадках такі дані можуть бути обмежені або недоступні, оскільки зосереджені в бібліотеках та сховищах. яким немає відкритого вільного доступу. Для друку таких моделей потрібні спеціалізовані 3D-принтери, які не завжди доступні широкій публіці.

Це й обумовлює необхідність розробки доступної технології (придатної навіть для домашнього використання) створення 3D-моделей механізмів за кресленнями та фотографіями для подальшого друку на поширених FDM-принтерах.

1.4 Розробка технічного завдання

Назва проекту: «Покращення технології створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей на основі сучасних засобів прототипування».

Метою даної дипломної роботи є дослідження та розробка методів та підходів до створення тривимірних 3D-моделей механізмів старих зразків на основі наявних креслень та фотографій. Результатом роботи мають стати розроблені підходи, алгоритми та програмне забезпечення, що дозволяють створювати точні та деталізовані 3D-моделі старовинних механізмів.

Задачі проекту:

1. Вивчення існуючих методів створення 3D-моделей за кресленнями та малюнками та аналіз їх застосовності для старовинних механізмів.
2. Розробка нових підходів та методів для створення 3D-моделей старовинних механізмів, що враховують особливості та складності даного типу механізмів.
3. Аналіз існуючого програмного забезпечення, що застосовується для отримання аналогічних моделей та їх покращення.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. Розробка технології використання програмного забезпечення, заснованого на існуючих методах та підходах.

5. Тестування та оцінка точності та деталізації створених 3D-моделей на прикладі кількох старих механізмів.

6. Підготовка документації до використання розроблених методів, застосування сучасного програмного забезпечення та покращення отриманих результатів.

Очікувані результати:

1. Документація, що описує розроблені методи та підходи до створення 3D-моделей старовинних механізмів.

2. Рекомендації щодо використання програмного забезпечення, що дозволяє створювати точні та деталізовані 3D-моделі старовинних механізмів за кресленнями та малюнками.

3. Покрокова технологія створення 3D-моделей, рекомендації щодо їх покращення з майбутнім друком на 3D поширених принтерах технології FDM.

4. Тестування та оцінка точності та деталізації створених 3D-моделей на прикладі кількох старовинних механізмів.

5. Звіт з описом проведених досліджень, розроблених методів, результатів тестування та висновками.

Висновок до першого розділу

1. У розділі показано, що нині 3D-друк став невід'ємною частиною як промислового виробництва так і побутового друку необхідних пластикових виробів.

2. Описується застосування моделювання в різних галузях, включаючи інженерну справу, дизайн та архітектуру, описуються проблеми, що виникають під час створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів минулих років.

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Обґрунтовано збереження старовинних механізмів у вигляді 3D-моделей, показано основні сфери застосування технології створення таких моделей.

4. Наведено кілька прикладів успішної розробки 3D-моделей за старими фотографіями та малюнками, перераховані труднощі, що виникають у процесі створення 3D-моделей механізмів минулого часу.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		33

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТНА ЧАСТИНА / ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Необхідність збереження інформації про механізми переробки харчової продукції у вигляді 3D-моделей

Створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та рисунками механізмів старих зразків у харчовій та переробній промисловості має безперечну цінність та актуальність [3, 8, 10, 23, 24].

Насамперед, старі зразки механізмів можуть мати історичну та культурну цінність. Створення 3D-моделей за кресленнями дозволяє відновити ці механізми та використовувати їх як джерело інформації при реконструкції втрачених виробничих процесів. 3D-моделі таких механізмів дозволяють проводити аналіз та оптимізацію виробничих процесів. З їх допомогою можна виявляти вузькі місця та пропонувати покращення для підвищення ефективності та якості виробництва (рис.2.1, 2.2).



Рис.2.1 – Модель зерносховища для оптимізації місцезнаходження

Також такі моделі можуть використовуватися в освітніх цілях, дозволяти студентам та фахівцям вивчати та аналізувати структуру та принципи роботи

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		34

вже втрачених механізмів, що сприяє підвищенню кваліфікації та розвитку нових знань та навичок (рис.2.2).



Рис.2.2 – Модель броварні для аналізу структури підприємства

Слід зазначити, що 3D-моделі механізмів старих зразків мають високу візуальну привабливість і можуть бути використані для демонстрації та презентації передових технологій та розробок у харчовій та переробній промисловості [4, 21, 27]. Вони дозволяють краще уявити концепції та ідеї, а також полегшують спілкування та розуміння між різними учасниками проекту чи команди (рис.2.3).



Рис.2.3 – Модель вертикальної зерносушарки

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

Наприклад, вивчення столітньої давності креслень зернового млина та побудова на їх основі 3D-моделі може надати нам багато корисної інформації в науковому плані (рис.2.4). По-перше, це може допомогти нам зрозуміти, як будувалися зернові млини в минулому, і які технологічні можливості були доступні на той момент. По-друге, вивчення цих креслень і моделей може допомогти нам краще зрозуміти, які матеріали використовувалися для будівництва млинів, як вони були з'єднані один з одним, і які були основні принципи їх роботи.



Рис.2.4 – Модель вежового млина

Також це дослідження може допомогти нам покращити сучасні технології для проектування та будівництва млинів, враховуючи найкращі методи та матеріали, що використовуються в минулому.

Крім того, вивчення креслень зернового млина та його моделі може надати нам цінну інформацію про соціально-історичний контекст того часу, а також про те, які були економічні необхідності що вимагали будівництва млинів.

У деяких випадках маленька копія може бути об'єктом колекціонування та бути частиною колекції антикваріату (рис.2.5). Також якщо оригінальний пристрій не збережено або не використовується, то маленька копія (надрукована 3D-модель), створена на основі старовинного креслення, може стати цінним ресурсом для додаткових досліджень та розробок у галузі переробки харчової сировини.

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис.2.5 – 3D-модель китайських антикварних дерев'яних меблів

В Одеському національному технологічному університеті збереженню інформації про старовинні механізми та способи виробництва приділяється велика увага. У науково-технічній бібліотеці ОНТУ зберігаються численні книги 20 і 19 століть, в яких зібрані як креслення та фотографії механізмів, що використовувались на той час, так і рецепти, технології, описи способів переробки сільгосппродукції [36] (рис.2.6, 2.7).



Рис.2.6 - Виставка старовинної книги в НТБ ОНТУ

Це дозволяє зберегти знання про традиційні методи та технології, які можуть бути втрачені з часом. Завдяки цьому можна вивчати та розуміти, яким чином харчові продукти оброблялися та вироблялися у минулому [1, 10, 19].

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис.2.7 – Фото збережених книг 19 століття з переробки харчової сировини у сховищі НТБ ОНТУ

Історичні дані про механізми та способи обробки харчової сировини можуть бути основою для подальших досліджень та розвитку в цій галузі, можуть допомогти у розробці нових та покращених методів обробки харчових продуктів (рис.2.8).



Рис.2.8 – Фото старовинних механізмів з переробки зерна із фондів НТБ ОНТУ

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

Збереження інформації про старовинні механізми та способи обробки харчової сировини допомагає накопичувати та передавати культурні традиції та спадщину від одного покоління до іншого.

Як уже зазначалося, збереження такої інформації дуже ефективно проводити у вигляді 3D-моделей, які у цифровій формі містять найбільш характерні риси та особливості механізмів та технологій. Зараз, коли ми маємо доступ до високошвидкісних комп'ютерів та потужних програм для моделювання, створення комп'ютерних моделей старого технічного обладнання стало досить доступним, простим та швидким способом відновлення та збереження історичних даних. Створення 3D-моделей старих механізмів дозволяє показати не лише основні розміри та форми об'єкта, але й унікальні деталі та архітектурний стиль. Адаже при розробці тривимірних моделей можна збільшити масштаб та вивчити найдрібніші деталі об'єкта, створити різні симуляції та образи для аналізу та оптимізації роботи обладнання. Такий підхід дозволяє отримати важливі дані для ремонту, обслуговування, покращення, модернізації чи інших видів впливу на об'єкт. Можливість візуального огляду моделі дає можливість дізнатися більше про різні технології, їх принципи роботи та вплив на сучасне обладнання.

2.2 Огляд програмного забезпечення для створення тривимірних моделей

Програмне забезпечення для створення тривимірних 3D-моделей надає користувачеві можливість втілювати свої творчі та професійні ідеї у віртуальному середовищі. Воно використовується у різних галузях, таких як архітектура, дизайн, ігрова індустрія, інжиніринг та медична візуалізація. Огляд основних програм у цій галузі включає такі популярні інструменти, як Autodesk 3ds Max, Blender, Autodesk AutoCAD, Autodesk Maya, SolidWorks, SketchUp, 3ds Max [4, 16, 17, 24].

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Autodesk 3ds Max. Це потужне програмне забезпечення, призначене для створення високоякісних 3D-моделей, анімації та візуалізації (рис.2.9). Воно широко використовується в ігровій індустрії, віртуальній реальності, архітектурному дизайні та візуальних ефектах у кіно. Користувачі програми можуть створювати докладні 3D-моделі об'єктів, персонажів та навколишнього середовища, використовуючи різні інструменти моделювання, такі як багатокутники, NURBS та сплайни. 3ds Max пропонує потужний механізм рендерингу, який дозволяє користувачам створювати реалістичні зображення та анімацію, включаючи підтримку трасування променів, глобального освітлення та фонового затінення.

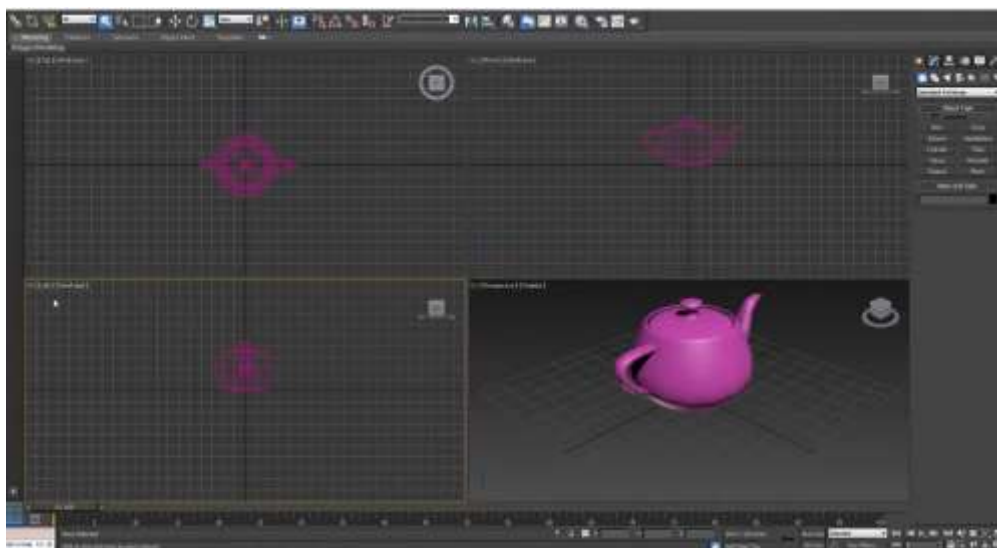


Рис.2.9 – Видгляд основного вікна Autodesk 3ds Max

Autodesk AutoCAD. AutoCAD дозволяє створювати точні та докладні креслення в 2D та 3D з використанням різних геометричних фігур, ліній, дуг і т.д. Програма дозволяє створювати тривимірні моделі об'єктів та споруд за допомогою потужних інструментів моделювання, таких як створення поверхонь, солідів та сіток (рис.2.10). AutoCAD надає широкий набір інструментів для редагування та зміни креслень та моделей, включаючи переміщення, обертання, масштабування, обрізання та інші операції. Програма підтримує роботу з блоками, що дозволяє створювати повторно

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		40

використовувані об'єкти, такі як меблі, символи, електричні схеми та інші елементи, спрощуючи та прискорюючи процес проектування.

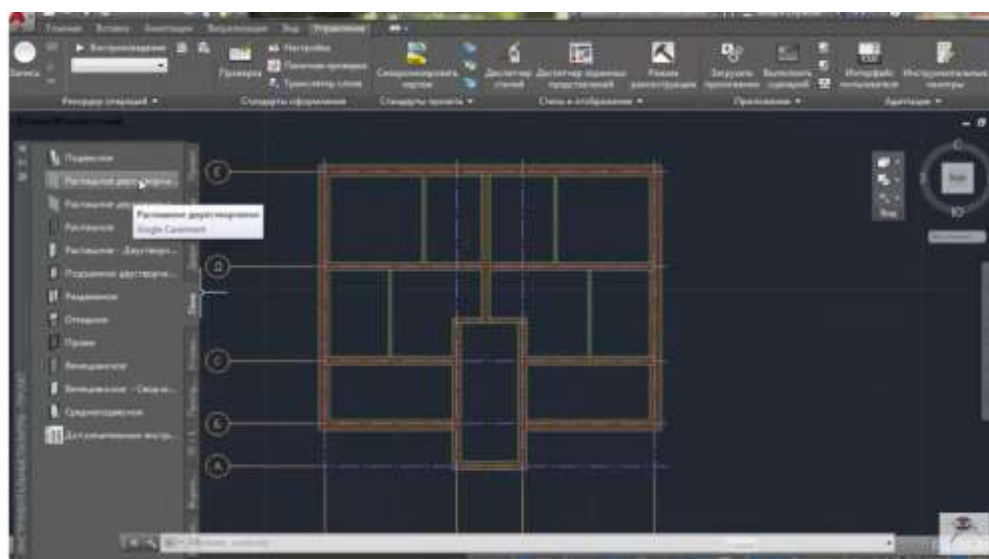


Рис.2.10 – Вигляд вікна програми Autodesk AutoCAD

Програма дозволяє додавати розміри, текстові позначки, масштабні стрічки та інші анотації до креслень, щоб надати додаткову інформацію та ясність.

Blender. Це безкоштовне та відкрите програмне забезпечення з великим набором інструментів для моделювання, анімації, рендерингу та створення ігрових середовищ. Blender також популярний серед художників та любителів 3D-моделювання. Програма пропонує широкий набір інструментів створення 3D-моделей будь-якої складності (рис.2.11). Це включає створення форм, редагування сітки, використання модифікаторів і багато інших можливостей. Blender має можливість створювати складні анімації з використанням ключових кадрів, анімаційних кривих та різних інструментів для управління рухом та динамікою об'єктів.

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		41

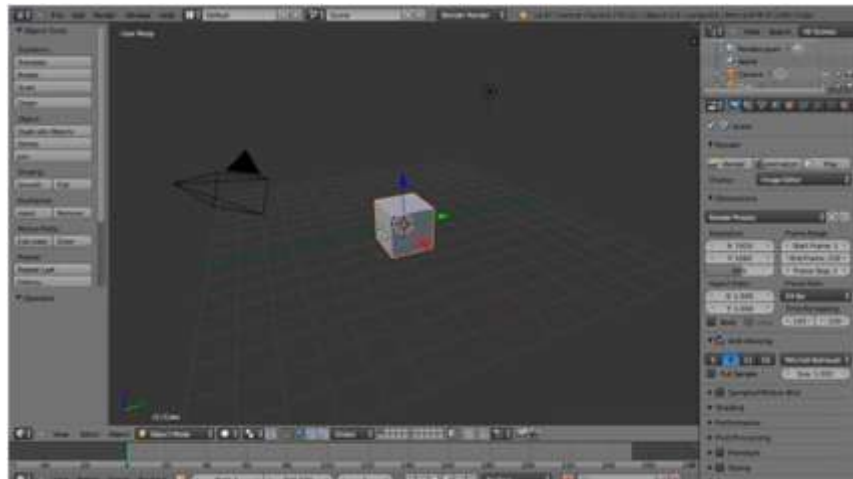


Рис.2.11 – Вигляд основного вікна програми Blender

Програма Blender надає можливості для створення високоякісних візуалізацій та рендерингу, включаючи підтримку різних движків рендерингу, таких як Cycles и Eevee.

Autodesk Maya: Це потужна програма для 3D-моделювання, анімації та візуалізації, яка широко використовується в кіноіндустрії, телевізійному виробництві та ігровій розробці.

SolidWorks: Це спеціалізоване програмне забезпечення для машинобудівного та інженерного 3D-моделювання, що дозволяє створювати детальні та складні моделі для проектування виробів та механізмів. Програма пропонує зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить процес проектування зручнішим та доступнішим для користувачів різного рівня досвіду. Програма SolidWorks має широкий спектр інструментів для створення складних 3D-моделей, включаючи можливість створення поверхонь будь-якої складності, дозволяє кільком користувачам працювати над одним проектом, обмінюватися даними та координувати свою роботу в режимі реального часу.

