

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Мультифункціональна платформа для
екструзійного друку біомедичних виробів

Виконав: студент IV курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Фука П.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тим Є.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Цебрій О.С.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль -2025

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«__» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)
Студенту Фуці Павлу Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи Мультифункціональна платформа для екструзійного друку біомедичних виробів
Керівник роботи Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «27» 01 2025 року № 4/7-53
2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.06. 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ.

1. Аналіз технічного завдання.

2. Проектна частина.

3. Практична частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Огляд аналогів

2. Елементи шприцевого насосу та платформа в зборі

3. Схема під'єднання електронних компонентів шприцевого насосу

4. Скріншоти програмного коду в Arduino IDE

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 27.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Фукса П.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Фука П.О. Мультифункціональна платформа для екструзійного друку біомедичних виробів: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. — 54 с.

Ключові слова: біомедичний 3d-принтер, екструзійний друк, мультифункціональна платформа, система управління

Кваліфікаційна робота присвячена розробці мультифункціональної платформи для екструзійного друку із системою управління..

У ході дослідження було проведено аналіз існуючих методів та технологій у галузі 3D друку, а також вивчено особливості та вимоги біомедичних досліджень та промислових процесів. Це дозволило визначити основні характеристики та функціональні можливості мультифункціональної платформи.

Деталі платформи розроблені у SolidWorks, їх у подальшому було надруковано на 3D принтері. Спроековано та зібрано шприцеву систему, розроблено програмне забезпечення для керування шприцевим насосом на базі середовища Arduino. Також модифіковано прошивку на основі Marlin для забезпечення контролю систем платформи. Під час проведеного загального тестування було підтверджено, що розроблена система працює чітко до встановлених вимог та показує високу точність і ефективність при друці.

Розробка такої мультифункціональної платформи є значним внеском у область 3D друку та біомедичних технологій. Створена платформа має низку переваг та інноваційних особливостей, які можуть відіграти важливу роль у різних сферах застосування.

ANNOTATION

Fuka P. Multifunctional platform for extrusion printing of biomedical products: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2025. — 54 p.

Keywords: biomedical 3d printer, extrusion printing, multifunctional platform, control system

The bachelor thesis deals with the development of a multifunctional platform for extrusion printing with a control system.

During the study, an analysis of existing methods and technologies in the field of 3D printing was conducted, as well as the features and requirements of biomedical research and industrial processes were studied. This made it possible to determine the main characteristics and functional capabilities of the multifunctional platform.

The details of the platform were developed in SolidWorks, they were subsequently printed on a 3D printer. The syringe system was designed and assembled, software for controlling the syringe pump was developed based on the Arduino environment. The firmware based on Marlin was also modified to ensure control of the platform systems. During the general testing, it was confirmed that the developed system works strictly according to the established requirements and shows high accuracy and efficiency when printing.

The development of such a multifunctional platform is a significant contribution to the field of 3D printing and biomedical technologies. The created platform has a number of advantages and innovative features that can play an important role in various fields of application.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	11
1.1 Аналіз існуючих підходів до 3D-друку біогелями та рідинами.....	11
1.1.1 Матеріали для 3D-друку.....	11
1.1.2 Технології 3D-друку біогелями та рідинами.....	12
1.1.3 Застосування 3D-друку в біомедичних дослідженнях та промисловості ..	13
1.2 Дослідження принципів роботи біомедичних 3D-принтерів	13
1.3 Огляд існуючих мультифункціональних платформ та їх застосування.....	14
1.4 Опис способів керування 3D-принтером.....	18
1.4.1 ПЗ для керування 3D –принтером	18
1.4.2 Апаратне забезпечення для керування 3D-принтером.....	23
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	25
2.1 Вибір обладнання	25
2.1.1 Вибір материнської плати	25
2.1.2 Вибір крокових двигунів	26
2.1.3 Вибір нагрівального елемента	27
2.1.4 Вибір вентилятора.....	28
2.2 Розробка деталей мультифункціональної платформи у програмі SolidWorks та їх виготовлення	29
2.2.1 Опис програмного інструменту SolidWorks.....	29
2.2.2 Підготовка тривимірних моделей деталей у програмі SolidWorks.....	31
2.2.3 Друк деталей на 3D принтері	32

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Фука П.О.						Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник.		Баран І.О.									
Реценз.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42			
Н. Контр.		Тиш Є.В,									
Затверд.		Осухівська Г.М									

2.3	Процес розробки шприцевого насоса для мультифункціональної платформи	34
2.3.1	Складання шприцевого насоса з надрукованих деталей.....	34
2.3.2	Під'єднання електронних компонентів до шприцевого насосу	34
2.4	Розробка ПЗ для керування шприцевим насосом	36
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА		39
3.1	Архітектура ПЗ	39
3.2	Узагальнення до розділу.....	44
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		45
4.1	Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.....	45
4.2	Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.....	47
ВИСНОВКИ.....		51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		53
ДОДАТКИ		
Додаток А Технічне завдання		
Додаток Б Фрагмент скрипта керування шприцевим насосом		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

3D –принтер – пристрій, за допомогою якого можна створювати реальні просторові об'єкти з різних матеріалів/

Біогель – розчинний препарат однорідної структури на основі натуральних компонентів, що входять до складу епідермісу.

Біодрук – технологія, яка дозволяє створювати біологічні конструкції з живих клітин та біокомпозитних матеріалів за допомогою 3D-друку.

Екструдер – вузол 3D-принтера, що забезпечує рівномірне видавлювання вибраного матеріалу для формування шарів 3D- моделі.

ПЗ – програмне забезпечення.

Слайсер – комп'ютерна програма, яка підготовляє цифрову модель об'єкта для друку для 3D- принтера.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В останні роки 3D-друк став важливим інструментом у різних галузях, включаючи біомедицину, де він використовується для створення різних біологічних об'єктів, таких як тканини, органи та протези.

Мультифункціональна платформа для екструзійного друку із системою управління є новою технологією, яка може мати величезний потенціал для біомедичних досліджень. Вона дозволяє друкувати складні структури з біогелів та рідин, які можуть використовуватись у різних додатках, таких як біомедична діагностика, лікарська терапія та інженерія тканин.

У сучасному світі існує безліч проблем у сфері охорони здоров'я, зокрема нестача донорських органів та складність виробництва дорогих протезів. 3D-друк може вирішити деякі з цих проблем, дозволяючи створювати органи та протези за індивідуальними вимогами пацієнта, що покращує ефективність та якість лікування.

Таким чином, мультифункціональна платформа для екструзійного друку з системою управління є актуальною темою в даний час, оскільки вона є важливим інструментом для створення нових технологій у галузі біомедичної техніки, який може покращити здоров'я людей та збільшити їх тривалість життя.

Існуючі на ринку біомедичні 3D-принтери, як правило, мають обмежену функціональність і здатні працювати лише з певними матеріалами. У той час як мультифункціональна платформа дозволяє працювати з різними біогелями та рідинами, що робить її більш універсальною та функціональною порівняно з іншими 3D-принтерами.