SketchUp - зручний інструмент для створення тривимірних моделей архітектурних об'єктів. Програма дуже проста у використанні – SketchUp пропонує інтуїтивний та простий у освоєнні інтерфейс, що робить його доступним навіть для новачків у 3D-моделюванні (рис.2.12). Користувачеві пропонується широкий спектр інструментів для створення та редагування моделей, включаючи лінії, поверхні, фігури, текстури та багато іншого.

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

SketchUp має величезну бібліотеку безкоштовних 3D-моделей, які можна використовувати у своїх проектах, що прискорює процес моделювання. За допомогою вбудованого інструменту під назвою "Styles" користувачі можуть швидко та легко змінювати зовнішній вигляд та стиль своїх моделей, додавати тіні, ефекти та інші візуальні налаштування..

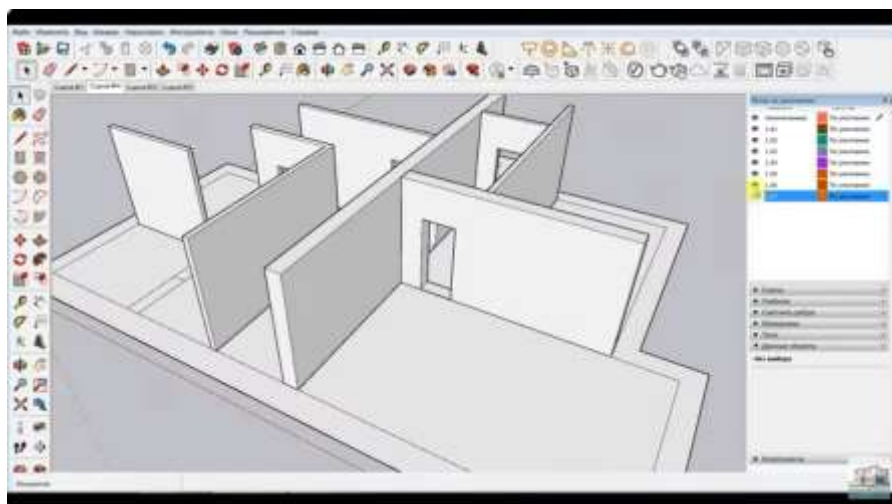


Рис.2.12 – Вигляд основного вікна програми SketchUp

В результаті аналізу перерахованих програм вибір для використання у технології створення 3D-моделей старовинних механізмів упав на Blender. Одним із найважливіших аргументів були безплатність та відкритий вхідний код. Також необхідно враховувати, що Blender пропонує широкий спектр інструментів для моделювання, включаючи можливість створення складних геометричних форм, твердотільного моделювання, модифікатори, скульптинг та багато іншого. Це дозволяє створювати різноманітні 3D-моделі із високим рівнем деталізації. Програма Blender має вбудований рендерер Cycles, який забезпечує високоякісний фотореалістичний рендеринг із підтримкою різних матеріалів, освітлення та відображень. Blender має активну спільноту користувачів та розробників, що означає, що при необхідності завжди є доступ до навчальних ресурсів, уроків, доповнень та можливість отримати допомогу при виникненні питань.

2.3 Програма Blender та технологія виробництва 3D-моделей за кресленнями та рисунками

2.3.1 Використання програми Blender для отримання 3D-моделей

Blender – це потужний та безкоштовний програмний інструмент для створення 3D-моделей, анімації та візуалізації (рис.2.11). Він може бути використаний для розробки 3D-моделей на основі старих креслень таким чином [20, 21, 24]:

1. **Імпорт креслень:** Blender підтримує імпорт різних форматів файлів, таких як SVG, DXF або DWG, які можуть містити 2D креслення. Користувач може імпортувати ці креслення в Blender і використовувати їх як основу для створення тривимірних моделей.

2. **Створення контурів:** Використовуючи інструменти Blender, можна створювати контури вздовж ліній та кривих на імпортованих кресленнях. Це допоможе перенести двомірні креслення у тривимірний простір.

3. **Моделювання об'єктів:** Після створення контурів можна використовувати інструменти моделювання Blender для розробки тривимірних об'єктів, заснованих на імпортованих кресленнях. Тут можна створювати форми, додавати деякі додаткові деталі та регулювати розміри та пропорції об'єктів.

4. **Адаптація моделі:** Під час розробки 3D-моделі в Blender легко вносити зміни та варіації, ґрунтуючись на початкових кресленнях. Програма пропонує безліч інструментів для зміни форми, текстури та матеріалів об'єктів, щоб наблизити модель до оригінальних креслень або внести власні покращення.

5. **Візуалізація та анімація:** Blender дозволяє створювати фотореалістичні візуалізації та анімації розроблених тривимірних моделей. При цьому можна налаштувати освітлення, матеріали, текстури та камери, щоб створити вражаючі візуалізації своїх моделей і, за необхідності, зробити анімацію (рис.2.13, 2.14).

					КРМ.КІ.1. 884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		44



Рис.2.13 – Фото контейнер-цистерни для сипучих вантажів

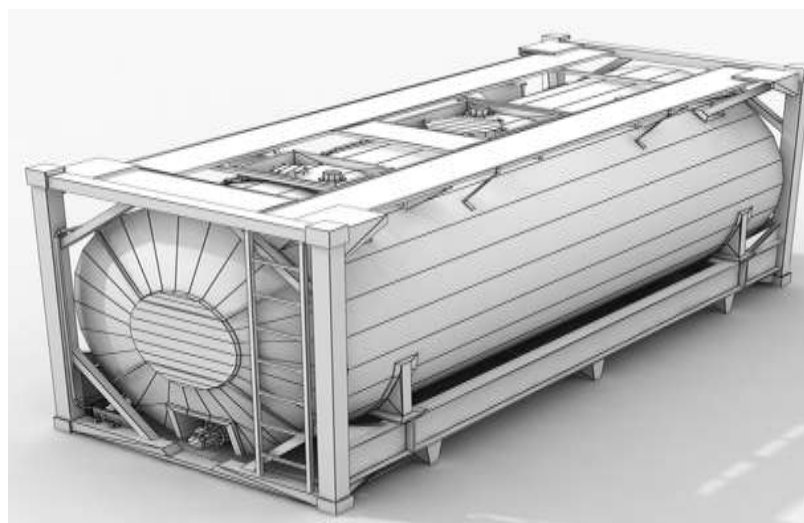


Рис.2.14 – Приклад створення 3D-моделі контейнер-цистерни за допомогою програми Blender

Так як у проекті передбачається подальший друк розробленої 3D-моделі на 3D-принтері за технологією FDM, Blender дозволяє врахувати ці особливості ще при проектуванні такої моделі та надає інструменти для адаптації моделі до особливостей FDM друку, такі як управління підтримками, товщиною стінок, заповненням та іншими аспектами виробництва.

Необхідно враховувати, що FDM принтер має свої обмеження щодо виробництва: шарувата структура та підтримуючі конструкції [1, 2]. Тому застосовується оптимізація моделі, щоб вона була зручна для виробництва, в ній не повинно бути перепадів розмірів, що не підтримуються, і гострі кути, які можуть призвести до проблем при друку. Деякі фрагменти моделі можуть

вимагати використання підтримок для успішного друку, тому необхідно керувати та мінімізувати їх без шкоди якості друку.

Blender дозволяє переконатися, що товщина стінок та деталей відповідає можливостям вибраного FDM принтера. Рекомендована мінімальна товщина стінок для FDM друку становить близько 1-1.2 мм, залежно від налаштувань принтера та матеріалу, що використовується.

Важливо, що отвори в моделі можуть стискатися під час друку, тому варто збільшувати розмір отворів на певний відсоток, щоб після друку вони відповідали заданим розмірам.

Необхідно також враховувати, що різні матеріали для друку мають свої особливості. Наприклад, при друкуванні з використанням ABS-пластику слід брати до уваги потенційне спотворення деталей через теплове усадку матеріалу.

При моделюванні слід враховувати рівномірне заповнення деталі, щоб забезпечити стабільність та міцність після друку, особливо для функціональних деталей.

2.3.2 Технологія створення 3D-моделі старовинного механізму за кресленням або фотографією за допомогою програми Blender

У силу сказаного технологія створення 3D-моделі старовинного механізму за кресленням або фотографії з використанням програми для подальшого друку на FDM принтері виглядає наступним чином:

Імпорт креслення: на цьому етапі можна завантажити креслення у форматі, що підтримується Blender, наприклад, DXF або SVG, за допомогою функції "Import" у програмі. Якщо такого креслення немає, можна спробувати створити його за допомогою сканера з високою роздільною здатністю, щоб отримати чітке і точне сканування фото на папері. Після отримання сканованого зображення креслення імпортуйте його в програму для редагування зображень (наприклад, Adobe Photoshop, GIMP). Далі за

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

допомогою функцій редагування зображень виконується коригування та очищення його від шумів, позначок та дефектів. Після очищення сканованого зображення можна створити векторну версію креслення за допомогою програми для векторної графіки (наприклад, Adobe Illustrator, Inkscape). Використовуючи інструменти трасування, можна перетворити зображення у векторний формат, який можна масштабувати без втрати якості. Після створення векторної версії креслення, легко експортувати його у формат, який сумісний з Blender (наприклад, SVG, DXF).

Створення об'єктів: використовуючи інструменти Blender, необхідно створити об'єкти, ґрунтуючись на кресленні, при цьому потрібно застосовувати основні примітиви, такі як куби, циліндри та площини, щоб втілити форми та розміри, зазначені у кресленні.

Модифікація та деталізація: за допомогою інструментів модифікації Blender, таких як Extrude, Bevel, Boolean і т.д., вносяться необхідні зміни та деталізація моделі відповідно до креслення.

Використання скетчу: якщо креслення містить маркери для орієнтування, можна використовувати їх для створення скетчу в Blender. Можна скористатися інструментом Grease Pencil і намалювати його прямо на екрані, використовуючи накладене креслення як референс.

Текстурування та матеріали: можна застосувати текстури та матеріали до моделі, щоб вона стала візуально привабливішою та відповідала кресленню. У Blender можна створювати та використовувати власні матеріали або імпортувати готові текстури.

Перевірка та доопрацювання: потрібно ретельно розглянути модель у Blender, перевірка її відповідності кресленню, розмірів та пропорцій. У разі потреби потрібно внести необхідні коригування та доопрацювання.

Розбиття на компоненти: якщо модель можна розділити на кілька компонентів, кожен з яких окремо легше надрукувати, ніж усю модель, необхідно зробити цей поділ і надалі друкувати компоненти окремо з наступною склейкою.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Експорт моделі: коли модель готова, можна експортувати її в потрібному форматі (наприклад, OBJ, FBX) для подальшого використання в інших програмах або на 3D-принтері.

Подальша обробка моделі відбувається у програмі слайсингу (наприклад, Cura) для підготовки її до друку на 3D-принтері. Тут передбачається встановлення необхідних параметрів друку відповідно до вимог моделі.

Налаштування принтера: Перед початком друку необхідно налаштувати параметри 3D-принтера, такі як температура сопла, швидкість друку та налаштування підтримки (якщо потрібно). Це дозволяє досягти оптимальних результатів та якості друку.

Друк моделі: після налаштування принтера можна розпочати друк моделі. 3D-принтер створює модель, нашарувавши пластикові шари один за одним, відповідаючи інструкціям з файлу зрізання. Процес друку може зайняти різний час в залежності від розміру та складності моделі.

Постобробка: після завершення друку модель вимагає постобробки. Це може включати видалення підтримки, шліфування поверхні, видалення видимих шарів або додаткову обробку для досягнення бажаного зовнішнього вигляду.

Висновок до другого розділу

1. Обґрунтовано перспективність створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та малюнками механізмів старих зразків у харчовій та переробній промисловості, показано області їх подальшого застосування, описано деякі старовинні книги в НТБ ОНТУ.

2. Зроблено огляд програмного забезпечення, що застосовується для створення тривимірних моделей, показано області їх застосування, обґрунтовано вибір програми Блендер для отримання 3D-моделей за кресленнями та малюнками.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Сформульовано технологію розробки подібних моделей з урахуванням подальшого друку їх на FDM принтері.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		49

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Використання літератури та фото столітньої давності для моделювання обладнання

Як уже зазначалося, створення тривимірних моделей за фотографіями старих механізмів дозволяє більш точно уявити пристрій цього обладнання, провести аналіз, візуалізацію та оптимізацію, а також використовувати їх для подальшого проектування та виробництва. Як вхідну інформацію для експериментів з розробки доступної технології формування та друку 3D-моделей були прийняті книги *The Consolidated Grain Milling (Catalogs 1929-30) National Miller* («Об'єднані каталоги з борошномельного виробництва») [23] (рис.3.1) та *Day bakery machinery Catalog 206* («Каталог обладнання для денних пекарень») (рис.3.2), що знаходяться у фондах НТБ ОНТУ [36].

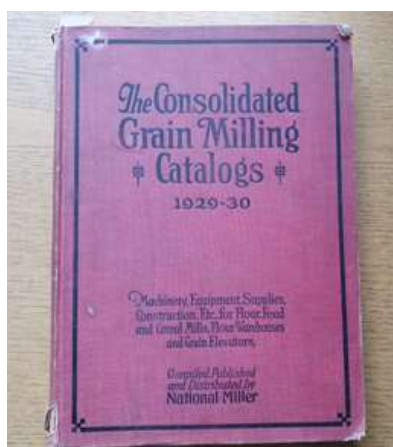


Рис.3.1 – Книга *The Consolidated Grain Milling (Catalogs 1929-30)* із фондів НТБ ОНТУ

Автори досить докладно описали в них класифікований каталог машин, обладнання та витратних матеріалів, а також будівельних та професійних послуг для всіх операторів млинів та ліфтів, що існували у першій третині минулого століття. Причому виклад інформації ілюструється численними фотографіями та кресленнями існуючого тоді устаткування [31].

					<i>KPM.KI. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		50

Цей міксер був створений для цеху з однією або двома печами, потужність якого не дозволяла використовувати більші міксери. Протягом багатьох років він допомагав пекарям виробляти більш білий хліб, більшого об'єму та тоншої текстури, ніж це можливо при використанні міксерів з нижчою швидкістю.

Танк DAY Titan має напівкругле дно з важкої листової сталі, поєднане з важкими чавунними днищами. У задній частині резервуара знаходиться бризковик, який також зіскребає тісто з кришки при нахилі резервуара.



Рис.3.4 – Модель Queen City Grinding Mill (зерновий млин Квін-Сіті)

Цей млин моделі Queen City Grinding Mill дозволяє пекарю перетворювати черствий хліб, крекери та тістечка на прибуток. Він має сім розмірів – два для ручного керування та п'ять для моторного. Такі електричні млини використовувались у великих пекарнях, а ручні млини забезпечували необхідну продуктивність у невеликих пекарнях. Роки експлуатації на багатьох заводах продемонстрували високу якість цих млинів.

Як зазначалося вище, створення 3D-моделей устаткування борошномельного виробництва (зокрема і наведених вище пристроїв) може

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

позитивно вплинути на сучасне виробництво у багатьох аспектах. Аналіз таких моделей старих механізмів для борошномельних та зернопереробних цілей дозволяє ідентифікувати унікальні та ефективні методи та процеси, може допомогти виявити вузькі місця та проблеми. Це також стимулює розробку нових та покращених технологій, які підвищують ефективність та якість виробництва борошна.

Вивчення побудованих тривимірних моделей допоможе у пошуку традиційних, екологічно стійких методів виробництва борошна та переробки зерна. Це важливо у контексті сучасних вимог до сталого розвитку та екологічної відповідальності. Розробка та застосування таких рішень сприяє скороченню негативного впливу на довкілля.

3D-моделі дозволяють зберегти та передати цінні знання та технічні навички, пов'язані з борошномельним та зерновим виробництвом. Це сприяє збереженню культурної спадщини та її популяризації.

3.2 Практичні аспекти створення 3D-моделей по фото

Для створення 3D-моделей старовинних механізмів був вибраний додаток Blender через багато переваг його використання (розділ 2.3). Blender дозволяє робити досить точні моделі, придатні для друку на побутових 3D-принтерах, що працюють за технологією FDM (плавлення пластику на основі сопла, що нагрівається) [2]. Такі принтери дають можливість досягти гарної якості друку, хоча точність деталей може бути обмежена в порівнянні з промисловими пристроями.