Мета роботи – розробка мультифункціональної платформи для екструзійного друку із системою управління, яка здатна здійснювати друк рідинами та біогелями для створення біомедичних продуктів.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

– проаналізувати існуючі підходи до екструзійного друку, а також існуючі біоматеріали, що використовуються в біомедичному друці;

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити конструкцію мультифункціональної платформи, яка дозволить проводити друк рідинами та біогелями з високою точністю та якістю;
- створити систему керування друку, яка контролюватиме параметри друку, такі як температура, швидкість, кількість матеріалу, для забезпечення високої точності та якості друку;
- провести експериментальні дослідження мультифункціональної платформи для екструзійного друку із системою управління та оцінити практичну значущість дослідження.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд наявних підходів до 3D-друку біогелями та рідинами

3D-друк біогелями та рідинами - це новий напрямок у 3D-технологіях, який знаходить все більше застосування в медичних технологіях. Він дає змогу створювати біологічно сумісні та точні моделі для лабораторних досліджень, створення прототипів медичних імплантатів, створення функціональних тканин та органів та навіть створення їжі для людей з різними харчовими потребами.

У цьому підрозділі розглядаються існуючі підходи до 3D-друку біогелями та рідинами. Вони можуть бути поділені на дві категорії: матеріали для 3D-друку та методи друку.

1.1.1 Матеріали для 3D-друку

Один з основних параметрів для 3D-друку біогелями та рідинами – це їх реологічні властивості. Тип матеріалу, його властивості та концентрація впливають на реологічні властивості і, отже, на можливість та якість 3D-друку.

Існує безліч матеріалів для 3D-друку біогелями та рідинами, включаючи гідрогелі, харчові матеріали, смоли, метали та ін. Гідрогелі є найбільш поширеним матеріалом для 3D-друку біологічних об'єктів. Вони мають високу біосумісність, механічну міцність і можуть бути функціоналізовані для конкретних застосувань [1]. Приклад друку гідрогелями представлений на рис. 1.1.

Також існують матеріали на основі білків та клітин. Ці матеріали, зазвичай, виробляються з використанням біоекструзійних методів, які дозволяють зберігати високу життєздатність клітин у процесі друку.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Фука П.О.						Літ.	Арк.
Керівник.	Баран І.О.							Аркушів
Реценз.								
Н. Контр.	Тиш Є.В.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42	
Затверд.	Осухівська Г.М							

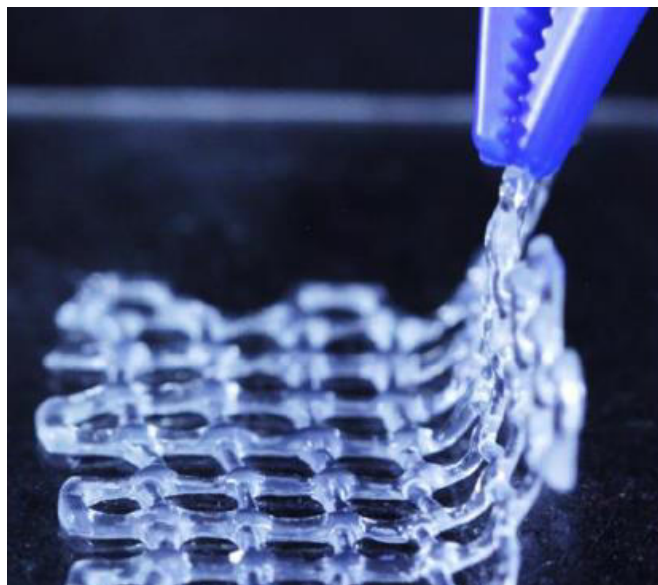


Рисунок 1.1 – Гідрогель, що використовується для 3D- друку

1.1.2 Технології 3D-друку біогелями та рідинами

Для 3D-друку біогелями та рідинами застосовуються різні технології, при чому кожна з них володіє своїми особливостями та перевагами. Основні технології включають:

- екструзійний 3D-друк: при цій технології матеріал подається через насадку і екструдер, після чого друкується шар за шаром. Ця технологія добре підходить для друку біогелів, оскільки вони мають достатню в'язкість і не течуть.
- стереолітографія: рідкий матеріал полімеризується при дії світла, створюючи шари для друку. Стереолітографія дозволяє друкувати високоточні та деталізовані моделі, але може бути обмежена у виборі матеріалів [3];
- лазерний 3D-друк: за цієї технології лазером впливають на порошковий матеріал, який твердне і створює модель шар за шаром. Цей метод дозволяє друкувати високоточні та деталізовані моделі з рідких матеріалів, але може бути обмежений у виборі матеріалів та вимогливий до умов друку [4];
- інжекційний 3D-друк: при цій технології матеріал інжектуються через голку, щоб створити модель. Він може використовуватися як для друку рідких матеріалів, так і біогелів, але може бути обмежений у виборі матеріалів і вимог до них [5].

1.1.3 Застосування 3D-друку в біомедичних дослідженнях та промисловості

Варто розглянути такі сфери застосування 3D-друку в біомедицині:

- виготовлення протезів та імплантатів для заміни пошкоджених або відсутніх тканин та органів;
- створення моделей для планування операцій та навчання студентів та молодих фахівців;
- виготовлення мікрочіпів та біосенсорів для діагностики захворювань;
- виготовлення фармацевтичних продуктів з певною формою та дозуванням.

Крім того, 3D-друк також застосовується у промисловості:

- створення прототипів та функціональних деталей для різних галузей промисловості, включаючи авіацію, машинобудування, електроніку та ін.;
- виготовлення форм та прес-форм для лиття металів та пластмас;
- виготовлення інструментів для обробки та контролю якості виробів.

Процес створення 3D-надрукованих об'єктів у біомедичних дослідженнях та промисловості може включати такі етапи:

- створення 3D-моделі об'єкта у спеціальному ПЗ;
- розбиття моделі на шари та генерація файлів для 3D-принтера;
- підготовка матеріалу для 3D-друку (наприклад, завантаження біогеля або рідини в картридж);
- 3D-друк об'єкта на мультифункціональній платформі;
- післядрукарська обробка об'єкта (наприклад, видалення підтримок, полірування, обробка поверхні).

1.2 Дослідження принципів роботи біомедичних 3D-принтерів

Проведення такого дослідження є важливим кроком у розробці мультифункціональної платформи для екструзійного друку. Біомедичні 3D принтери використовуються для створення тривимірних об'єктів, виготовлених

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з біологічно сумісних матеріалів, таких як біогелі та рідини, які використовуються у медичних дослідженнях та промисловості.

Принцип роботи біомедичних 3D принтерів полягає в тому, що вони використовуються для створення об'єктів шляхом накладання шарів матеріалу на основу. Для цього принтери використовують екструдер, який переміщається вздовж трьох координат (вісь X, Y та Z) і насаджує матеріал на поверхню. Кожен шар наноситься на основу послідовно, доки не буде створено тривимірний об'єкт.

Основний елемент біомедичного 3D принтера - це головка друку (екструдер або шприцевий насос), яка переміщається по тривимірному простору і наносить матеріал на поверхню. Вона, зазвичай, складається із сопла, двигуна та пристрою для подачі матеріалу. Двигун переміщує сопло, а пристрій для подачі матеріалу допомагає контролювати кількість матеріалу, який буде насаджений на поверхню.

Для створення біомедичного 3D принтера також потрібне використання спеціального ПЗ, котре керує друком та забезпечує точність та якість об'єктів. Це ПЗ керує переміщенням головки друку та регулює кількість матеріалу, яка буде використана під час друку кожного шару. Воно також може регулювати температуру та інші параметри, які можуть впливати на якість друку.

Таким чином, дослідження принципів роботи біомедичних 3D принтерів включає вивчення та розуміння основних елементів принтера, таких як головка друку, ПЗ та апаратне забезпечення.

1.3 Огляд існуючих мультифункціональних платформ та їх застосування

Мультифункціональні платформи є комплексним рішенням для 3D-друку, що поєднує кілька функціональних модулів в одній системі. Вони можуть мати різні конфігурації та комплектації, включаючи модулі для друку різних матеріалів, системи дозування та переміщення рідин, термостатування, осушення та ін.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому підрозділі розглядаються існуючі мультифункціональні платформи для 3D-друку з можливістю екструзійного друку біогелями та рідинами. Описуються особливості цих платформ, їх можливості та застосування у різних сферах, включаючи медицину, науку та виробництво.

Одним із прикладів таких платформ є BioBots, яка дозволяє друкувати живі клітини з допомогою рідких матеріалів. Платформа оснащена високоточним рухом у трьох вимірах, що дозволяє друкувати складні конструкції. Вона також має можливість використання декількох різних матеріалів та методів друку. Принтер від BioBots представлений на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Біомедичний 3D принтер, створений компанією BioBots

Ще один приклад мультифункціональної платформи для 3D -друку - це робот- маніпулятор, розроблений дослідницькою групою з університету Carnegie Mellon. Ця платформа призначена для 3D-друку біологічних матеріалів, таких як клітини, тканини та біополімери, і може використовуватися для створення складних структур, таких як кровоносні судини та органи. Робот-маніпулятор має кілька насадок, які можуть змінюватись в залежності від конкретного матеріалу та завдання, яке необхідно виконати. Мультифункціональна платформа, створена університеті Carnegie Mellon, представлена на рис. 1.3.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

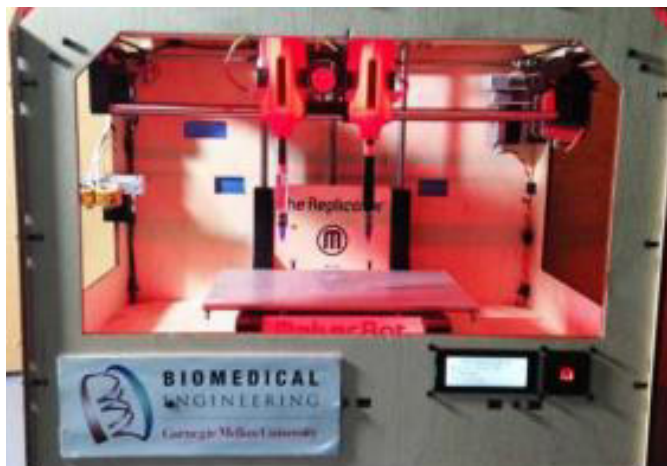


Рисунок 1.3 – Мультифункціональна платформа, розроблена в університеті Carnegie Mellon

Ще один приклад – мультифункціональна платформа, розроблена дослідницькою групою з університету Harvard. Вона використовується для 3D - друку живих клітин та тканин, у тому числі для створення органів для трансплантації. Платформа використовує спеціальні гелеві матеріали, які можуть бути надруковані в шарах, утворюючи складні структури, Вона представлена на рис. 1.4.

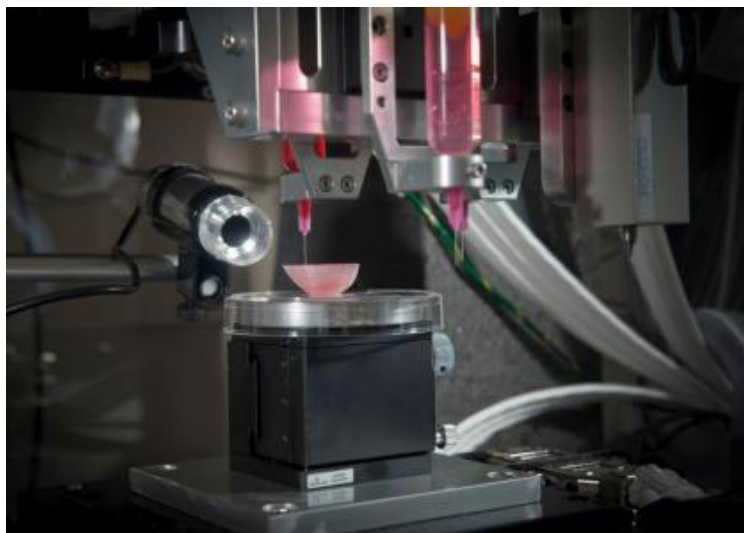


Рисунок 1.4 – Мультифункціональна платформа, розроблена дослідницькою групою з університету Harvard

Також існують мультифункціональні платформи, що базуються на

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології змішування та екструзії різних матеріалів. Ці платформи можуть бути успішно застосовані для побудови складних об'єктів, що складаються з декількох матеріалів, наприклад для створення імітацій органів для навчання медичних студентів.

Крім того, багато існуючих 3D -принтерів, призначених для друку пластику, також можуть бути модифіковані для друку біогелів і рідин шляхом заміни сопел і налаштування параметрів друку.

Всі ці платформи мають свої особливості та застосування, і вибір конкретної платформи залежить від конкретних завдань та потреб.

При виборі мультифункціональної платформи необхідно враховувати такі параметри як якість друку, точність, можливість використання різних матеріалів, швидкість друку та наявність додаткових функцій, таких як автоматичне змішування матеріалів.

Мультифункціональні платформи знайшли широке застосування у біомедичних дослідженнях та промисловості. У цьому підрозділі розглянемо основні сфери застосування мультифункціональних платформ та їх можливості:

- біодрук: мультифункціональні платформи здатні бути застосованими для формування тривимірних біологічних конструкцій, таких як тканини, органи та кістки, методом біодруку. Платформи в цьому випадку забезпечують точність позиціонування та дозування клітин та матеріалів, а також контроль над довкіллям, включаючи температуру, вологість та вміст газів. Це дозволяє створювати більш складні та функціональні біологічні конструкції, які здатні бути використаними у біомедичних дослідженнях та медицині;

- створення мікрочіпів: мультифункціональні платформи можуть використовуватися для створення мікрочіпів, які використовуються в біомедичних дослідженнях та промисловості. Мікрочіпи можуть містити клітини, білки та інші біологічні компоненти, які можна застосувати для проведення аналізу біологічних процесів та діагностики хвороб;

- електроніка та нанотехнології: мультифункціональні платформи здатні бути застосованими для побудови мікроелектронних та наноелектронних

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроїв з різними функціями, такими як давачі, актуатори, оптичні пристрої та ін.;

– матеріалознавство: за допомогою мультифункціональних платформ можна досліджувати та створювати нові матеріали з певними властивостями, такі як міцність, гнучкість, провідність тощо;

– аналітика: мультифункціональні платформи можуть використовуватися для аналізу біологічних та хімічних зразків, таких як кров, сеча, харчові продукти і т.д.;

– фармацевтика: мультифункціональні платформи ймовірно використати для створення власне новітніх лікарських засобів, а також для дослідження та оптимізації існуючих;

– промисловість: мультифункціональні платформи ймовірно застосовувати з метою створення оновлених продуктів та оптимізації властиво виробничих процесів у різноманітних промислових сферах.

Можливості мультифункціональних платформ включають створення складних структур, застосування різних матеріалів, інтеграцію функцій, високу точність і контроль, а також автоматизацію процесів. Крім того, мультифункціональні платформи можна використати для можливого створення персоналізованих виробів, таких як медичні імпланти, протези та ортези, що може покращити якість життя пацієнтів.