Важливу роль у точності друку FDM принтерів відіграють правильне калібрування принтера, відповідні налаштування слайсингу, якість філаменту та встановлення правильної температури його плавлення. Спочатку потрібно нівелювати та налаштувати платформу принтера, щоб отримати рівні шари та точне позиціонування. Важливо вибрати оптимальні налаштування слайсингу в програмі підготовки моделей (наприклад, Cura), тому потрібно звертати увагу

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

на налаштування швидкості друку, товщину шару, периметри, заповнення і т.д. (у більшості випадків це робиться експериментально). Деякі параметри, такі як зниження швидкості друку для маленьких деталей або збільшення роздільної здатності слайсингу, можуть значно покращити точність друку. Температура екструдера і платформи, що підігрівається, повинна бути правильно налаштована відповідно до використовуваного філаменту, що допоможе досягти більш стабільного друку і покращить точність деталей. Потрібно брати до уваги і конструкцію моделі: іноді редизайн самої моделі або додавання опорних елементів може покращити точність друку та запобігти деформації окремих частин. При цьому потрібно уникати великих перепадів висоти шарів, гострих кутів і елементів, що нависають, які можуть бути важкими для друку.

У більшості випадків створення нових моделей з використанням програми Blender ґрунтується на застосуванні основних примітивів, таких як куби, циліндри та площини, щоб втілити форми та розміри, вказані в кресленні або присутні на фото. Спочатку було використано фото зернового млина Queen City Grinding Mill (рис.3.5).



Рис.3.5 – Фото зернового млина моделі Queen City Grinding Mill

У меню Blender вибирається пункт "Add" (Додати) та один з доступних примітивів, таких як куб, сфера, циліндр та інші. Примітиви доступні у розділі "Mesh" (Сітка). Створений примітив можна редагувати, вибравши його та натиснувши клавішу Tab.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

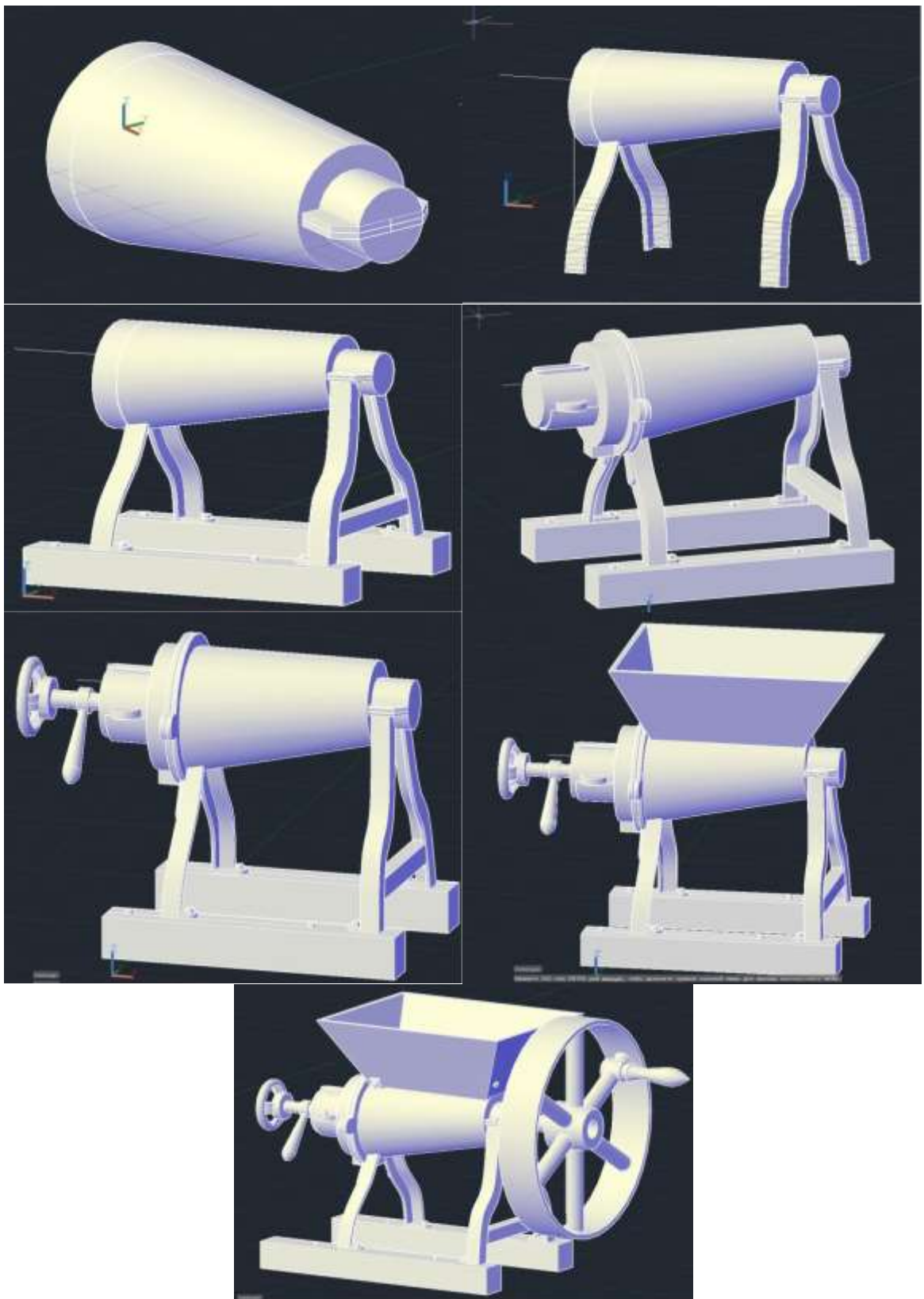


Рис.3.6 – Послідовність створення 3D-моделі зернового млина в Blender за допомогою примітивів

У цьому режимі доступні операції переміщення, масштабування та обертання вершини, ребра та грані примітиву. Для цього використовуються інструменти редагування, такі як Extrude (Висунути), Scale (Масштабування), Rotate (Поворот) та інші, щоб створювати складні форми.

Модифікатори Modifiers дозволяють змінювати форму та геометрію примітивів, їх можна додати, вибравши об'єкт і перейшовши у вкладку Modifiers у властивостях об'єкта. Деякі корисні модифікатори для створення складних моделей включають Subdivision Surface (Підрозділ поверхні), Bevel (Округлення), Boolean (Булева операція) та інші. Можливе також комбінування примітивів, для цього використовуються інструменти об'єднання, такі як "Boolean" (Булева операція), щоб з'єднати різні примітиви в один об'єкт. Для надання примітивам органічніші, наближені до реальності форми, можна використовувати інструменти згладжування та формування, такі як "Proportional Editing" (Пропорційне редагування) та "Sculpt Mode" (Режим скульптури).

При роботі з примітивами в Blender важливо експериментувати, пробувати різні інструменти та модифікатори, щоб досягти бажаного результату. Використовуючи наведені прийоми, можна сформувати фігуру потрібної складності із невеликих частин (рис.3.6).

Це кропітка і повільна робота, але результати цілком якісні. Усі деталі (особливо дрібні) неможливо передати в моделі, але основні функціональні частини є в отриманій об'ємній фігурі. Результат моделювання подано на рис.3.7, 3.8.



Рис.3.7 – Створена у програмі Blender 3D-модель

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		56

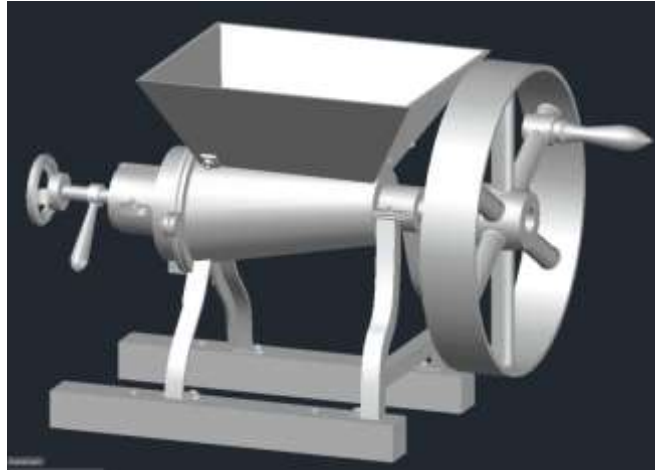


Рис.3.11 – Результат моделювання зернового млина моделі Queen City Grinding Mill

Ті самі побудови проведемо для тістомісу моделі Titan Type Dough Mixer (рис.3.12) з розділу 3.1.

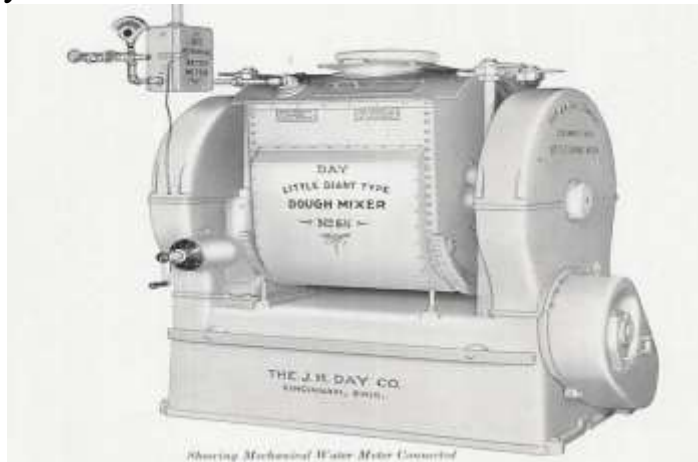


Рис.3.12 – Фото тістомісної моделі Titan Type Dough Mixer

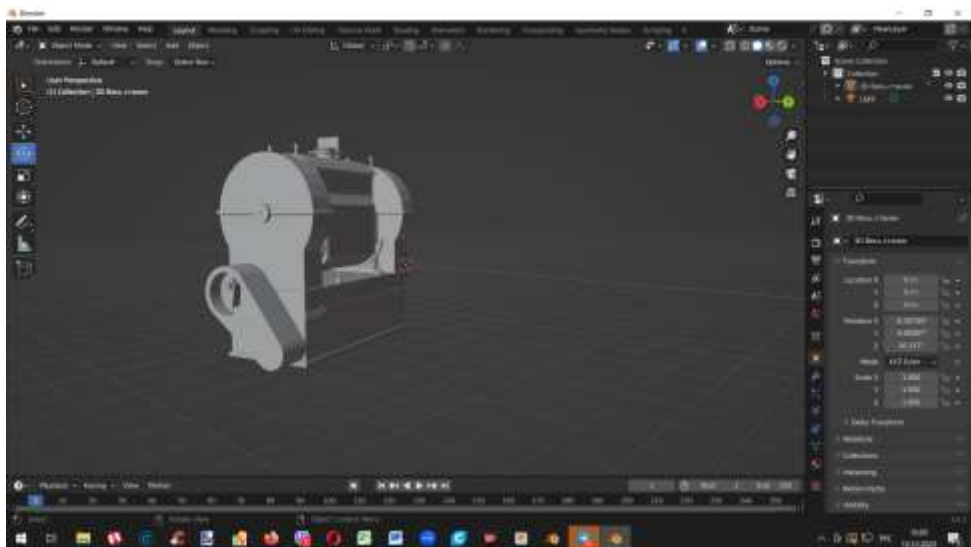


Рис.3.13 – Створення 3D-моделі тістомісу в Blender за допомогою примітивів

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

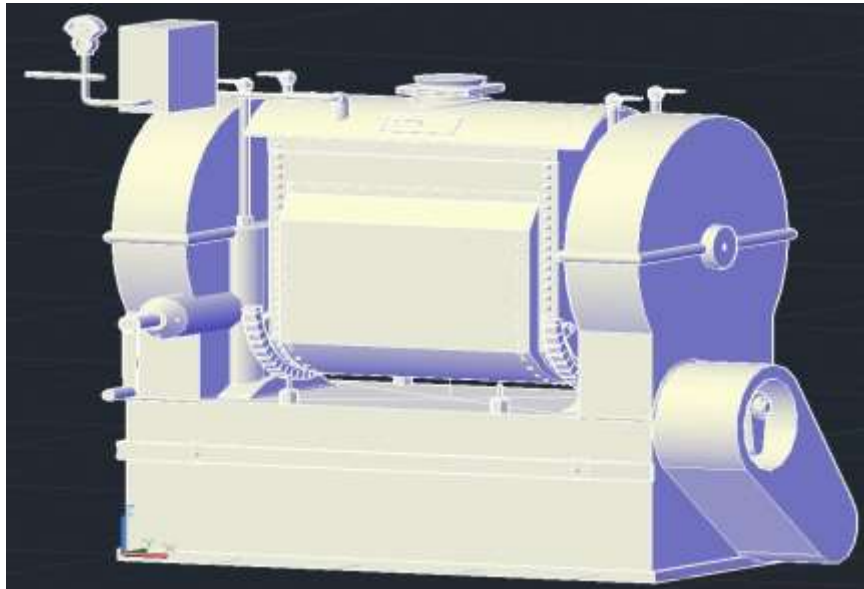


Рис.3.14 – Створена 3D-модель тістоміси Titan Type Dough Mixer

Слід враховувати, що друк на FDM принтері може вимагати підтримки для визначних чи нависаючих частин моделі. При моделюванні слід прагнути мінімізації подібних елементів, а також приділяти особливу увагу підготовці до друку. Необхідно, щоб товщина стінок і деталей відповідала можливостям 3D-принтера. Занадто тонкі стінки можуть вигнутись або бути неміцними, а занадто товсті можуть призвести до деформації або додаткових витрат матеріалу. Якщо модель містить елементи, що виступають або нависають (а розроблена модель саме така), можливо, потрібно додати підтримки. Підтримки допоможуть запобігти прогинам і забезпечити успішне завершення друку, однак вони повинні легко видалятися після друку, щоб не пошкодити модель. Якщо модель занадто велика для друку в одному шматку (або може вийти занадто багато підтримок, що заважають один одному), її можна розділити на кілька частин. Це дозволить знизити ймовірність деформацій та проблем з адгезією.

Великі та складні моделі можуть вимагати багато часу для друку, що підвищує ризик виникнення проблем, таких як деформація, обвисання та дефекти у процесі друку. Розділяючи модель на частини, можна покращити якість друку для кожної окремої частини, оскільки уникають проблеми, пов'язані з великими обсягами та формами. Великі моделі можуть бути більш

						<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			58

3.3 Експерименти щодо покращення друку на 3D-принтері

Для якісного друку пластиком розроблених 3D-моделей необхідно заздалегідь зробити деякі розрахунки та експерименти. Спочатку потрібно вибрати матеріал, з якого складатиметься майбутній виріб [1, 2, 16]. У доступному друку в основному використовують такі пластики, з урахуванням деяких факторів:

1. PLA (полілактид) - це один із найбільш поширених і легко доступних матеріалів для 3D друку. Він екологічно безпечний, має низьку токсичність і хорошу міцність. Підходить для більшості домашніх проектів.

2. ABS (акрилонітрилбутадієнстирол) - це матеріал з більш високою термічною стабільністю та міцністю, ніж PLA. Він підходить для створення функціональних деталей, таких як механічні компоненти або деталі, які піддаються впливу високих температур.

3. PETG (поліетилентерефталат гліколь) - це міцний і гнучкий матеріал, який має хорошу стійкість до ультрафіолетового випромінювання та хімічних речовин. Він підходить для створення функціональних та міцних моделей.

4. TPU (термопластичний поліуретан) – це еластичний матеріал, який підходить для створення гнучких деталей, таких як прокладки, ремені та амортизатори.

5. Nylon (нейлон) - це міцний і гнучкий матеріал, який має гарну стійкість до стирання та високу температурну стабільність. Він підходить для створення функціональних деталей, які потребують високої міцності.

У нашому випадку вибір ліг на PLA з урахуванням його доступності, вартості та міцності.

Для отримання якісного результату потрібно провести кілька пробних печаток пластиком, з аналізом результатів та зміною деяких параметрів [2]. Друк складних моделей може вимагати певних параметрів принтера, таких як температура сопла, швидкість друку, наявність підтримки та інші параметри. Експериментування з різними значеннями цих параметрів дозволить визначити

					КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

оптимальні параметри для конкретної моделі. Такі моделі можуть мати особливості, які можуть викликати проблеми під час друку, такі як деформація, відшарування, пропуски шарів і т. д. Проведення кількох експериментів дозволить виявити проблемні області та вжити заходів для їх усунення, наприклад, змінити орієнтацію моделі, додати підтримку або внести зміни дизайну. Повторні друки допоможуть оцінити якість отриманих моделей та виявити можливі недоліки. Це дозволить внести коригування в модель або процес друку, щоб досягти необхідної якості та деталізації. Для коректного друку на 3D-принтері (використовувався Anycubic Kossel) спочатку потрібно створити спеціальний G-Code, що є послідовністю інструкцій для пересування екструдера принтера і видавлювання пластику в певні проміжки часу. G-Code – це стандартна мова, яка використовується багатьма 3D-принтерами для керування процесом друку. Для отримання такого сигналу, що управляє, застосовується спеціальна програма, звана слайсером. У цій роботі використовувався слайсер CURA як найбільш поширений і досить простий інструмент керування 3D-принтером. Як і в будь-якій поширеній програмі, в CURA є деякі стандартні установки, застосування їх непідготовленим користувачем дає можливість відразу приступити до пробного друку. Для принтера Anycubic Kossel та пластику PLA ці установки такі:

- температура сопла в діапазоні від 220 ° C;
- температура столу – 60°C;
- швидкість друку – 50 мм/с;
- діаметр філаменту – 1.75 мм;
- розмір сопла (діаметр) – 0.4 мм;
- висота шару – 0.2мм;
- щільність заповнення –30%;
- охолодження – включено;
- підтримка – за потребою;
- швидкість руху – 100 мм/с.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Створення G-Code з цими установками та пробний друк на принтері Anycubic Kossel привели до результатів, зображених на рис.3.16.