1.4 Опис способів керування 3D-принтером

У цьому підрозділі розглядаються способи керування 3D-принтером, включаючи принципи роботи та ПЗ. Описуються різні методи керування принтером, такі як пряме керування, керування через інтерфейс користувача та автоматичне керування.

1.4.1 ПЗ для керування 3D -принтером

Є абсолютно необхідним компонентом при роботі з 3D -друком. Воно

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє контролювати процес друку та налаштовувати параметри, як то швидкість, температура і товщина шару покриття. Є множина ПЗ для керування 3D -принтерами, і кожне з них має свої унікальні особливості та можливості.

Принтер для друку 3D -моделей отримує команди із файлу, в якому записано особливий код. Для створення таких файлів потрібне особливе ПЗ - програми-слайсери.

Технологія створення об'ємної фігури має на увазі її пошаровий набір. Додаток-слайсер нарізає її на шари заданої товщини, і принтер, зчитуючи закодовану інформацію, створює потрібний об'єкт [6].

Є два основні види слайсерів: універсальні і корпоративні (або спеціалізовані). Як правило спеціалізовані розроблені для якоїсь однієї технології, торгової марки чи модельної лінійки пристроїв. Універсальний є вид володіє більшою різноманітністю у налаштуваннях і розрахований для використання із широким набором сумісних пристроїв.

Кінцевий результат властиво друку залежить чи не більше від роботи слайсера, аніж від функціональності власне принтера. Одним з найпопулярніших додатків-слайсерів є Cura. Воно безкоштовне та підтримує велику кількість 3D -принтерів різних виробників. Cura дозволяє користувачам налаштовувати всі параметри друку, включаючи швидкість, температуру, матеріал та товщину шару. Також має функцію попереднього перегляду моделі та дозволяє налаштовувати підтримку для більш складних об'єктів. Функціонал програми представлений на рис. 1.5.

У всіх слайсерах їх інтерфейс є розбитим на окремі блоки-рубрики налаштувань.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

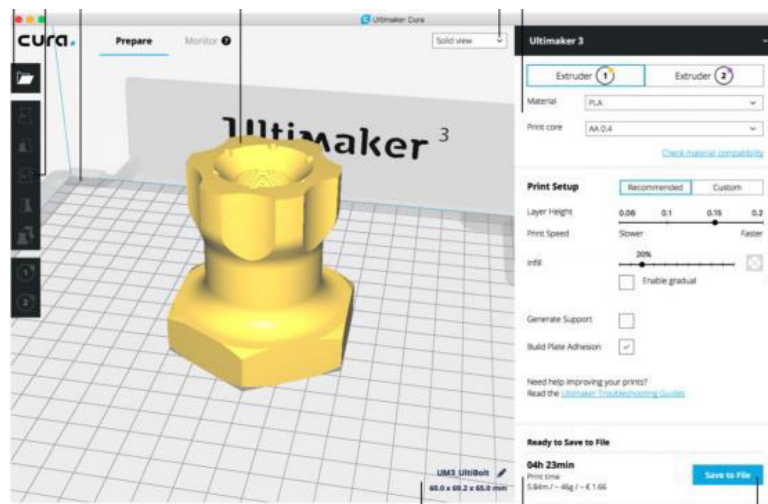


Рисунок 1.5 – Інтерфейс та функціонал програми Cura

Демонстрація роботи слайсера представлена на рис. 1.6.

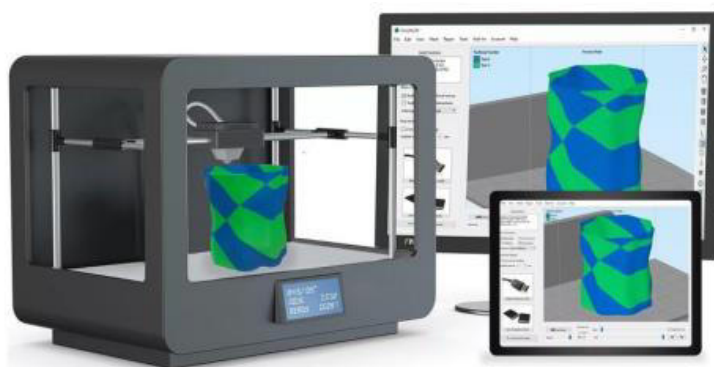


Рисунок 1.6 – Демонстрація роботи слайсера Cura

Іншим популярним ПЗ є Simplify3D. Це комерційне ПЗ з широким спектром можливостей. Воно дозволяє налаштовувати множину параметрів, таких як шлях руху головки друку і налаштування підтримки. Воно також має функцію попереднього перегляду та генерує код G-коду для 3D-принтера. Інтерфейс програми представлений на рис. 1.7.

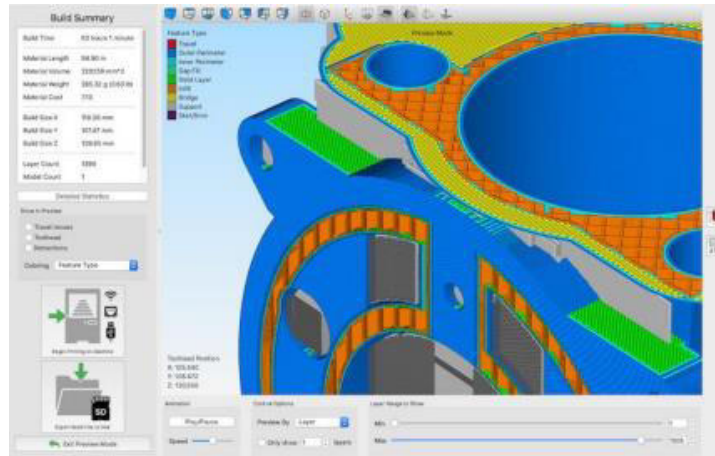


Рисунок 1.7 – Інтерфейс та функціонал програми Simplify3D

У галузі біомедичних досліджень та промисловості, де потрібні складніші та точніші моделі, використовуються спеціалізовані програмні продукти, такі як Materialise Magics та Netfabb. Вони надають додаткові функції, такі як ремонт моделей та підтримка великих файлів. Інтерфейс програми Netfabb представлений на рис. 1.8.

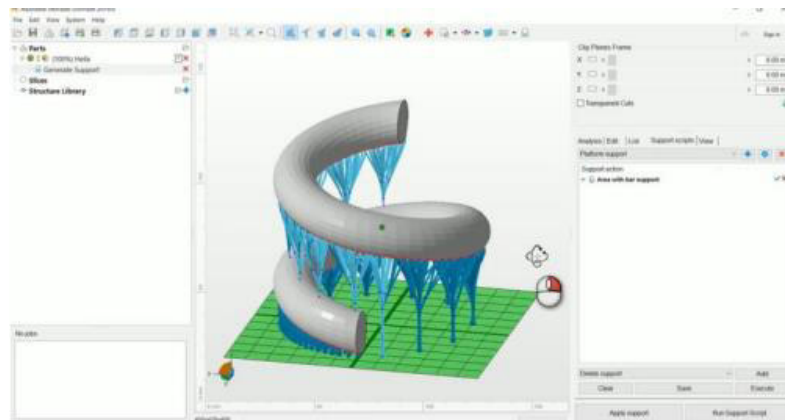


Рисунок 1.8 – - Інтерфейс та функціонал програми Netfabb

Крім того, існують відкриті бібліотеки коду для керування 3D-принтерами, такі як Marlin та Repetier, які дозволяють користувачеві налаштовувати та змінювати код для керування принтером. Це є важливим аспектом для розробників, які хочуть створювати власні функції і управляти 3D -принтером більш гнучко. Для того, щоб налаштовувати та змінювати код, необхідно зробити ретельне налаштування прошивки 3D-принтера. Прошивка - це «інтелект» 3D-

принтера, його основна програма, яка дозволяє обробити команди, отримані зі слайсера, реалізувавши його в конкретні дії та характеристики дій, що виконуються апаратною частиною 3D-принтера [7]. Прошивка 3D -принтера визначає полярність, напругу та тривалість імпульсу на мотори, необхідні щоб перемістити екструдер по осях, після чого прошивка відправляє електричні сигнали до цих двигунів. Так само прошивка перетворює команди на дії кулера, нагрівачів та інших елементів 3D -принтера. Додатковими функціями є виведення інформації щодо процесу друку, друкування із карти пам'яті SD, забезпечення керування принтером із використанням інтерфейсів та ін.

Поділ прошивок можна зробити за типом мікроконтролера, котрий підтримується, і на різноманітні вітки однієї базової прошивки [8].

Найчастіше в бюджетних принтерах встановлені плати Arduino. Для перепрошивки принтера або створення власного ПЗ використовується ArduinoIDE, приклад перепрошивки представлений на рис. 1.9.

```
#define HOMING_FEEDRATE {50*60, 50*60, 4*40, 0} // set the homing speeds (mm/min)

// default settings

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {106.67,106.67,4000,759.9} // default steps per unit
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {300, 300, 5, 25} // (mm/sec)
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {4000,4000,100,10000} // X, Y, Z, E maximum start

#define DEFAULT_ACCELERATION 2500 // X, Y, Z and E acceleration in mm/s^2 for j
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // E acceleration in mm/s^2 for retracts
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 2500 // X, Y, Z acceleration in mm/s^2 for travel

// The speed change that does not require acceleration (i.e. the software might assume it
#define DEFAULT_XYJERK 20.0 // (mm/sec)
#define DEFAULT_ZJERK 0.4 // (mm/sec)
#define DEFAULT_EJERK 5.0 // (mm/sec)
```

Рисунок 1.9 – Приклад перепрошивки у ArduinoIDE

Також перепрошивка принтера може вирішувати типові проблеми, що виникають у разі неполадок у ПЗ:

- якщо 3D -принтер зависає в процесі виконання друку, особливо якщо це відбувається за однакових умов (висока швидкість друку, початковий етап роботи);
- якщо потрібне покращення та/або заміна старої плати керування на

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нову, яка не сумісна з поточною версією прошивки.

В цілому, ПЗ для керування 3D -принтером відіграє дуже важливу роль, оскільки воно відповідає за налаштування друку.

1.4.2 Апаратне забезпечення для керування 3D-принтером

Одним із основних компонентів апаратного забезпечення для керування 3D-принтером є мікроконтролер. Мікроконтролер - це електронний пристрій, який реалізує виконання заданих команд, аналізує стан установки та вносить коригування в роботу в режимі реального часу за допомогою встановленого ПЗ. Мікроконтролер може бути інтегрований в сам принтер або використовувати як окремий пристрій.

Крім мікроконтролера, для керування 3D-принтером також можуть знадобитися такі пристрої:

- друкуюча головка: відповідає за точність позиціонування та пересування екструдера, як правило, складається із сопла та термістора (давача температури);
- екструдер: відповідає за швидкість друку, температури. Екструдер складається з двигуна (крокового або сервоприводу) та механізму для передачі та видавлювання матеріалу;
- двигуни: відповідають за пересування платформи та друкуючої головки за осями X, Y, Z, а також за обертання екструдера. Вони керуються контролером, який одержує команди від комп'ютера через інтерфейсні порти, такі як USB або Ethernet;
- систему охолодження для екструдера та робочої області: є активним і пасивним охолодженням, де пасивне охолодження працює незалежно від уставок пристрою і охолоджує важливі вузли установки, а активне охолодження - дозволяє регулювати потік повітря;
- елементи безпеки: дозволяють сигналізувати про несправності роботи установки, а також запобігають поломкам обладнання при виникненні помилок;
- дисплей: відображає введення та виведення інформації, поточний

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

статус друку та налаштування принтера. Взаємодія вручну з установкою здійснюється через дисплей;

- давачі: використовуються для вимірювання температури та інших параметрів, необхідних для правильної роботи принтера;

- нагрівальні елементи: використовуються для нагрівання друкуючої поверхні та плавлення матеріалу для друку;

Крім того, можуть бути використані додаткові пристрої, такі як сенсори рівня, повітряні фільтри та інші, залежно від конкретних вимог проекту.

Важливо, що якість апаратного забезпечення безпосередньо впливає на точність і якість друку, а також швидкість роботи принтера.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір обладнання

Мультифункціональна платформа є автоматизованим комплексом, що складається з систем переміщення, нагрівання, охолодження та дозування матеріалу. Апаратний комплекс має бути реалізований на базі 32-бітного процесора з можливістю керування кроковими двигунами, вентиляторами, термісторами та дисплеєм, вхідна напруга становить 24 В.

На підставі даних параметрів необхідно вибрати обладнання, що відповідає вимогам апаратного комплексу.

2.1.1 Вибір материнської плати

Для розробки мультифункціональної платформи потрібно вибрати материнську плату. Порівняння проводилося між Octopus pro F446, MKS GEN-L та BIGTREE TECH BTT SKR, його результати представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння материнських плат

Найменування	Octopus pro F446	MKS GEN-L	BIGTREE TECH BTT SKR
Вхідна напруга,	24	24	24
Розрядність процесора, біт	32	32	32
Кількість крокових двигунів, що під'єднуються, шт.	8	5	5
Кількість термісторів, що під'єднуються, шт.	5	2	2

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Фука П.О.							Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Баран І.О.									
Реценз.											
Н. Контр.		Тиш Є.В.							ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Затверд.		Осухівська Г.М									

Найменування	Octopus pro F446	MKS GEN-L	BIGTREETECH BTT SKR
Кількість вентиляторів, що під'єднуються, шт.	8	2	4
Ціна, грн.	1700	1800	2800

Виходячи з отриманих даних, було ухвалено рішення проводити розробку мультифункціональної платформи з урахуванням материнської плати Octopus pro F446. Материнська плата представлена на рис. 2.1.