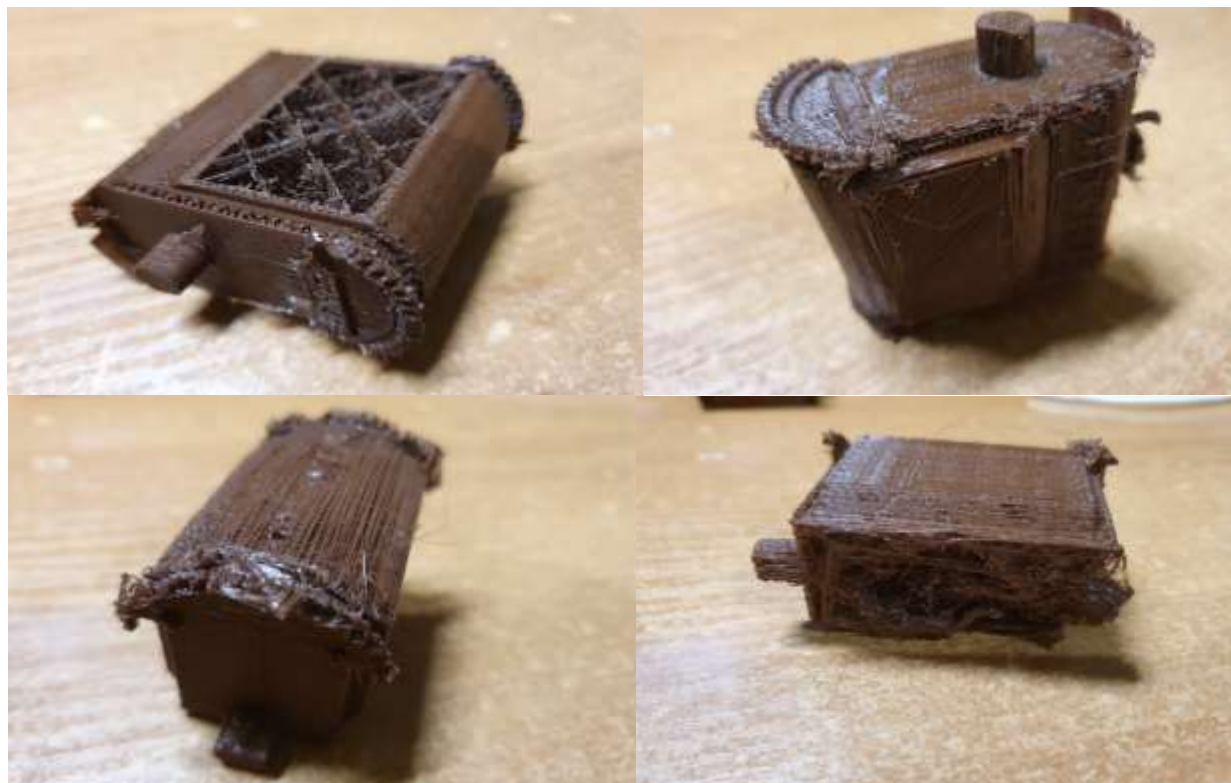


Рис.3.16 – Невдалі спроби друку частин тістомісу по 3D-моделі

Аналіз невдалих спроб друку спричинив зміну налаштувань слайсера CURA (рис.3.17), насамперед було встановлено відповідні підтримки. Зміни, пов'язані з покращенням підтримки та їх розподілом, можуть допомогти уникнути дефектів на високих елементах та покращити загальну якість друку, особливо для більш складних моделей.

Були також змінені швидкість пересування екструдера, висота шару та температура сопла, відсотки заповнення внутрішньої структури деталі. Також було перевірено калібрування 3D-принтера, включаючи рівень столу, правильне вирівнювання осей і налаштовано заново точність позиціонування, щоб забезпечити точний та однорідний друк. Вибрано також інший матеріал (лак) для забезпечення гарного зчеплення пластику з платформою.

зменшеної моделі дозволяє знизити витрати та ризики перед печаткою більшої деталі, особливо під час друку комплексних та складних об'єктів, а також налагодити установки слайсера.

3.4 Друк моделей на 3D-принтері за технологією FDM

FDM (Fused Deposition Modeling) 3D-принтери використовують пластиковий філамент, який нагрівається та відкладається шарами для створення 3D-моделей. Принтер створює пластиковий виріб, поділяючи його на тонкі горизонтальні шари, що іноді призводить до видимих шарів та текстури на поверхні моделі (чого слід уникати). Філамент може стискатися та деформуватися при охолодженні, особливо при великих друкованих об'ємах, що також може призвести до деякого викривлення геометрії моделі. Для друку складних об'ємних моделей (до яких відносяться створені в розділі 3.2 3D-моделі обладнання) потрібно більш тривалий час друку та ретельне налаштування параметрів, таких як швидкість друку, температура та налаштування подачі філаменту, щоб досягти найкращої якості друку. Оптимальні параметри друку було знайдено у розділі 3.3 після серії експериментальних печаток. Для прикладу на рис.3.19 показаний процес друку частини моделі тістомісильної машини (рама та основа).

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рис.3.19 – Послідовність друку рами та основи моделі тістомісу

Результат друку частин моделі тістомісу та модель у зборі показані на рис.3.20, 3.21.



Рис.3.20 – Надруковані частини моделі тістомісу

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		65



Рис.3.21 – Модель тістомісу в зборі

Результат застосування розробленої технології об'ємного моделювання старовинних механізмів – тривимірна пластикова фігурка, що відповідає начальному фото тесту Titan Type Dough Mixer (розділ 3.1, рис.3.12) та його моделі – рис.3.14.

Висновок до третього розділу

1. Показано можливість використання старої літератури столітньої давності для відбору фото та креслень для створення якісних 3D-моделей обладнання харчової та переробної промисловості, для подальшої обробки вибрано фото тістомісу Titan Type Dough Mixer та зернового млина Queen City Grinding Mill.
2. Описано труднощі точного відтворення вибраних виробів при створенні їх об'ємних моделей та друку на 3D-принтері, наведено докладну схему створення 3D-моделей у додатку Blender за допомогою примітивів та додаткових інструментів.
3. Показано етапи практичної реалізації запропонованої технології створення 3D-моделей на прикладі обраного обладнання, обґрунтовано необхідність поділу складної моделі на частини та друкування її в такому вигляді.
4. Обґрунтовано вибір пластику PLA для моделювання та необхідність експериментів з кількома спробами друку для отримання якісного результату.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5. Також показано схему зміни налаштувань слайсера CURA за результатами експериментів, детально описаний алгоритм друку моделей на 3D-принтері за технологією FDM. Весь виклад супроводжується докладними фотографіями та малюнками.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>67</i>

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЕКТУ

4.1 Організаційно-економічне і маркетингове обґрунтування проекту

Порівняльний техніко-економічний аналіз

У наші дні тривимірні моделі широко використовуються в різних галузях, включаючи інженерну справу, дизайн та архітектуру. Одним із цікавих та складних аспектів створення тривимірних моделей є відтворення механізмів старих зразків на основі креслень та фотографій. Це відкриває нові можливості для інженерів та дизайнерів, дозволяючи їм максимально точно візуалізувати та перевірити свої ідеї перед фізичним виробництвом. За допомогою вдосконалених технологій створення 3D-моделей можна скоротити час розробки та покращити якість кінцевого продукту. Прототипування в 3D також сприяє найбільш швидкій та ефективній передачі концепції клієнтам та зацікавленим сторонам [4, 10, 21, 22].

Однак розробка таких 3D моделей нашоюхується на певні труднощі, подолання яких і присвячена дана кваліфікаційна робота «Поліпшення технології створення об'ємних комп'ютерних моделей за допомогою сучасних засобів прототипування». У ній розглядається один із аспектів удосконалення такої технології у вигляді особливостей створення тривимірних 3D-моделей з використанням креслень, фотографій та рисунків механізмів старих зразків, що потребує адаптації та розвитку сучасних засобів прототипування. Результатом цього дослідження стала розробка нових методів та модифікація існуючих, що дозволяють більш ефективно створювати тривимірні 3D-моделі з використанням креслень та фотографій механізмів старих зразків.

Створення комп'ютерних моделей технічного обладнання старих зразків – один із методів відновлення та збереження історичної спадщини [19]. Технології та обладнання, які використовувалися в минулому в різних галузях промисловості, можуть представляти великий інтерес для дослідників,

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

науковців та студентів. У наші дні, коли ми маємо доступ до високошвидкісних комп'ютерів та потужних програм для моделювання, створення комп'ютерних моделей технічного обладнання старих зразків стало доступним, простим та швидким способом відновлення та збереження історичних даних.

Робота спрямована на розробку методів та алгоритмів, що дозволяють точно та ефективно відтворювати конструкції механізмів у вигляді 3D-моделей на основі наявних креслень, фотографій та даних.

Організаційне обґрунтування проекту

Класифікаційна оцінка проекту:

клас: монопроект;

тип: змішаний;

вид: комбінований;

тривалість: короткостроковий;

за ступенем складності: проект середньої складності;

рівень: галузевий.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та покращення технології створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків на основі сучасних засобів прототипування.

Об'єктом дослідження є процес створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей механізмів старих зразків, які мають історичну, культурну, наукову та інженерну цінність.

Предметом дослідження є методи та алгоритми створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків. Результати – методика створення віртуальної об'ємної моделі за допомогою фотографій та друк на її основі пластикової копії реального об'єкта на 3D принтері.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Етапи виконання розділів кваліфікаційної роботи:

- постановка технічного завдання: В цьому розділі представлені: проведення дослідження що до технологій створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків – 14 днів;
- розробка ескізного та робочого проекту: Обґрунтовано перспективність створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та малюнками механізмів старих зразків у харчовій та переробній промисловості, показано області їх подальшого застосування, описано деякі старовинні книги в НТБ ОНТУ. Зроблено огляд програмного забезпечення, що застосовується для створення тривимірних моделей, показано області їх застосування, обґрунтовано вибір програми Блендер для отримання 3D-моделей за кресленнями та малюнкам. – 53-59 днів;
- техніко-економічна частина: проведення розрахунків собівартості даного програмного продукту. Орієнтовний термін виконання – 14-20 днів;

У кваліфікаційні роботі представлений наступний склад робіт:

- технічне завдання. Термін виконання – 12-14 днів;
- розробка ескізного проекту. Термін виконання – 23-26 днів;
- розробка робочого проекту. Термін виконання – 30-33 днів;
- впровадження проекту. Термін виконання – 14-20 днів.

Побудова структури проекту

За структуру розроблювального проекту прийнята структура, орієнтована на результати проекту [10, 37]. Така структура заснована на побудові мережного графіка. Мережний графік – це графічне зображення мережевої моделі комплексу взаємопов'язаних робіт, спрямованих на досягнення певної заздалегідь наміченої мети.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Життєвий цикл проекту

Фаза концепції проекту:

- збір даних і аналіз існуючого положення;
- встановлення потреби в результатах;
- затвердження концепцій.

Таблиця 4.1

Склад робіт по життєвому циклу проекту

№ код роботи	Назва роботи	T (дні)
1-2	Збір даних і аналіз існуючих положення	15
2-3	Встановлення потреби в результатах	14
2-4	Затвердження концепцій	3
3-5	Встановлення необхідних ділових контактів та вивчення цілей, мотивів та вимог замовника та власника	21
4-5	Розвиток концепцій, планування предметної області та інших елементів проекту	8
5-6	Розробка та затвердження зведеного плану	7
5-7	Організація виконання робіт	12
6-8	Інформаційний контроль за виконанням робіт	8
7-9	Детальне моделювання	20
7-8	Керівництво і координація робіт, регулювання основних показників проекту	26
8-9	Підтвердження закінчення робіт	3
9-10	Експлуатаційні випробування остаточного продукту проекту	18
10-12	Підготовка звітів	7
11-12	Підготовка кадрів для експлуатації системи	4
12-13	Оцінка результатів проекту та підбиття підсумків	3
13-14	Підготовка підсумкових документів та закриття проекту	5

Фаза розробки:

- встановлення необхідних ділових контактів та вивчення цілей, мотивів та вимог;
- розвиток концепцій, планування предметної області та інших елементів проекту;
- розробка зведеного плану.

Фаза реалізації:

- організація виконання робіт;
- детальне моделювання;
- інформаційний контроль за виконанням робіт;
- керівництво і координація робіт, регулювання основних показників проекту;
- підтвердження закінчення робіт.

Фаза завершення:

- експлуатаційні випробування остаточного продукту проекту;
- підготовка звітів;
- оцінка результатів проекту та підбиття підсумків;
- підготовка підсумкових документів та закриття проекту.

За складом перерахованих робіт складений мережний графік:

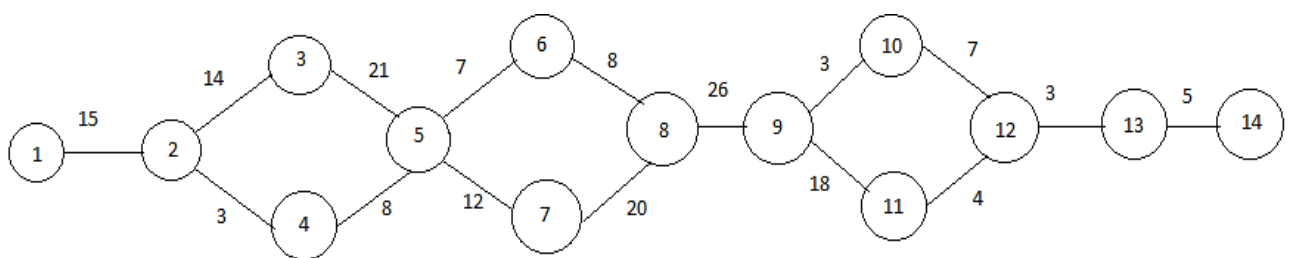


Рис.4.1 - Мережний графік виконання робіт

Розрахунок параметрів мережевого графіку:

- ранній строк здійснення роботи, T_i ;
- тривалість роботи, T_{ij} ;
- ранній строк здійснення події, T_i ;
- раннє закінчення робіт, T_{po}

- пізній строк здійснення події, T_j ;
- пізнє закінчення робіт, $T_{по}$
- повний резерв часу роботи, R_j ;
- вільний резерв часу роботи, R_c

Таблиця 4.2

Розрахунок параметрів мережного графіка

Попередня робота	Фактична робота	T_{ij}	$T_{рн}$	$T_{ро}$	$T_{пн}$	$T_{по}$	R_c	R_n	R_j
1	2	15	0	15	0	15	0	0	0
2	3	15	14	29	15	29	0	0	0
3	4	5	17	18	15	17	24	24	24
4	5	25	35	50	29	49	0	0	0
4	5	9	30	26	18	25	24	24	24
5	6	10	54	57	50	60	17	17	17
5	6	12	55	62	50	61	0	0	0
6	7	9	61	65	57	63	17	17	17
7	8	19	62	82	62	80	0	1	0
8	9	25	84	108	92	104	0	0	0
9	10	3	110	111	108	105	12	12	12
10	11	19	111	126	110	124	0	0	0
10	11	5	111	118	111	115	12	12	12
11	12	3	130	130	130	128	0	0	0
12	13	4	130	133	130	130	0	0	0
12	13	5	133	140	133	140	0	0	0

Тривалість критичного шляху 140 днів, не перевищує часу на проектування (140 днів), тому оптимізувати мережеву модель немає необхідності.

Склад учасників проекту

В умовах даного проекту склад учасників буде наступним:

- ініціатор (автор ідеї проекту);
- замовник-інвестор (майбутній власник);
- керівник проекту;
- команда проекту – програміст;
- споживач (тому що проект створюється в тісному співробітництві з побажаннями споживача).