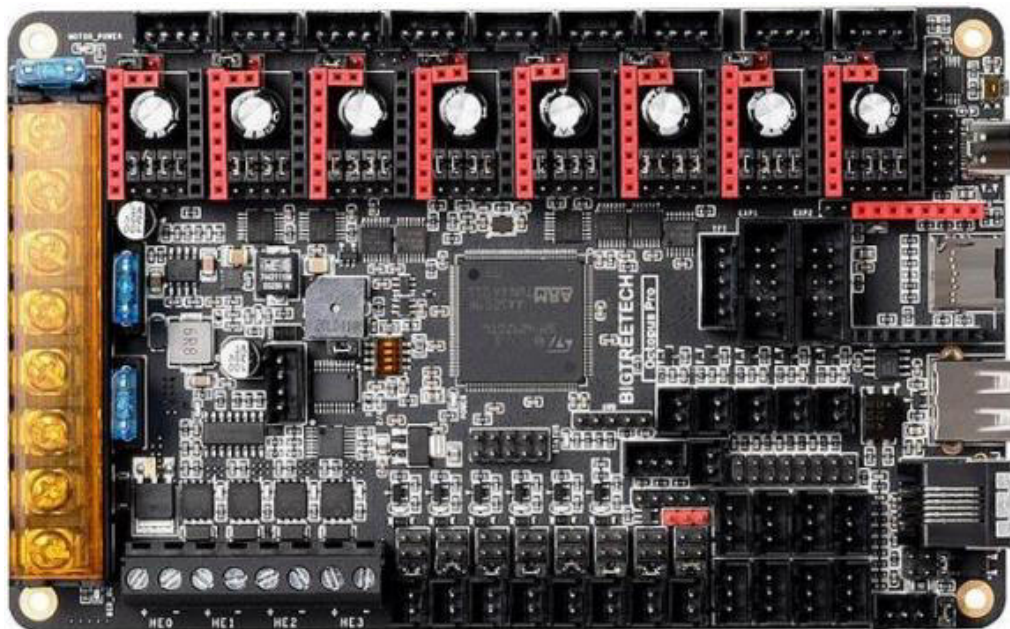


Рисунок 2.1 – Материнська плата Octopus pro F446

2.1.2 Вибір крокових двигунів

Для розробки мультифункціональної платформи потрібно вибрати крокові двигуни для переміщення елементів платформи. Порівняння проводилося між Nema 17, Nema 23 та PL20H28-D4. У табл. 2.2 наведені його результати.

Таблиця 2.2 – Порівняння крокових двигунів

Найменування	Nema 23	Nema 17	PL20H28-D4
Сила струму, А	2.8	1.7	0.6
Опір, Ом	0.9	1.65	1.6
Довжина двигуна, мм	56	42	20
Кутовий крок, *	1.8	0.9	1.8
Утримуючий крутний момент, Н.м	1.2	0.5	0.2
Ціна, грн	900	450	1100

Виходячи з отриманих даних, було прийнято рішення обрати кроковий двигун Nema 17 для розробки мультифункціональної платформи. Зовнішній вигляд крокового двигуна представлений на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Кроковий двигун Nema 17

2.1.3 Вибір нагрівального елемента

Також необхідно вибрати нагрівальні елементи контролю температури. Порівняння проводилося між HotEnd J-Head, IdeaFormer та I3 Mega Hotend V5 J-head, результати представлені у табл. 2.3.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Порівняння нагрівальних елементів

Найменування	HotEnd J-Head	IdeaFormer	I3 Mega Hotend V5 J-head
Напруга живлення, В	24	24	12
Потужність, Вт	50	40	40
Максимальна температура, градуси	350	300	500
Довжина, м	2	1	1
Ціна, грн.	250	300	280

Виходячи із наведених даних, було обрано нагрівальний елемент HotEnd J-Head для розробки мультифункціональної платформи. Нагрівальний елемент представлений на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Нагрівальний елемент HotEnd J-Head

2.1.4 Вибір вентилятора

Для розробки потрібно вибрати вентилятори для охолодження системи. Порівняння проводилося між RQD4020MS, NF-A4x20 PWM, KF0410S1H. У табл. 2.4 показані результати порівняння їх характеристик.

Таблиця 2.4 – Порівняння вентиляторів

Найменування	RQD4020MS	NF-A4x20 PWM	KF0410S1H
Напруга живлення, В	12	12	12
Тип підшипника	ковзання	кочення	ковзання
Товщина, мм	20	20	10
Кількість дротів, шт.	2	4	2
Є режим керування	-	+	-
Ціна, грн.	100	700	450

За результати порівняння було прийнято рішення обрати вентилятор KF0410S1H81 для розробки мультифункціональної платформи. Вентилятор представлений на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Вентилятор KF0410S1H

2.2 Розробка деталей мультифункціональної платформи у програмі SolidWorks та їх виготовлення

2.2.1 Опис програмного інструменту SolidWorks

Є комплексним ПЗ для тривимірного проектування (CAD) та моделювання. Воно широко використовується в інженерних галузях, включаючи

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

машинобудування, авіабудування, медичну техніку, а також у розробці прототипів та 3D -друці.

SolidWorks надає потужні інструменти та функції, які дозволяють інженерам створювати складні тривимірні моделі та деталі з високою точністю та ефективністю. У програмі реалізовані різні інженерні операції, такі як створення ескізів, побудова опуклих і увігнутих форм, моделювання поверхонь, створення збірок та багато іншого.

ПЗ SolidWorks має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, що робить його доступним для розробників з різним рівнем досвіду. Воно пропонує широкий набір інструментів для створення та редагування деталей, таких як видавлювання, вирізання, поєднання, заокруглення, накладання текстур та багато інших. Крім того, SolidWorks підтримує імпорт та експорт різних форматів файлів, що забезпечує сумісність з іншими програмами та обладнанням.

Однією з ключових особливостей SolidWorks є можливість проведення аналізів та симуляцій для перевірки функціональності та міцності деталей, що створюються. Програма дозволяє моделювати різні фізичні дії, такі як навантаження, напруга, теплові дії та інші, та аналізувати їх вплив на конструкцію. Це дозволяє інженерам оптимізувати деталі та покращити їх продуктивність та надійність.

Використання SolidWorks у розробці деталей для мультифункціональної платформи дозволяє створювати точні та функціональні моделі, враховуючи всі необхідні вимоги та специфікації проекту. Завдяки можливостям програми, можна проводити віртуальне тестування та оптимізацію деталей перед їхньою фізичною реалізацією, що істотно скорочує час та витрати на розробку. Крім того, SolidWorks забезпечує гнучкість у налаштуванні розмірів та форм деталей, дозволяючи інженерам експериментувати та вносити зміни за необхідності, щоб досягти оптимальних результатів. В результаті використання SolidWorks у процесі розробки деталей мультифункціональної платформи сприяє підвищенню ефективності та якості проекту.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Підготовка тривимірних моделей деталей у програмі SolidWorks

Основна мета цього етапу полягає у створенні точних та докладних тривимірних моделей, які будуть використані для подальшого проектування та виготовлення деталей.

Спочатку проводиться аналіз вимог до мультифункціональної платформи та її функціональності. На основі цих вимог визначаються основні параметри та геометричні характеристики кожної деталі. Це включає розміри, форму, поверхневі особливості та структурні елементи, які необхідні для правильного функціонування платформи.

За допомогою ПЗ SolidWorks та його інструментів моделювання було створено тривимірні моделі кожної деталі. При цьому враховувалися основні принципи дизайну та функціональні вимоги. Були визначені геометричні форми, додані додаткові особливості під час складання, такі як отвори, канали, ребра жорсткості та інші деталі, необхідні для забезпечення оптимального функціонування платформи.

Особлива увага приділялася точності та деталізації моделей, щоб забезпечити їх відповідність необхідним розмірам та функціональності. Також враховувалися можливості та обмеження 3D-друку, такі як мінімальні розміри та роздільна здатність друку, щоб гарантувати можливість виготовлення моделей на 3D-принтері. Модель шприцевого насоса представлена на рис. 2.5.

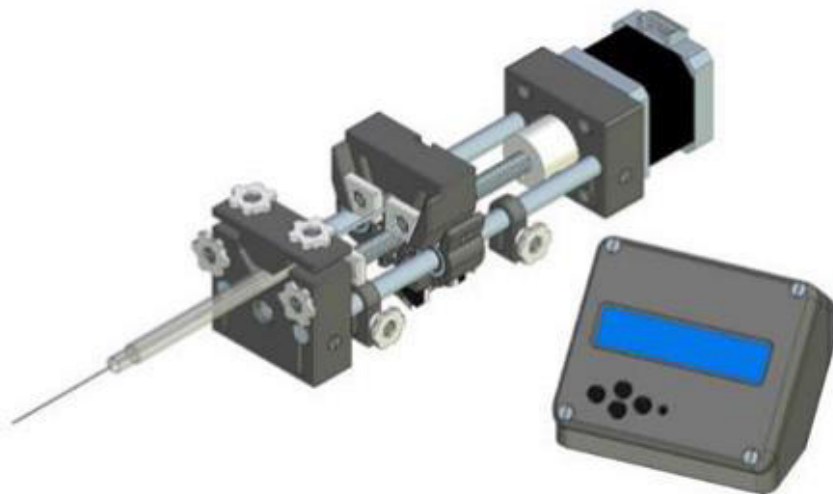


Рисунок 2.5 – Шприцевий насос у зборі

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення розробки тривимірних моделей деталей були проведені їх перевірка та аналіз з використанням інструментів SolidWorks, здійснювалася перевірка на наявність помилок моделювання, перевірка відповідності розмірів та форми заданим вимогам, а також проводилася візуальна оцінка створених моделей.

В результаті цього етапу дослідження вийшли точні та докладні тривимірні моделі деталей мультифункціональної платформи, які згодом були використані при складанні конструкції.

2.2.3 Друк деталей на 3D принтері

У цьому підпункті описується процес друку розроблених тривимірних моделей деталей мультифункціональної платформи на 3D принтері. Друк деталей є етапом, який дозволяє створити фізичні об'єкти з урахуванням попередньо розроблених моделей.

Перед початком друку 3D принтер був підготовлений до роботи. Це включає встановлення та перевірку друкарської головки, завантаження матеріалу, а також налаштування параметрів друку, таких як швидкість друку, роздільна здатність та температура друкарської платформи.

Потім було завантажено тривимірні моделі деталей у ПЗ 3D принтера, де відбувається підготовка моделей до друку. У цьому процесі моделі можуть бути масштабовані, повернені або розбиті на кілька частин для забезпечення оптимального друку.

Після підготовки моделей до друку було запущено процес друку на 3D принтері. Під час друку принтер шарами наносить матеріал відповідно до тривимірних моделей, поступово створюючи фізичні деталі. Процес друку може тривати різний час в залежності від складності та розміру деталей. Приблизний час друку на групу елементів варіювався в діапазоні від 2 до 4 годин, процес друку відображений на рис. 2.6.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Процес друку деталей на 3D- принтері

Після завершення друку надруковані деталі були вилучені з 3D- принтера. Потім проводився візуальний огляд та аналіз якості друку. Також були виконані додаткові операції з обробки деталей, такі як видалення підтримок та шліфування поверхні для отримання якісних деталей, придатних для використання у складанні конструкції, на рис. 2.7 зображені надруковані деталі.

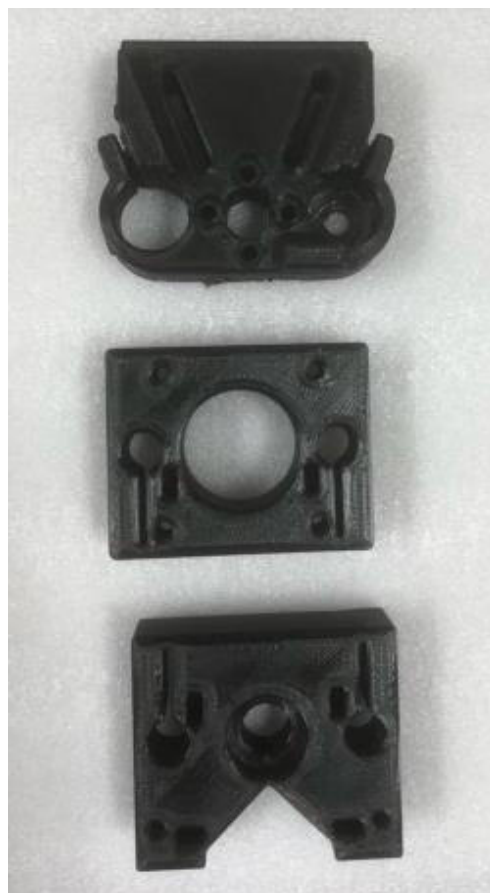


Рисунок 2.7 – Надруковані деталі шприцевого насосу

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Процес розробки шприцевого насоса для мультифункціональної платформи

2.3.1 Складання шприцевого насоса з надрукованих деталей

Після успішного проектування деталей у програмі SolidWorks, наступним кроком у розробці мультифункціональної платформи було їхнє складання в єдину конструкцію. Для цього було надруковано раніше спроектовані деталі на 3D-принтері з використанням відповідних матеріалів.

Складання деталей в єдину конструкцію вимагає точності та уважності. Кожна деталь була оцінена на відповідність вимогам і розмірам, щоб гарантувати правильне і надійне складання. Деякі деталі були доопрацьовані та підігнані для забезпечення оптимальної посадки та функціональності, на рис. 2.8 зображено зібраний шприцевий насос.



Рисунок 2.8 – Зібраний шприцевий насос

У процесі збирання були використані сполучні елементи, такі як гвинти, гайки і штифти, щоб забезпечити жорсткість і стабільність конструкції. Отвори та кріпильні елементи були заздалегідь передбачені при проектуванні деталей у програмі SolidWorks, що спростило процес складання та забезпечило точне вирівнювання компонентів.

2.3.2 Під'єднання електронних компонентів до шприцевого насоса

Для забезпечення функціональності шприцевого насоса в рамках розробки мультифункціональної платформи потрібно було правильно під'єднати електронні компоненти. Ці компоненти включали кінцеві вимикачі, двигуни,

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролери, елементи блоку живлення та плати, які забезпечують керування та моніторинг роботи насоса.

Спочатку було проведено аналіз електронних компонентів, необхідних для роботи шприцевого насоса. Виходячи з вимог та функціональності насоса, було обрано відповідні давачі та потрібні елементи. Наприклад, використовувалися давачі потоку і тиску для вимірювання та контролю параметрів рідини, а також двигуни для руху шприцевого механізму, на рис. 2.9 зображені електронні компоненти для шприцевого насоса.

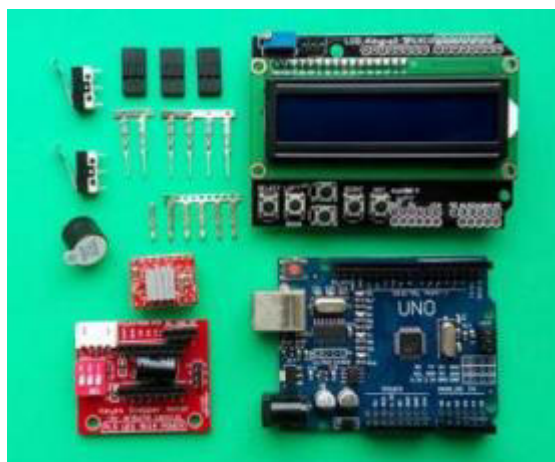


Рисунок 2.9 – Електронні компоненти для керування шприцевим насосом

Потім здійснювалося фізичне під'єднання електронних компонентів до шприцевого насоса. Кожен компонент був під'єднаний до відповідних портів або пінів на мікроконтролері. Були використані дроти та роз'єми для забезпечення надійного з'єднання та передачі сигналів.