Маркетингове обґрунтування проекту

Завершальним етапом обґрунтування доцільності розробки методики технології створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків на основі сучасних засобів прототипування є розробка рекомендацій щодо застосування програм широкого використання для підготовки віртуальних об'ємних об'єктів, а також їх друк на 3D принтері.

Об'єктом роботи в цьому випадку є організації по використанню 3D-принтерів.

Область застосування розробки – друк об'ємних фігур із пластику за навчальним прототипом (зазвичай це промислова деталь).

Потенційні споживачі - користувачі 3D-принтерів.

Очікувані конкурентні переваги - значне зменшення зусиль інженерів із створення віртуальних моделей реальних прототипів, зменшення витрат на зарплати працівників, зменшення витрати пластику, зменшення термінів виготовлення моделей.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4.2 Економічні розрахунки проекту

Визначення трудомісткості друку об'ємних фігур з пластика.

Тривалість розробки методики друку залежить від обсягу моделі, трудомісткості її розробки, кваліфікації кадрів, а також планових термінів, що диктуються умовами ринку. У якості вихідних даних для визначення трудомісткості розробки моделі визначається обсяг програмних засобів в умовних командах програми-аналога. Вибравши аналог програмного засобу, що містить V_0 в умовних машинних командах. У даному проекті друку фігур відповідає аналог програма MeshMixer від Autodesk с $V_0 = 3000$ умовних машинних команд із трудомісткістю $T_p = 262$ чол/год.

Трудомісткість розробки моделі повинна включати розробку наступних етапів:

- технічного завдання – ТЗ;
- технічного проекту – ТП;
- робочого проекту – РП;
- впровадження – ВП.

Трудомісткість розроблювальної моделі визначається на кожному етапу окремо на підставі трудомісткості аналога з урахуванням складності розробки, ступеня новизни і ступеня використання в розробці стандартних модулів на підставі формул:

$$T_{ТЗ} = T_p * L_1 * K_H$$

$$T_{ТП} = T_p * L_2 * K_H$$

$$T_{РП} = T_p * L_3 * K_H * K_T$$

$$T_{ВП} = T_p * L_4 * K_H$$

T_p – укрупнення норма часу на розробку аналога, чол/год, що коректується поправочним коефіцієнтом, що враховує умови розробки моделі, тобто в умовах комп'ютера, $K_H=0,8$. У даному проекті $T_p=262*0,8=183$ чол/год

L_j - питома вага і-го етапу розробки. У даному проекті залежно від ступеня новизни проекту (В): $L_1= 0,13$; $L_2= 0,13$; $L_3= 0,62$; $L_4= 0,17$.

					<i>KPM.KI.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

K_H - поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь новизни, у нашому випадку $(B)K_H = 0,8$.

K_T - поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь використання в розробці типових програм, $K_T = 0,8$.

При розрахунках прийняті наступні об'єми розробленої документації по етапах проекту:

$N_{ТЗ} = 10$ - кількість сторінок технічного завдання;

$N_{ТП} = 50$ - кількість сторінок технічного проекту;

$N_{рп} = 70$ - кількість сторінок робочого проекту;

$N_{інстр} = 20$ - кількість сторінок інструкції по налагодженню та впровадженню;

$N_{пр} = 100$ - кількість сторінок пояснювальної записки.

Розрахунок трудомісткості розробки моделі:

1. Технічне завдання

$$T_{ТЗ} = T_p * L_1 * K_H = 183 * 0,13 * 0,8 = 15,48$$

$$T_{КК} = 0,8 * N_{ТЗ} = 0,15 * 11 = 1,6$$

2. Розробка технічного проекту (алгоритму й блок-схеми)

$$T_{ТЗ} = T_p * L_1 * K_H = 183 * 0,11 * 0,8 = 14,39$$

$$T_{КК} = 0,8 * N_{ТП} = 0,8 * N_{ТП} = 0,8 * 50 = 45$$

$$T_{НК} = 0,16 * N_{ТП} = 0,16 * 50 = 8,5$$

3. Розробка робочого процесу

$$T_{ТЗ} = T_p * L_3 * K_H * K_T = 183 * 0,61 * 0,8 * 0,6 = 46,88$$

$$T_{КК} = 0,8 * N_{рп} = 0,8 * 70 = 49,6$$

$$T_{НК} = 0,15 * N_{рп} = 0,15 * 70 = 11,5$$

4. Налаштування і впровадження

$$T_{ТЗ} = T_p * L_4 * K_H = 183 * 0,16 * 0,8 = 20,5$$

$$T_{КК} = 0,8 * N_{інстр} = 0,8 * 20 = 14$$

$$T_{НК} = 0,15 * N_{інстр} = 0,15 * 20 = 3$$

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$P_p = C * P_n / 100,$$

де:

P_n – норматив рентабельності, % $P_n = 25\%$;

C_m – матеріальні витрати.

Таблиця 4.3

Витрати на матеріали

Найменування матеріалів	Кошторисна собівартість грн/од	Кількість	Сума, грн.
Папір	60	1	60,0
Ручки	5	2	10
Пластик	200	1	200
Разом			270 грн

Витрати пов'язані з використанням Internet:

$$C_{Int} = t * Ц / Д, \text{ де}$$

t – час використання Internet (у нашому випадку $t = 80,5$)

$Ц$ – ціна місяця роботи Internet ($Ц=200$)

$Д$ – днів в місяці ($Д=30$)

$$C_{Int} = 80,5 * 200 / 30 = 525 \text{ грн}$$

Основна заробітна плата виконавця з урахуванням окладу і часу

$$C_{zo} = \sum Z_i * K_0 * \tau_i / D_p$$

Z_i – середньомісячний оклад

D_p – середня кількість робочих днів ($D_p = 22$)

τ_i - трудомісткість робіт ($\tau_i=80,5$)

K_0 – коефіцієнт обліку окладу керівників і консультантів проекту ($K_0 = 0,1$)

Основна заробітна плата:

$$C_{zo} = 6500/22 * 80,5 * 0,9 + (12000*78*0,1)/22 = 25 \text{ 660грн.}$$

					<i>KPM.KI. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		78

Додаткова заробітна плата:

$$C_{зд} = C_{зо} * K_{д}$$

$K_{д}$ – коефіцієнт відрахувань на заробітну плату ($K_{д} = 0,1$)

$$C_{зд} = 25660 * 0,1 = 2566 \text{ грн}$$

Відрахування на соціальне страхування

$$C_{сс} = K_{сс} * (C_{зо} + C_{зд})$$

$K_{сс}$ – коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування ($K_{сс} = 22\%$)

$$C_{сс} = 0,22 * (25660 + 2566) = 6209 \text{ грн}$$

Накладні витрати

Накладні витрати визначають у відсотковому співвідношенні до основної заробітної плати, тобто

$$C_{н} = K_{н} * C_{зо}$$

$K_{н}$ – коефіцієнт накладних витрат ($K_{н} = 30\%$)

$$C_{н} = 25660 * 0,3 = 7698 \text{ грн}$$

Таблиця 4.4

Кошторисна вартість продукту

Найменування матеріалів	Кошторисна собівартість, грн.	Питома вага %
Матеріали	270	1
Спеціальне устаткування	525	2
Основна заробітна платня	25660	38
Додаткова заробітна платня	2566	4
Відрахування на соціальне страхування	6209	15
Накладні витрати	7698	11
Виробнича собівартість	18895	71
Загальновиробничі витрати	7812	29
Усього (повна собівартість)	26676	100

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		79

Нормативний прибуток:

$$П_p = (26676 - 210) \times 0,25 = 6616 \text{ грн}$$

Ціна інформаційної системи складе:

$$Ц = 1,1 \times 26676 + 5859 = 35202 \text{ грн.}$$

4.3 Визначення капітальних витрат

Розрахунок капітальних витрат, пов'язаних з впровадженням (вдосконаленням) методики друку моделі складе:

$$K_2 = K_{\Pi} + K_{\text{ко}} + K_{\text{во}} + K_c$$

$K_{\Pi} = Ц$ - довиробничі витрати;

$K_{\text{ко}} = 3200$ - вартість комп'ютерного устаткування;

$K_{\text{во}} = 320$ - вартість допоміжного устаткування;

$K_c = 2800$ - вартість будівництва у зв'язку із впровадженням ІС;

$$K_2 = 35202 + 3200 + 320 + 2800 = 41522 \text{ грн}$$

Розрахунок поточних (експлуатаційних) витрат

$$C = C_{\text{опл}} + C_a + C_{\text{ел}} + C_{\Pi} + C_p + C_{\text{всп}}$$

$C_{\text{опл}}$ - річний фонд основної і додаткової оплати праці персоналу;

C_a - сума річних амортизаційних відрахувань від вартості основного і допоміжного устаткування;

$C_{\text{ел}}$ - вартість витрат на енергію за рік;

C_p - вартість річного ремонту ($6\% K_{\text{ко}} = 178$ грн);

$C_{\text{всп}}$ - річна вартість допоміжних матеріалів, пов'язаних з експлуатацією ІС ($2\% K_{\text{ко}} = 60$ грн);

C_{Π} - вартість утримання приміщень ($C_{\Pi} = 8000$ грн)

Річний фонд заробітної плати до и після:

$$З_{\text{осн}} = 12000 \times 12 = 144000 \text{ грн}$$

Фонд додаткової заробітної плати:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} * K_{\text{доп}}$$

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2) Витрата матеріалу і сировини для приготування однієї одиниці продукції
 Припустимо що приготування умовного виробу займало 40 хв., А після
 впровадження проекту - 32 хв. (На 20% мен.)

Кількість виробів до впровадження проекту 3168. Тоді після впровадження
 $3168 * 1,25 = 3960$ шт./рік.

Розрахунок показників економічної ефективності проекту.

$$\mathcal{E}_o = \mathcal{E}_r - E_n * K_n$$

\mathcal{E}_r – річна економія на поточних витратах;

K_n – одноразові витрати на проект ($K_n = 35202$ грн);

E_n – нормативний коефіцієнт ($E_n = 0,25$) $\mathcal{E}_r = (C/V1 - C/V2) * V2$

V1- Кількість виробів до впровадження проекту (V1= 3168)

V2- Кількість виробів після впровадження проекту (V2= 3960)

$$\mathcal{E}_r = (206174/3168 - 206174/3960) * 3960 = 51543 \text{ грн}$$

$$\mathcal{E}_o = 51543 - 0,25 * 41522 = 41162 \text{ грн}$$

Коефіцієнт ефективності одноразових витрат:

$$E = \mathcal{E}_r / K_n$$

$$E = 51543 / 41522 = 1,24$$

1,24 > 0,25 проект ефективний

Строк окупності одноразових витрат проекту:

$$T = 1 / E = 1 / 1,24 = 0,81 \text{ року}$$

$$T = 9,72 \text{ місяця}$$

Таблиця 4.5

Техніко-економічні показники

Показники	Значення показника
Термін розробки проекту, дні	80,5
Об'єм виробництва, шт./рік -до впровадження проекту -після впровадження проекту	3168
	3960
Ціна проекту, грн.	35202

Капітальні витрати, грн.	41522
Поточні витрати, грн./рік	206174
Строк окупності, міс.	9,72
Економічна ефективність	1,24

Висновки до четвертого розділу

Виконавши економічні розрахунки, можна зробити висновок про те, що впровадження розробленої технології створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків є досить вигідним, про що свідчить коефіцієнт економічної ефективності 1,24 та строк його окупності 9,72 міс.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Небезпечні фактори, що існують на робочих місцях, це ті, які становлять загрозу для життя чи здоров'я людини. Прикладом небезпечного фактору є змінний електричний струм напруги 220 В. Комп'ютер, як і будь-який електричний прилад, особливо при його неправильному підключенні, може бути джерелом ураження користувача ПК електричним струмом [38].

Шкідливі фактори, що існують на робочих місцях, це ті фактори які здатні викликати професійні захворювання, або взагалі недуги. Шкідливими факторами при роботі з персональним комп'ютером є неіонізуюче випромінювання промислової частоти, збільшене нервово-емоційне навантаження на оператора, збільшення навантаження на органи зору та дрібні стереостатичні рухи кінцівок [38].

До шкідливих виробничих факторів відносяться:

- наявність шуму та вібрації;
- м'яке рентгенівське випромінювання;
- електромагнітне випромінювання;
- ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання;
- електростатичне поле між екраном і оператором;
- відсутність або недолік природного світла
- пряма та відбита блискіть;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту й аероіонізації;
- показники мікроклімату: температура повітря T , відносна вологість W , швидкість руху повітря V .

Ці фактори можуть викликати у працівника певні розлади здоров'я, зокрема підвищення артеріального тиску, кон'юктивіти, тендовагініти та інші захворювання.

За ступенем пожежної небезпеки дане приміщення із візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин (ЕОМ)

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

відноситься до категорії В [39]. Це приміщення, в яких є горючі гази (ГГ), легкозаймисті, горючі і важкогорючі рідини, а також речовини та матеріали, які здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним вибухати і горіти або тільки горіти; горючий пил і волокна, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (обертаються), не відносяться до категорій А, Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м^2 кожна перевищує 180 МДж/м^2 [39].

Розміщення робочих місць ВДТ ЕОМ в підвальних і цокольних поверхах забороняється [40]. Робоче місце знаходиться у комп'ютерному класі. Приміщення знаходиться на першому поверсі 3-поверхової будівлі Приміщення з ВДТ має природне і штучне освітлення. Природне освітлення здійснюється через світлові отвори, орієнтовані переважно на північ, північний захід. На робочих місцях з ВДТ КПО (коефіцієнт природного освітлення) складає понад 1.5%. Приміщення з ВДТ обладнане системами опалювання, вентиляції і кондиціонування повітря. Віконні отвори обладнані регульованими пристосуваннями: це жалюзі, фіранки і зовнішні козирки [40].

Задане приміщення розміром:

- довжина - $A = 12 \text{ м}$;
- ширина - $B = 15 \text{ м}$;
- висота - $H = 3,2 \text{ м}$.

Площа приміщень, в яких розташовують персональні комп'ютери (ПК), визначають згідно з діючими нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце: площа – не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм – не менше $20,0 \text{ м}^3$, з урахуванням максимальної кількості осіб, що одночасно працюють в зміні. У нашому випадку площа – 180 м^2 , а об'єм – 576 м^3 . З цього виходить, що максимальна кількість робочих місць рівна двадцять вісім.

Лінія електромережі для ЕОМ виконана як окрема групова трьохпровідна мережа, шляхом прокладки фазового, нульового робочого, нульового захисного проводів.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Нульовий захисний провід використовується тільки для занулення електроприймача. Використання нульового робочого проводу в якості нульового захисного заборонено. Штепсельні з'єднання й розетки мають спеціальні контакти для підключення нульового захисного проводу.

ПЕОМ не підключено до звичайної двохпровідної мережі, у тому числі з використанням перехідних пристосувань. Експлуатація кабелів і проводів з ушкодженою ізоляцією, саморобних подовжувачів не проводиться.

Згідно з [41], всі приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом діляться на три класи:

1. Приміщення без підвищеної небезпеки.
2. Приміщення з підвищеною небезпекою.
3. Особливо небезпечні приміщення.

Приміщення з ПК відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою, тому що існує можливість одночасного дотику людини до будь яких з'єднання з землею, металоконструкціями будинків, технологічними апаратами, механізмами і т.п., з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання з іншого.

Згідно з правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), все електрообладнання ділиться на два класи [41, 4]:

- з напругою до 1000 В;
- з напругою понад 1000 В.

Електрообладнання приміщень з ПК відноситься до першого класу, з напругою до 1000 В.

ЕОМ, периферійні пристрої та інше обладнання (апарати управління світильники і тому подібне), електропроводи і кабелі по виконанню і ступеню захисту повинні відповідати класу зони по ПУЕ [42].

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ і устаткування для обслуговування, ремонту і наладки ЕОМ виконана як окрема групова трьохдротова мережа.

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		86

Приміщення, в якому розташовані ПК, має першу ступінь вогнестійкості згідно [43].

1 ступінь вогнестійкості – це будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів.

Як засоби пожежогасіння на даному об'єкті застосовуються вуглекислотні вогнегасники, призначені для гасіння спалахів установок напругою до 1000 В.

Приміщення категорії В з площею 180 м² має 4 вуглекислотні вогнегасника с заряд вогнегасної речовини 6 кг.

Приміщення з ПК має загальне рівномірне освітлення. При роботі з документами загальне рівномірне доповнене місцевим. Джерелами світла для загального рівномірного освітлення є газорозрядні лампи низького тиску, а для місцевого дозволяється використовувати лампи розжарювання.

При роботі за дисплеєм освітленість визначається мінімальним об'єктом розрізнення шириною лінії рукописного або друкарського тексту, який читає користувач з листа. Освітлення на робочому місці становить 425 Лк [44].

Висновок до п'ятого розділу

Розглянуто питання охорони праці стосовно місця перебування, де виконується безпосередньо робота з розробки технології створення 3D моделей на основі креслень та фото старовинних механізмів. Також визначені норми виробничої санітарії та пожежної безпеки при роботі за комп'ютером.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		87

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Наукова новизна отриманих результатів

Результати дослідження мають наукову новизну, оскільки пропонують покращення технології створення об'ємних 3D комп'ютерних моделей на основі сучасних засобів прототипування, що вносять вагомий внесок у розвиток цієї галузі.

У кваліфікаційній роботі запропонована технологія створення 3D-моделей на основі креслень і фотографій старих механізмів, яка передбачає врахування всіх особливостей утрачених механізмів, використання сучасних засобів прототипування, поширеного програмного забезпечення, застосування недорогих домашніх 3D-принтерів. В ній пропонується вдосконалена методика створення тривимірних моделей на основі алгоритмів обробки даних, вирівнювання зображень, відновлення втрачених деталей, яка уділяє особливу увагу унікальним особливостям і складності відновлення старих механізмів (врахування розміру, деформації або пошкодження деталей, які можуть бути викликані часом та експлуатацією).

Викладено підходи до аналізу і порівнянню створених тривимірних моделей з вхідними кресленнями і фотографіями. Це дозволяє оцінити точність і достовірність отриманих моделей, а також виявити і пояснити можливі розбіги або показання.

В роботі запропоновано застосування створення тривимірних моделей у різних випадках, наприклад у реставрації, музеології, освіті чи наукових дослідженнях. Це дозволяє продемонструвати практичну цінність і релевантність роботи.

Практичне значення отриманих результатів

В рамках кваліфікаційної роботи були створені тривимірні моделі механізмів старих зразків на основі креслень і фотографій. Використовуючи сучасні методи сканування чи відновлення, було отримано точні геометричні моделі механізмів.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		88

Отримані тривимірні моделі були порівняні з вхідними кресленнями та фотографіями. Було проведено зіставлення та оцінка достовірності та точності створених моделей. Виявлені розбіжності чи спотворення було проаналізовано та пояснено.

У випадку, якщо на вихідних кресленнях або фотографіях були відсутні деякі деталі механізму, запропонована технологія дає можливість їх відновлення. З використанням алгоритмів обробки даних та методів моделювання втрачені чи пошкоджені деталі можуть бути відновлені у моделі виробу.

Створені тривимірні моделі дозволяють провести оцінку стану старих механізмів, можуть бути виявлені деформації, зношування, втрата функціональних елементів та інші особливості, які можуть бути важливими при реставрації чи збереженні історичних механізмів.

Отримані тривимірні моделі можуть бути використані в різних галузях. Наприклад, вони можуть бути використані для створення віртуальних музейних експозицій, друку 3D-моделей для освітніх цілей, демонстрації дослідницьких результатів або відновлення та реставрації старих механізмів.

Загальні висновки

В результаті виконання роботи отримані наступні основні результати:

- проаналізована наукова література, інтернет-ресурси і практичний досвід для виявлення сучасного стану проблеми дослідження і позначені способи її вирішення;
- описано застосування моделювання та 3D-друку в різних галузях, включаючи інженерну справу, дизайн та архітектуру, наведені проблеми, що виникають під час створення тривимірних моделей за кресленнями та фотографіями механізмів минулих років.
- обґрунтовано збереження старовинних механізмів у вигляді 3D-моделей, показано основні сфери застосування технології створення таких моделей,

					<i>КРМ.КІ. 1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

перераховані труднощі, що виникають у процесі створення 3D-моделей механізмів минулого часу.

- зроблено огляд програмного забезпечення, що застосовується для створення тривимірних моделей, показано області їх застосування, обґрунтовано вибір програми Blender для отримання 3-моделей за кресленнями та малюнками. Сформульовано технологію розробки подібних моделей з урахуванням подальшого друку їх на FDM принтері.

- показано можливість використання старої літератури для відбору фото та креслень для створення якісних 3D-моделей обладнання харчової та переробної промисловості, для подальшої обробки вибрано фото тістомісу Titan Type Dough Mixer та зернового млина Queen City Grinding Mill.

- описано труднощі точного відтворення вибраних виробів при створенні їх об'ємних моделей та друку на 3D-принтері, наведено докладну схему створення 3D-моделей у додатку Blender за допомогою примітивів та додаткових інструментів.

- обґрунтовано схему зміни налаштувань слайсера CURA за результатами експериментів, детально описаний алгоритм друку моделей на 3D-принтері за технологією FDM.

- зроблено економічні розрахунки, які свідчать, що впровадження розробленої технології створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями та фотографіями механізмів старих зразків є досить вигідним.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anna Kaziunas France. Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers. - Maker Media, 2014. – 230 p.
2. Brian Evans. Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. - Apress, 2012. – 332 p.
3. Advantages of 3D Printing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.makerbot.com/stories/engineering/advantages-of-3d-printing/>
4. Old Mechanism 3D model [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.turbosquid.com/3d-models/old-mechanism-3d-model-1813982>
5. Virtual Modeling of Ancient Mechanical Technolog. Available: https://www.researchgate.net/publication/318880169_A_Study_on_the_holding_Jose_on_Sideline-products_Exhibition_and_its_effect_in_1923
6. Соколова О.П., Котлик С.В., Котлик Д.В. Утиліта калібрування 3D-принтерів, зібраних на базі ARDUINO MEGA / Матеріали XXI Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій», (Одеса, 22-23 квітня 2021 р.) / Одеса: ОНАХТ, 2021, с.190 – 193.
7. Соколова О.П., Котлик С.В. Розробка тривимірної моделі для друку на 3D-принтері з використанням програми Pixologic Zbrush / Збірник тез доповідей 82 Наукової конференції викладачів Університету, (Одеса, 26 – 29 квітня 2022 р.) / ОНТУ. – Одеса: ОНАХТ, 2022, с. 238-239.
8. Соколова О.П., Котлик С.В. Особливості розробки віртуальної комп'ютерної моделі старовинного технічного обладнання та створення зменшеної копії його за допомогою 3D-принтера / Матеріали XXIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій», Одеса, 20-21 квітня 2023 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023, с.55-57.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		91

9. Соколова О.П., Котлик Д.В. Особливості застосування пристрою KINECT для тривимірного сканування / Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології і автоматизація – 2023». Одеса, 19-20 жовтня 2023 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023, с.438-441.

10. Соколова О.П., Шинкар О.В. Особливості створення тривимірних 3D-моделей за кресленнями механізмів старих зразків / Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології і автоматизація – 2023». Одеса, 19-20 жовтня 2023 р. - Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023, с.445-448.

11. Іванова Л. О., Котлик С. В., Соколова О. П. Використання 3D-друку при створенні ювелірних виробів / На шляху до Індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація: монографія / кол. авт. : В. Б. Артеменко, Л. В. Артеменко, О. В. Артеменко [та ін.] ; за заг. ред. С. В. Котлика. — Одеса : Астропринт, 2021, с. 317 - 332.

12. Соколова О.П., Котлик С.В., Корнієнко Ю.К. Огляд застосовування програмного забезпечення для 3D моделювання/ Інформаційні технології та автоматизація: монографія / кол. авт.: Бондаренко З.В., Борисова Н.В., Бурдейна О.В. [та ін.]; за заг. ред. С.В.Котлика. — Одеса : Астропринт, 2020, с.180-186.

13. С. Котлик, О. Романюк, О. Соколова, Д. Котлик. Розробка доступної технології створення 3D комп'ютерних моделей на основі фотограмметрії. Частина I, Automation of technological and business processes, Volume 14, Issue 2, pp. 37-50, Sep 2022, DOI:<https://doi.org/10.15673/atbp.v14i2.2332>.

14. С. Котлик, О. Романюк, О. Соколова, Д. Котлик. Розробка доступної технології створення 3D комп'ютерних моделей на основі фотограмметрії. Частина II, Automation of technological and business processes, Volume 14, Issue 3, pp. 11-19, Sep 2022, DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v14i3.2348> .

15. Kotlyk S.V., Sokolova O.P., Romaschenko S.S., Kostyrenko T.P. Development of an information system to support high-quality printing on a 3D

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		92

В. Н. Каразіна. Серія: Машинобудування та енергетика. Випуск 43, 2015, с. 86-90.

26. Перова Л. І. Віртуальне відродження старовинних механізмів, - видавництво: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2012, 352 с.

27. Клеменко А. А., Івасенко Ю. М. Методика створення віртуальних моделей механізмів і приладів, Машинобудування та транспорт, 2015, № 3 (76), с.41-44.

28. Virtual Antique Laboratory. Available: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.virtualantiquelab.com/>

29. 3D Way [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3dway.com.ua/>

30. 3D Evolution [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3devolution.com/>

31. UltiMaker thingiverse [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.thingiverse.com/>

32. Freelancer.com [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.freelancer.com/>

33. Upwork [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.upwork.com/>

34. Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://2021.caaconference.org/>

35. International Conference on Cultural Heritage and New Technologies (CHNT) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://chnt.at/>

36. Науково-технічна бібліотека ОНТУ – шлях у 120 років: бібліогр. зб. / Одес. нац. технол.ун-т, Наук.-техн. б-ка ; уклад.: О. В. Ольшевська, Т. Є. Мазепа ; за ред. О. В. Ольшевської. – Одеса, 2022. – 87 с.

37. Вігуржинська С.Ю., Колесник В.І. Дипломне проектування економічної частини проекту / Методичні вказівки для студентів, що навчаються за спеціальностями 05010101- "Інформаційні управляючі системи та технології"; 05010102- " Інформаційні технології проектування ", 05010201- " Комп'ютерні

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

системи та мережі "; 05010203- "Спеціалізовані комп'ютерні системи ". Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, видавничий центр «Технолог», 2016. – 23 с.

38. Катренко Л. А., Катренко А. В. Охорона праці в галузі комп'ютерингу: підручник. Львів: Магнолія – 2006, 2012. 544 с.

39. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: МІНРЕГІОНБУД України, 2016. 66 с.

40. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. – Чинний з 10.12.1998. – К.: Держспоживстандарт України, 1998. 25 с.

41. НПАОП 40.00-1.32-01. (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ, 2001. 78 с.

42. Правила улаштування електроустановок. К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

43. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ, 2017. 47 с.

44. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ, 2018. 137 с.

					<i>КРМ.КІ.1. 884-03.3.7</i>	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ДОДАТКИ

Додаток А. G-kod слайсера CURA для роботи 3D принтера ANYCUBIC KOSSEL

```
;FLAVOR:Marlin
;TIME:16815
;Filament used: 17.4485m
;Layer height: 0.15
;MINX:-58.505
;MINY:-44.23
;MINZ:0.3
;MAXX:60.747
;MAXY:39.022
;MAXZ:91.2
;Generated with Cura_SteamEngine 4.9.1
M140 S60
M105
M190 S60
M104 S200
M105
M109 S200
M82 ;absolute extrusion mode
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
M107 ;start with the fan off
G28 ;move to endstops
G92 E0 ;zero the extruded length
G1 F200 E3 ;extrude 3mm of feed stock
G92 E0 ;zero the extruded length again
G1 F120
;Put printing message on LCD screen
M117 Printing...
G92 E0
G92 E0
G1 F1500 E-6.5
;LAYER_COUNT:607
;LAYER:0
M107
G0 F3600 X-28.85 Y-18.515 Z0.3
;TYPE:SKIRT
G1 F1500 E0
G1 F1800 X38.588 Y-18.515 E3.3645
G1 X39.377 Y-18.475 E3.40391
G1 X40.157 Y-18.356 E3.44327
G1 X40.922 Y-18.158 E3.4827
G1 X41.662 Y-17.884 E3.52207
G1 X42.371 Y-17.536 E3.56147
G1 X43.042 Y-17.118 E3.60091
G1 X43.666 Y-16.635 E3.64028
G1 X44.103 Y-16.23 E3.67
G1 X44.22 Y-16.113 E3.67826
G1 X44.75 Y-15.527 E3.71768
G1 X45.217 Y-14.891 E3.75704
G1 X45.618 Y-14.211 E3.79643
G1 X45.948 Y-13.493 E3.83585
```

					КРМ.КІ.2.884-03.3.7	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

G1 X46.203 Y-12.746 E3.87523
 G1 X46.382 Y-11.977 E3.91462
 G1 X46.482 Y-11.193 E3.95405
 G1 X46.505 Y-10.598 E3.98376
 G1 X46.505 Y-8.256 E4.1006
 G1 X47.092 Y-8.665 E4.1363
 G1 X47.783 Y-9.049 E4.17574
 G1 X48.508 Y-9.361 E4.21511
 G1 X49.261 Y-9.598 E4.2545
 G1 X50.035 Y-9.757 E4.29392
 G1 X50.82 Y-9.838 E4.33329
 G1 X51.222 Y-9.848 E4.35335
 G1 X52.947 Y-9.848 E4.43941
 G1 X53.736 Y-9.808 E4.47883
 G1 X54.516 Y-9.689 E4.51819
 G1 X55.281 Y-9.491 E4.55762
 G1 X56.021 Y-9.217 E4.59698
 G1 X56.73 Y-8.869 E4.63639
 G1 X57.401 Y-8.451 E4.67583
 G1 X58.025 Y-7.968 E4.7152
 G1 X58.598 Y-7.425 E4.75458
 G1 X59.113 Y-6.826 E4.79399
 G1 X59.564 Y-6.178 E4.83338
 G1 X59.948 Y-5.487 E4.87282
 G1 X60.26 Y-4.762 E4.9122
 G1 X60.497 Y-4.009 E4.95158
 G1 X60.656 Y-3.235 E4.991
 G1 X60.737 Y-2.45 E5.03037
 G1 X60.747 Y-2.048 E5.05043
 G1 X60.747 Y5.245 E5.41428
 G1 X60.707 Y6.034 E5.4537
 G1 X60.588 Y6.814 E5.49306
 G1 X60.39 Y7.579 E5.53249
 G1 X60.116 Y8.319 E5.57185
 G1 X59.768 Y9.028 E5.61126
 G1 X59.35 Y9.699 E5.6507
 G1 X58.867 Y10.323 E5.69007
 G1 X58.324 Y10.896 E5.72945
 G1 X57.725 Y11.411 E5.76886
 G1 X57.077 Y11.862 E5.80825
 G1 X56.386 Y12.246 E5.84769
 G1 X55.661 Y12.558 E5.88707
 G1 X54.908 Y12.795 E5.92645
 G1 X54.134 Y12.954 E5.96587
 G1 X53.349 Y13.035 E6.00524
 G1 X52.947 Y13.045 E6.02531
 G1 X51.705 Y13.045 E6.08727
 G1 X50.916 Y13.005 E6.12668
 G1 X50.136 Y12.886 E6.16605
 G1 X49.371 Y12.688 E6.20547
 G1 X48.631 Y12.414 E6.24484
 G1 X47.922 Y12.066 E6.28424
 G1 X47.251 Y11.648 E6.32368
 G1 X46.627 Y11.165 E6.36305
 G1 X46.505 Y11.049 E6.37145
 G1 X46.505 Y13.501 E6.49378
 G1 X46.66 Y13.489 E6.50154
 G1 X48.255 Y13.471 E6.58112
 G1 X51.655 Y13.501 E6.75075
 G1 X52.443 Y13.548 E6.79013
 G1 X53.223 Y13.675 E6.82956
 G1 X53.985 Y13.879 E6.86892
 G1 X54.723 Y14.16 E6.90831

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

G1 X55.429 Y14.514 E6.94772
 G1 X56.096 Y14.937 E6.98712
 G1 X56.716 Y15.426 E7.02652
 G1 X57.124 Y15.809 E7.05443
 G1 X57.243 Y15.929 E7.06287
 G1 X57.77 Y16.517 E7.10226
 G1 X58.235 Y17.155 E7.14165
 G1 X58.633 Y17.837 E7.18104
 G1 X58.96 Y18.556 E7.22045
 G1 X59.212 Y19.305 E7.25987
 G1 X59.388 Y20.074 E7.29923
 G1 X59.485 Y20.858 E7.33864
 G1 X59.505 Y21.421 E7.36675
 G1 X59.505 Y25.01 E7.54581
 G1 X59.465 Y25.799 E7.58522
 G1 X59.346 Y26.579 E7.62458
 G1 X59.148 Y27.344 E7.66401
 G1 X58.874 Y28.084 E7.70338
 G1 X58.526 Y28.793 E7.74278
 G1 X58.108 Y29.464 E7.78222
 G1 X57.625 Y30.088 E7.82159
 G1 X57.244 Y30.502 E7.84966
 G1 X57.128 Y30.619 E7.85788
 G1 X56.544 Y31.151 E7.89729
 G1 X55.91 Y31.621 E7.93666
 G1 X55.231 Y32.024 E7.97606
 G1 X54.515 Y32.357 E8.01545
 G1 X53.769 Y32.616 E8.05485
 G1 X53.001 Y32.798 E8.09423
 G1 X52.218 Y32.902 E8.13363
 G1 X51.655 Y32.927 E8.16175
 G1 X48.25 Y32.956 E8.33163
 G1 X46.676 Y32.938 E8.41016
 G1 X46.284 Y32.914 E8.42976
 G1 X46.148 Y33.439 E8.45681
 G1 X45.874 Y34.179 E8.49618
 G1 X45.526 Y34.888 E8.53559
 G1 X45.108 Y35.559 E8.57503
 G1 X44.625 Y36.183 E8.61439
 G1 X44.22 Y36.62 E8.64412
 G1 X44.103 Y36.737 E8.65238
 G1 X43.517 Y37.267 E8.69179
 G1 X42.881 Y37.734 E8.73116
 G1 X42.201 Y38.135 E8.77054
 G1 X41.483 Y38.465 E8.80997
 G1 X40.736 Y38.72 E8.84935
 G1 X39.967 Y38.899 E8.88874
 G1 X39.183 Y38.999 E8.92817
 G1 X38.588 Y39.022 E8.95788
 G1 X-50.588 Y39.022 E13.40689
 G1 X-51.377 Y38.982 E13.4463
 G1 X-52.157 Y38.863 E13.48566
 G1 X-52.922 Y38.665 E13.52509
 G1 X-53.662 Y38.391 E13.56446
 G1 X-54.371 Y38.043 E13.60386
 G1 X-55.042 Y37.625 E13.6433
 G1 X-55.666 Y37.142 E13.68267
 G1 X-56.103 Y36.737 E13.71239
 G1 X-56.22 Y36.62 E13.72065
 G1 X-56.75 Y36.034 E13.76007
 G1 X-57.217 Y35.398 E13.79943
 G1 X-57.618 Y34.718 E13.83882
 G1 X-57.948 Y34 E13.87824

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

G1 X-58.203 Y33.253 E13.91762
 G1 X-58.382 Y32.484 E13.95701
 G1 X-58.482 Y31.7 E13.99644
 G1 X-58.505 Y31.105 E14.02615
 G1 X-58.505 Y-10.598 E16.10672
 G1 X-58.465 Y-11.387 E16.14613
 G1 X-58.346 Y-12.167 E16.1855
 G1 X-58.148 Y-12.932 E16.22492
 G1 X-57.874 Y-13.672 E16.26429
 G1 X-57.526 Y-14.381 E16.30369
 G1 X-57.108 Y-15.052 E16.34314
 G1 X-56.625 Y-15.676 E16.3825
 G1 X-56.22 Y-16.113 E16.41223
 G1 X-56.103 Y-16.23 E16.42048
 G1 X-55.517 Y-16.76 E16.4599
 G1 X-54.881 Y-17.227 E16.49927
 G1 X-54.201 Y-17.628 E16.53865
 G1 X-53.483 Y-17.958 E16.57808
 G1 X-52.736 Y-18.213 E16.61746
 G1 X-51.967 Y-18.392 E16.65685
 G1 X-51.183 Y-18.492 E16.69628
 G1 X-50.588 Y-18.515 E16.72598
 G1 X-50.168 Y-18.515 E16.74694
 G1 X-50.231 Y-19.127 E16.77763
 G1 X-50.241 Y-19.529 E16.79769
 G1 X-50.241 Y-22.665 E16.95415
 G1 X-50.201 Y-23.454 E16.99356
 G1 X-50.082 Y-24.234 E17.03293
 G1 X-49.884 Y-24.999 E17.07235
 G1 X-49.61 Y-25.739 E17.11172
 G1 X-49.262 Y-26.448 E17.15112
 G1 X-48.844 Y-27.119 E17.19057
 G1 X-48.683 Y-27.327 E17.20369
 G1 X-48.971 Y-29.648 E17.32037
 G1 X-49.028 Y-30.436 E17.35979
 G1 X-49.006 Y-31.225 E17.39917
 G1 X-48.903 Y-32.008 E17.43857
 G1 X-48.722 Y-32.777 E17.47798
 G1 X-48.465 Y-33.523 E17.51735
 G1 X-48.133 Y-34.24 E17.55676
 G1 X-47.891 Y-34.648 E17.58043
 G1 X-47.891 Y-36.43 E17.66934
 G1 X-47.851 Y-37.219 E17.70875
 G1 X-47.732 Y-37.999 E17.74811
 G1 X-47.534 Y-38.764 E17.78754
 G1 X-47.26 Y-39.504 E17.82691
 G1 X-46.912 Y-40.213 E17.86631
 G1 X-46.494 Y-40.884 E17.90575
 G1 X-46.011 Y-41.508 E17.94512
 G1 X-45.468 Y-42.081 E17.9845
 G1 X-44.869 Y-42.596 E18.02391
 G1 X-44.221 Y-43.047 E18.0633
 G1 X-43.53 Y-43.431 E18.10274
 G1 X-42.805 Y-43.743 E18.14212
 G1 X-42.052 Y-43.98 E18.1815
 G1 X-41.278 Y-44.139 E18.22092
 G1 X-40.493 Y-44.22 E18.2603
 G1 X-40.091 Y-44.23 E18.28036
 G1 X-38.926 Y-44.23 E18.33848
 G1 X-38.137 Y-44.19 E18.37789
 G1 X-37.357 Y-44.071 E18.41726
 G1 X-36.592 Y-43.873 E18.45668
 G1 X-35.852 Y-43.599 E18.49605

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
						99
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

G1 X-35.143 Y-43.251 E18.53545
 G1 X-34.472 Y-42.833 E18.57489
 G1 X-33.848 Y-42.35 E18.61426
 G1 X-33.275 Y-41.807 E18.65365
 G1 X-32.76 Y-41.208 E18.69306
 G1 X-32.309 Y-40.56 E18.73245
 G1 X-31.925 Y-39.869 E18.77189
 G1 X-31.613 Y-39.144 E18.81126
 G1 X-31.376 Y-38.391 E18.85065
 G1 X-31.217 Y-37.617 E18.89007
 G1 X-31.136 Y-36.832 E18.92944
 G1 X-31.126 Y-36.43 E18.9495
 G1 X-31.126 Y-34.792 E19.03122
 G1 X-30.778 Y-34.166 E19.06695
 G1 X-30.466 Y-33.441 E19.10633
 G1 X-30.229 Y-32.688 E19.14572
 G1 X-30.07 Y-31.914 E19.18514
 G1 X-29.989 Y-31.129 E19.22451
 G1 X-29.989 Y-30.339 E19.26392
 G1 X-30.025 Y-29.88 E19.28689
 G1 X-30.307 Y-27.295 E19.41662
 G1 X-29.959 Y-26.795 E19.44702
 G1 X-29.575 Y-26.104 E19.48646
 G1 X-29.263 Y-25.379 E19.52583
 G1 X-29.026 Y-24.626 E19.56522
 G1 X-28.867 Y-23.852 E19.60464
 G1 X-28.786 Y-23.067 E19.64401
 G1 X-28.776 Y-22.665 E19.66407
 G1 X-28.776 Y-19.529 E19.82053
 G1 X-28.816 Y-18.74 E19.85994
 G1 X-28.85 Y-18.515 E19.8713
 G0 F3600 X-29.216 Y-18.761
 G1 F1800 X-29.317 Y-18.115 E19.90392
 G1 X38.588 Y-18.115 E23.29171
 G1 X39.356 Y-18.075 E23.33008
 G1 X40.116 Y-17.956 E23.36846
 G1 X40.859 Y-17.758 E23.40682
 G1 X41.578 Y-17.484 E23.44521
 G1 X42.264 Y-17.137 E23.48356
 G1 X42.911 Y-16.721 E23.52194
 G1 X43.511 Y-16.24 E23.5603
 G1 X43.938 Y-15.831 E23.5898
 G1 X44.452 Y-15.259 E23.62817
 G1 X44.905 Y-14.637 E23.66656
 G1 X45.291 Y-13.972 E23.70492
 G1 X45.606 Y-13.27 E23.7433
 G1 X45.846 Y-12.539 E23.78169
 G1 X46.009 Y-11.788 E23.82003
 G1 X46.093 Y-11.023 E23.85842
 G1 X46.105 Y-10.598 E23.87964
 G1 X46.105 Y-7.384 E24.03998
 G1 X46.238 Y-7.518 E24.0494
 G1 X46.833 Y-8.006 E24.08779
 G1 X47.475 Y-8.429 E24.12615
 G1 X48.158 Y-8.784 E24.16455
 G1 X48.873 Y-9.065 E24.20288
 G1 X49.615 Y-9.271 E24.2413
 G1 X50.373 Y-9.399 E24.27965
 G1 X51.222 Y-9.448 E24.32208
 G1 X52.947 Y-9.448 E24.40814
 G1 X53.715 Y-9.408 E24.44651
 G1 X54.475 Y-9.289 E24.48489
 G1 X55.218 Y-9.091 E24.52325

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		100

G1 X55.937 Y-8.817 E24.56164
 G1 X56.623 Y-8.47 E24.59999
 G1 X57.27 Y-8.054 E24.63836
 G1 X57.87 Y-7.573 E24.67673
 G1 X58.417 Y-7.032 E24.71511
 G1 X58.905 Y-6.437 E24.7535
 G1 X59.328 Y-5.795 E24.79186
 G1 X59.683 Y-5.112 E24.83026
 G1 X59.964 Y-4.397 E24.86859
 G1 X60.17 Y-3.655 E24.90701
 G1 X60.298 Y-2.897 E24.94536
 G1 X60.347 Y-2.048 E24.98779
 G1 X60.347 Y5.245 E25.35164
 G1 X60.307 Y6.013 E25.39001
 G1 X60.188 Y6.773 E25.42839
 G1 X59.99 Y7.516 E25.46675
 G1 X59.716 Y8.235 E25.50514
 G1 X59.369 Y8.921 E25.54349
 G1 X58.953 Y9.568 E25.58186
 G1 X58.472 Y10.168 E25.62023
 G1 X57.931 Y10.715 E25.65861
 G1 X57.336 Y11.203 E25.697
 G1 X56.694 Y11.626 E25.73536
 G1 X56.011 Y11.981 E25.77376
 G1 X55.296 Y12.262 E25.81209
 G1 X54.554 Y12.468 E25.85051
 G1 X53.796 Y12.596 E25.88886
 G1 X52.947 Y12.645 E25.93129
 G1 X51.705 Y12.645 E25.99325
 G1 X50.937 Y12.605 E26.03162
 G1 X50.177 Y12.486 E26.07
 G1 X49.434 Y12.288 E26.10836
 G1 X48.715 Y12.014 E26.14675
 G1 X48.029 Y11.667 E26.1851
 G1 X47.382 Y11.251 E26.22348
 G1 X46.782 Y10.77 E26.26184
 G1 X46.235 Y10.229 E26.30023
 G1 X46.105 Y10.07 E26.31047
 G1 X46.105 Y13.921 E26.5026
 G1 X46.664 Y13.889 E26.53053
 G1 X48.251 Y13.871 E26.60972
 G1 X51.651 Y13.901 E26.77935
 G1 X52.419 Y13.948 E26.81774
 G1 X53.178 Y14.074 E26.85612
 G1 X53.919 Y14.278 E26.89447
 G1 X54.636 Y14.559 E26.93289
 G1 X55.319 Y14.912 E26.97124
 G1 X55.962 Y15.334 E27.00961
 G1 X56.558 Y15.82 E27.04798
 G1 X56.959 Y16.21 E27.07589
 G1 X57.472 Y16.784 E27.1143
 G1 X57.922 Y17.408 E27.15268
 G1 X58.305 Y18.075 E27.19105
 G1 X58.617 Y18.778 E27.22942
 G1 X58.854 Y19.509 E27.26776
 G1 X59.014 Y20.262 E27.30617
 G1 X59.094 Y21.027 E27.34454
 G1 X59.105 Y21.421 E27.36421
 G1 X59.105 Y25.01 E27.54326
 G1 X59.065 Y25.778 E27.58163
 G1 X58.946 Y26.538 E27.62001
 G1 X58.748 Y27.281 E27.65837
 G1 X58.474 Y28 E27.69676

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

G1 X58.127 Y28.686 E27.73511
 G1 X57.711 Y29.333 E27.77349
 G1 X57.23 Y29.933 E27.81185
 G1 X56.844 Y30.337 E27.83973
 G1 X56.275 Y30.854 E27.87808
 G1 X55.655 Y31.31 E27.91648
 G1 X54.991 Y31.699 E27.95487
 G1 X54.291 Y32.016 E27.99321
 G1 X53.561 Y32.259 E28.0316
 G1 X52.81 Y32.426 E28.06998
 G1 X52.046 Y32.513 E28.10834
 G1 X51.652 Y32.527 E28.12801
 G1 X48.247 Y32.556 E28.29789
 G1 X46.681 Y32.538 E28.37603
 G1 X45.968 Y32.493 E28.41167
 G1 X45.946 Y32.633 E28.41874
 G1 X45.748 Y33.376 E28.4571
 G1 X45.474 Y34.095 E28.49549
 G1 X45.127 Y34.781 E28.53384
 G1 X44.711 Y35.428 E28.57222
 G1 X44.23 Y36.028 E28.61058
 G1 X43.821 Y36.455 E28.64008
 G1 X43.249 Y36.969 E28.67845
 G1 X42.627 Y37.422 E28.71684
 G1 X41.962 Y37.808 E28.7552
 G1 X41.26 Y38.123 E28.79359
 G1 X40.529 Y38.363 E28.83197
 G1 X39.778 Y38.526 E28.87031
 G1 X39.013 Y38.61 E28.90871
 G1 X38.588 Y38.622 E28.92992
 G1 X-50.588 Y38.622 E33.37893
 G1 X-51.356 Y38.582 E33.41729
 G1 X-52.116 Y38.463 E33.45567
 G1 X-52.859 Y38.265 E33.49404
 G1 X-53.578 Y37.991 E33.53242
 G1 X-54.264 Y37.644 E33.57078
 G1 X-54.911 Y37.228 E33.60915
 G1 X-55.511 Y36.747 E33.64752
 G1 X-55.938 Y36.338 E33.67702
 G1 X-56.452 Y35.766 E33.71538
 G1 X-56.905 Y35.144 E33.75377
 G1 X-57.291 Y34.479 E33.79213
 G1 X-57.606 Y33.777 E33.83052
 G1 X-57.846 Y33.046 E33.86891
 G1 X-58.009 Y32.295 E33.90725
 G1 X-58.093 Y31.53 E33.94564
 G1 X-58.105 Y31.105 E33.96685
 G1 X-58.105 Y-10.598 E36.04742
 G1 X-58.065 Y-11.366 E36.08579
 G1 X-57.946 Y-12.126 E36.12417
 G1 X-57.748 Y-12.869 E36.16253
 G1 X-57.474 Y-13.588 E36.20092
 G1 X-57.127 Y-14.274 E36.23927
 G1 X-56.711 Y-14.921 E36.27765
 G1 X-56.23 Y-15.521 E36.31601
 G1 X-55.821 Y-15.948 E36.34551
 G1 X-55.249 Y-16.462 E36.38388
 G1 X-54.627 Y-16.915 E36.42227
 G1 X-53.962 Y-17.301 E36.46063
 G1 X-53.26 Y-17.616 E36.49902
 G1 X-52.529 Y-17.856 E36.5374
 G1 X-51.778 Y-18.019 E36.57574
 G1 X-51.013 Y-18.103 E36.61414

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		102

G1 X-36.809 Y3.106 E816.27119
 G1 X-36.601 Y3.106 E816.27584
 G1 X-36.498 Y3.284 E816.28043
 G0 F7200 X-36.036 Y3.285
 ;TYPE:WALL-OUTER
 G1 F1112.8 X-36.37 Y3.865 E816.29713
 G1 X-37.04 Y3.865 E816.31384
 G1 X-37.374 Y3.285 E816.33054
 G1 X-37.04 Y2.706 E816.34721
 G1 X-36.37 Y2.706 E816.36392
 G1 X-36.036 Y3.285 E816.3806
 G0 F7200 X-36.135 Y3.458
 G1 F1500 E809.8806
 ;MESH:NONMESH
 G0 F600 X-36.135 Y3.458 Z91.05
 G0 F7200 X-36.598 Y3.284
 G0 X-35.409 Y2.642
 G0 X23.408 Y2.58
 G0 X24.518 Y3.221
 G0 X24.808 Y3.402
 ;TIME_ELAPSED:16807.836934
 ;LAYER:605
 ;TYPE:WALL-INNER
 ;MESH:part3.stl
 G1 F1500 E816.3806
 G1 F2225.7 X24.602 Y3.402 E816.38574
 G1 X24.498 Y3.221 E816.39094
 G1 X24.601 Y3.043 E816.39607
 G1 X24.809 Y3.043 E816.40073
 G1 X24.912 Y3.221 E816.40532
 G1 X24.808 Y3.402 E816.40998
 G0 F7200 X25.04 Y3.802
 ;TYPE:WALL-OUTER
 G1 F1112.8 X24.37 Y3.802 E816.42669
 G1 X24.036 Y3.222 E816.44339
 G1 X24.37 Y2.643 E816.46006
 G1 X25.04 Y2.643 E816.47678
 G1 X25.374 Y3.222 E816.49345
 G1 X25.04 Y3.802 E816.51015
 G0 F7200 X24.84 Y3.802
 G1 F1500 E810.01015
 G0 F7200 X24.758 Y3.316
 G0 X24.758 Y4.667
 G0 X24.758 Y15.778
 G0 X24.758 Y17.063
 G0 X24.808 Y17.402
 ;TYPE:WALL-INNER
 G1 F1500 E816.51015
 G1 F2225.7 X24.602 Y17.402 E816.51529
 G1 X24.498 Y17.221 E816.52049
 G1 X24.601 Y17.043 E816.52562
 G1 X24.809 Y17.043 E816.53028
 G1 X24.912 Y17.221 E816.53487
 G1 X24.808 Y17.402 E816.53953
 G0 F7200 X25.04 Y17.802
 ;TYPE:WALL-OUTER
 G1 F1112.8 X24.37 Y17.802 E816.55625
 G1 X24.036 Y17.222 E816.57294
 G1 X24.37 Y16.643 E816.58961
 G1 X25.04 Y16.643 E816.60633
 G1 X25.374 Y17.222 E816.623
 G1 X25.04 Y17.802 E816.6397
 G0 F7200 X24.84 Y17.802

					KPM.KI.2.884-03.3.7	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

G1 F1500 E810.1397
 G0 F7200 X24.758 Y17.316
 G0 X23.407 Y17.86
 G0 X-35.406 Y17.922
 G0 X-36.518 Y17.284
 G0 X-36.498 Y17.284
 ;TYPE:WALL-INNER
 G1 F1500 E816.6397
 G1 F2225.7 X-36.602 Y17.465 E816.6449
 G1 X-36.808 Y17.465 E816.65004
 G1 X-36.912 Y17.284 E816.65525
 G1 X-36.809 Y17.106 E816.65984
 G1 X-36.601 Y17.106 E816.6645
 G1 X-36.498 Y17.284 E816.66908
 G0 F7200 X-36.036 Y17.285
 ;TYPE:WALL-OUTER
 G1 F1112.8 X-36.37 Y17.865 E816.68578
 G1 X-37.04 Y17.865 E816.70249
 G1 X-37.374 Y17.285 E816.71919
 G1 X-37.04 Y16.706 E816.73586
 G1 X-36.37 Y16.706 E816.75257
 G1 X-36.036 Y17.285 E816.76925
 G0 F7200 X-36.135 Y17.458
 G1 F1500 E810.26925
 G0 F7200 X-36.598 Y17.284
 G0 X-36.611 Y15.841
 G0 X-36.611 Y4.73
 G0 X-36.611 Y3.445
 G0 X-36.498 Y3.284
 ;TYPE:WALL-INNER
 G1 F1500 E816.76925
 G1 F2225.7 X-36.602 Y3.465 E816.77446
 G1 X-36.808 Y3.465 E816.77959
 G1 X-36.912 Y3.284 E816.7848
 G1 X-36.809 Y3.106 E816.78939
 G1 X-36.601 Y3.106 E816.79405
 G1 X-36.498 Y3.284 E816.79863
 G0 F7200 X-36.036 Y3.285
 ;TYPE:WALL-OUTER
 G1 F1112.8 X-36.37 Y3.865 E816.81533
 G1 X-37.04 Y3.865 E816.83204
 G1 X-37.374 Y3.285 E816.84874
 G1 X-37.04 Y2.706 E816.86541
 G1 X-36.37 Y2.706 E816.88212
 G1 X-36.036 Y3.285 E816.8988
 G0 F7200 X-36.135 Y3.458
 G1 F1500 E810.3988
 ;MESH:NONMESH
 G0 F600 X-36.135 Y3.458 Z91.2
 G0 F7200 X-36.598 Y3.284
 G0 X-35.409 Y2.642
 G0 X23.408 Y2.58
 G0 X24.518 Y3.221
 G0 X24.846 Y3.363
 ;TIME_ELAPSED:16812.632973
 ;LAYER:606
 ;TYPE:WALL-OUTER
 ;MESH:part3.stl
 G1 F1500 E816.8988
 G1 F600 X24.705 Y3.421 E816.9026
 G1 X24.564 Y3.361 E816.90642
 G1 X24.507 Y3.222 E816.91017
 G1 X24.566 Y3.083 E816.91394

					KPM.KI.2.884-03.3.7	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		104

G1 X24.705 Y3.024 E816.91738
 G1 X24.844 Y3.081 E816.92081
 G1 X24.904 Y3.222 E816.92431
 G1 X24.846 Y3.363 E816.92779
 G0 F7200 X24.705 Y3.421
 G0 X24.661 Y3.403
 G1 F1500 E810.42779
 G0 F7200 X24.701 Y3.311
 G0 X24.705 Y4.286
 G0 X24.705 Y16.159
 G0 X24.705 Y17.044
 G0 X24.846 Y17.363
 G1 F1500 E816.92779
 G1 F600 X24.705 Y17.421 E816.93159
 G1 X24.564 Y17.361 E816.93541
 G1 X24.507 Y17.222 E816.93916
 G1 X24.566 Y17.083 E816.94293
 G1 X24.705 Y17.024 E816.94637
 G1 X24.844 Y17.081 E816.94979
 G1 X24.904 Y17.222 E816.95329
 G1 X24.846 Y17.363 E816.95678
 G0 F7200 X24.705 Y17.421
 G0 X24.661 Y17.403
 G1 F1500 E810.45678
 G0 F7200 X24.701 Y17.311
 G0 X23.642 Y17.222
 G0 X-35.642 Y17.285
 G0 X-36.527 Y17.285
 G0 X-36.564 Y17.424
 G1 F1500 E816.95678
 G1 F600 X-36.705 Y17.484 E816.9606
 G1 X-36.846 Y17.426 E816.9644
 G1 X-36.904 Y17.285 E816.9682
 G1 X-36.847 Y17.145 E816.97198
 G1 X-36.705 Y17.087 E816.97548
 G1 X-36.563 Y17.147 E816.979
 G1 X-36.507 Y17.285 E816.9824
 G1 X-36.564 Y17.424 E816.98583
 G0 F7200 X-36.705 Y17.484
 G0 X-36.748 Y17.467
 G1 F1500 E810.48583
 G0 F7200 X-36.708 Y17.375
 G0 X-36.705 Y16.222
 G0 X-36.705 Y4.349
 G0 X-36.705 Y3.464
 G0 X-36.564 Y3.424
 G1 F1500 E816.98583
 G1 F600 X-36.705 Y3.484 E816.98966
 G1 X-36.846 Y3.426 E816.99346
 G1 X-36.904 Y3.285 E816.99726
 G1 X-36.847 Y3.145 E817.00103
 G1 X-36.705 Y3.087 E817.00453
 G1 X-36.563 Y3.147 E817.00805
 G1 X-36.507 Y3.285 E817.01145
 G1 X-36.564 Y3.424 E817.01489
 G0 F7200 X-36.705 Y3.484
 G0 X-36.748 Y3.467
 ;TIME_ELAPSED:16815.857156
 G1 F1500 E810.51489
 M140 S0
 M107
 M400 ;Free buffer
 G91 ;relative positioning

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

```

G1 E-1 F300 ;retract the filament a bit before lifting the nozzle, to release some of the pressure
G1 F120 Z+1 E-5 ;move Z up a bit and retract filament even more
G90 ;absolute positioning
M104 S0 ;extruder heater off
M140 S0 ;heated bed heater off
M107 ;fan off
M84 ;steppers off
G28 ;move to endstop
M84 ;steppers off
M82 ;absolute extrusion mode
M104 S0
;End of Gcode
;SETTING_3 {"global_quality": "[general]\\nversion = 4\\nname = Normal #2\\ndefi
;SETTING_3 nition = anycubic_kossel_linear_plus\\n\\n[metadata]\\nntype = quality
;SETTING_3 _changes\\nquality_type = fast\\nsetting_version = 16\\n\\n[values]\\
;SETTING_3 nadhesion_type = brim\\nsupport_enable = True\\nsupport_type = buildp
;SETTING_3 late\\n\\n", "extruder_quality": "[general]\\nversion = 4\\nname = N
;SETTING_3 ormal #2\\ndefinition = anycubic_kossel_linear_plus\\n\\n[metadata]\\
;SETTING_3 ntype = quality_changes\\nquality_type = fast\\nsetting_version = 16\\
;SETTING_3 nposition = 0\\n\\n[values]\\nsupport_angle = 80\\nsupport_infill_ra
;SETTING_3 te = 10\\nsupport_line_distance = 5\\nsupport_pattern = lines\\nsuppo
;SETTING_3 rt_top_distance = 0.3\\n\\n"}

```

					<i>KPM.KI.2.884-03.3.7</i>	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ОБГРУНТУВАННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ СТАРОВИННИХ МЕХАНІЗМІВ У ВИГЛЯДІ 3D-МОДЕЛЕЙ

- *Краще розуміння механізмів*
- *Інтерактивні навчальні матеріали*
- *Довготривале зберігання*
- *Механічний аналіз*
- *Реконструкція археологічних знахідок*
- *Доступність для широкої аудиторії*
- *Інтеграція інформації*
- *Віртуальна реальність (VR) та доповнена реальність (AR)*

4

Рис. Б.4 – Обґрунтування збереження старовинних механізмів

ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

- *Реставрація та реконструкція історичних механізмів*
- *Проектування нових моделей на основі старих креслень*
- *Відновлення втрачених або пошкоджених креслень*
- *Створення цифрових архівів*
- *Відновлення історичних архітектурних пам'яток*
- *Відновлення археологічних предметів*
- *Прототипування оригінальних дизайнів*

5

Рис. Б.5 – Галузі застосування технології створення 3D-моделей

ТРУДНОЩІ У ПРОЦЕСІ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ МИНУЛОГО ЧАСУ

- *Відсутність точних вимірів*
- *Неповні або нечіткі деталі*
- *Зношення та пошкодження*
- *Зміни у технології та стандартах*
- *Обмежена доступність вхідних даних*

АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ ТРУДНОЩІВ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ

- *Додаткове дослідження та експертна оцінка*
- *Використання сучасного CAD-програмного забезпечення*
- *Реверс-інжиніринг*

6

Рис. Б.6 – Труднощі створення 3D-моделей та алгоритм для їх подолання

					KPM.KI.0.884-03.3.7	Арк. 108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Сучасні аналоги

Компанії та фрілансери

1. *3D Way*
2. *3D Evolution*
3. *Freelancer.com*
4. *Upwork*
5. *British Museum*
6. *UNESCO*

Університети та ВНЗ України

1. *Національний університет "Кієво-Могилянська академія"*
2. *Національний університет "Львівська політехніка"*
3. *Київський національний університет будівництва та архітектури*
4. *Харківський державний університет будівництва та архітектури*

7

Рис. Б.7 – Сучасні аналоги

Задачі проекту

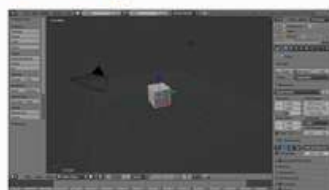
1. Вивчення існуючих методів створення 3D-моделей за кресленнями та малюнками та аналіз їх застосовності для старовинних механізмів.
2. Розробка нових підходів та методів для створення 3D-моделей старовинних механізмів, що враховують особливості та складності даного типу механізмів.
3. Аналіз існуючого програмного забезпечення, що застосовується для отримання аналогічних моделей та їх покращення.
4. Розробка технології використання програмного забезпечення, заснованого на існуючих методах та підходах.
5. Тестування та оцінка точності та деталізації створених 3D-моделей на прикладі кількох старих механізмів.
6. Підготовка документації до використання розроблених методів, застосування сучасного програмного забезпечення та покращення отриманих результатів.

8

Рис. Б.8 – Задачі проекту

ОГЛЯД ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

1. Autodesk 3ds Max
2. Autodesk AutoCAD
3. Blender
4. Autodesk Maya
5. SolidWorks
6. SketchUp



9

Рис. Б.9 – Огляд програмного забезпечення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

KPM.KI.0.884-03.3.7

Арк.

109

Кроки використання програми Blender для отримання 3D-моделей

1. Імпорт креслень
2. Створення об'єктів
3. Модифікація та деталізація
4. Використання скетчу
5. Текстурування та матеріали
6. Перевірка та доопрацювання
7. Розбиття на компоненти
8. Експорт моделі
9. Налаштування принтера
10. Друк моделі
11. Постобробка

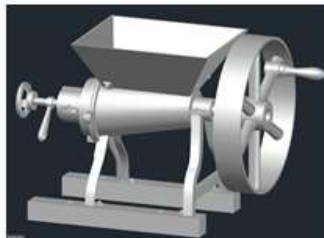
10

Рис. Б.10 – Кроки використання програми Blender

Створення 3D-моделі зернового млина



Фото зернового млина моделі Queen City Grinding Mill



Модель зернового млина зроблена за фото

11

Рис. Б.11 – Створення 3D-моделі зернового млина

Послідовність створення 3D-моделі зернового млина



12

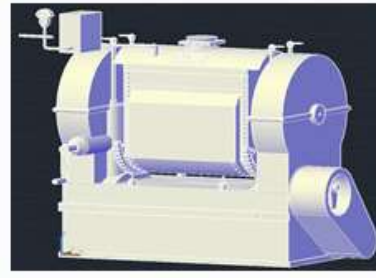
Рис. Б.12 – Послідовність створення 3D-моделі зернового млина

					КРМ.КІ.0.884-03.3.7	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Створення 3D-моделі тістомісної моделі Titan Type Dough Mixer



Фото тістомісної моделі Titan Type Dough Mixer



Модель тістомісної моделі Titan Type Dough Mixer створена за фото

13

Рис. Б.13 – Створення 3D-моделі тістомісної моделі

Модель тістомісу надрукована на 3D-принтері



14

Рис. Б.14 – Модель тістомісу надрукована на 3D-принтері

Техніко-економічні показники проекту

Показники	Значення показника
Термін розробки проекту, дні	80,5
Об'єм виробництва, шт./рік	3168
-до впровадження проекту	3960
-після впровадження проекту	
Ціна проекту, грн.	35202
Капітальні витрати, грн.	41522
Поточні витрати, грн./рік	206174
Строк окупності, міс.	9,72
Економічна ефективність	1,24

15

Рис. Б.15 – Техніко-економічні показники

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

KPM.KI.0.884-03.3.7

Арк.

111

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Наукова новизна

У кваліфікаційній роботі запропонована технологія створення 3D-моделей на основі креслень і фотографій старих механізмів, яка передбачає врахування всіх особливостей утрачених механізмів, використання сучасних засобів прототипування, поширеного програмного забезпечення, застосування недорогих домашніх 3D-принтерів.

Пропонується вдосконалена методика створення тривимірних моделей на основі алгоритмів обробки даних, вирівнювання зображень, відновлення утрачених деталей, яка уділяє особливу увагу унікальним особливостям і складності відновлення старих механізмів

Практичне значення

Отримані тривимірні моделі були порівняні з вхідними кресленнями та фотографіями. Було проведено зіставлення та оцінка достовірності та точності створених моделей. Виявлені розбіжності чи спотворення було проаналізовано та пояснено.

З використанням алгоритмів обробки даних та методів моделювання утрачені чи пошкоджені деталі можуть бути відновлені у моделі виробу

16

Рис. Б.16 – Результати досліджень та загальні висновки

					<i>KPM.KI.0.884-03.3.7</i>	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		