Важливо, що правильна організація під'єднання електронних компонентів вимагає ретельного дотримання електричних та функціональних схем. Це включає правильне розміщення і маркування проводів, облік полярності при під'єднанні, а також забезпечення узгодженості між компонентами і контролером, на рис. 2.10 зображена схема під'єднання електронних компонентів.

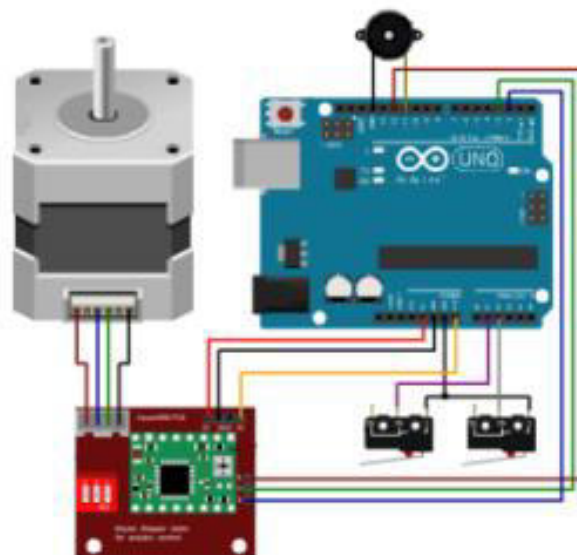


Рисунок 2.10 – Схема під’єднання електронних компонентів шприцевого насосу

Після завершення під’єднання електронних компонентів проводилася перевірка та тестування роботи шприцевого насоса. Це включало перевірку функціональності кожного компонента, і навіть перевірку взаємодії між ними. При необхідності, проводились налаштування та коригування для забезпечення оптимальної роботи насоса.

2.4 Розробка ПЗ для керування шприцевим насосом

Для повноцінної роботи шприцевого насоса в рамках мультифункціональної платформи потрібно розробити ПЗ для його управління. У цьому підрозділі розглянемо процес розробки ПЗ з використанням середовища Arduino IDE:

- вибір середовища розробки: для програмування та управління мікроконтролером, що управляє шприцевим насосом, було використано Arduino IDE. Середовище забезпечує зручним інтерфейсом і значним діапазоном можливостей для створення коду, а також підтримує платформу Arduino, на якій базується мікроконтролер;

- визначення функціональності ПЗ: визначилися основні функції та

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливості, які має забезпечувати ПЗ для керування шприцевим насосом. Це містило встановлення заданого об'єму рідини, керування швидкістю руху шприца, моніторинг параметрів (наприклад, тиску, об'єму та часу) та інші функції, необхідні для оптимальної роботи насоса;

– написання програмного коду: на основі певних функцій та вимог було розроблено програмний код мовою C++, який дозволяв керувати роботою шприцевого насоса. У процесі розробки використовувалися різні бібліотеки та функції, що надаються Arduino IDE, для забезпечення необхідної функціональності та взаємодії з електронними компонентами насоса;

– тестування системи: після написання програмного коду проводилося тестування системи керування шприцевим насосом. Це включало перевірку працездатності кожної функції, перевірку точності встановлення заданого об'єму рідини, а також перевірку стабільності насоса на різних швидкостях і умовах.

У рамках розробки мультифункціональної платформи було проведено успішне складання та тестування системи управління шприцевим насосом. Під час розробки програмного забезпечення з використанням середовища Arduino IDE було враховано основні функції та вимоги, необхідні оптимальної роботи насоса.

Фрагмент коду програми зображено рис. 2.11.

За допомогою програмного коду, розробленого в середовищі Arduino IDE, вдалося успішно керувати шприцевим насосом, забезпечуючи встановлення заданого об'єму рідини, контроль швидкості руху шприца, а також моніторинг необхідних параметрів. Тестування системи підтвердило працездатність і стабільність насоса при різних умовах. підключення електронних компонентів.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

MenuItem items[NITEMS];
uint8_t lastButton = NA;
uint8_t buttonState = RELEASE;
uint32_t buttonPressTime = 0;
uint8_t currentItem = 1;
float coef;
uint8_t endStopPin;
volatile uint32_t ustepCounter;
uint32_t ustepCounterLimit;

uint32_t getValue(uint8_t itemNo);
void changeValue();
void setValue(uint8_t itemNo, uint8_t digits[8]);
void selectFromList();
void calculateActualValue(uint8_t itemNo);
void recalculateSyringe(uint8_t itemNo);
void printScreen();
void printUnits();
void printFirmwareInfo();
void printTimeAndVolume(uint16_t pumpingTime, uint32_t pumpingVolume);
void showScreensaver();
void readFromEEPROM(uint8_t itemNo);
void writeToEEPROM(uint8_t itemNo);
void getButtonState();
uint16_t valueDivider (uint8_t n);
uint8_t getElementNo(uint8_t linkToList);
void waitingForButton(uint8_t buttonCode, uint8_t itemNo);
void beep (uint16_t delayOn = 15, uint16_t delayOff = 100);
bool checkEndstop(int8_t pumpingDirection);
void infuseVolume();
void infuseTime();
void refillVolume();
void refillFull();
void pumpSingly(int8_t pumpingDirection, uint32_t flowrate, uint32_t volume);
void pumpContinuously();
uint8_t pump(uint32_t flowrate, uint32_t volume);

```

Рисунок 2.11 – Фрагмент коду ПЗ шприцевого насоса

Отримані результати свідчать про успішну розробку ПЗ та його інтеграцію з апаратною частиною шприцевого насоса (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Готова зборка прототипу шприцевого насоса

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

У третьому розділі розглянуто розробку ПЗ для контролю за системами мультифункціональної платформи. ПЗ здійснює управління та контроль такими системами, як температурне регулювання, охолодження, переміщення платформи та друкарської головки, а також система подачі рідини. Для реалізації цього ПЗ було обрано модифікацію прошивки на базі Marlin, яка дозволяє ефективно керувати всіма системами мультифункціональної платформи.

3.1 Архітектура ПЗ

ПЗ для контролю систем мультифункціональної платформи засноване на архітектурі прошивки Marlin, яка широко використовується в 3D-друку. Вона забезпечує гнучку та розширювану платформу для управління різними аспектами друку.

Архітектура ПЗ складається з таких основних модулів.

Модуль керування температурним регулюванням. Відповідає за керування температурними датчиками та системами обігріву, забезпечуючи необхідну температуру для різних компонентів платформи. Він дозволяє встановлювати та підтримувати задані температурні режими, контролюючи процес нагрівання та охолодження, блок температурного регулювання представлений на рис. 3.1.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Фука П.О.						Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник.		Баран І.О.									
Реценз.								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42			
Н. Контр.		Тиш Є.В.									
Затверд.		Осухівська Г.М									


```

#if TEMP_SENSOR_0 == 1000
#define HOTEND0_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND0_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND0_BETA 3950
#define HOTEND0_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_1 == 1000
#define HOTEND1_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND1_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND1_BETA 3950
#define HOTEND1_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_2 == 1000
#define HOTEND2_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND2_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND2_BETA 3950
#define HOTEND2_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_3 == 1000
#define HOTEND3_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND3_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND3_BETA 3950
#define HOTEND3_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_4 == 1000
#define HOTEND4_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND4_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND4_BETA 3950
#define HOTEND4_SH_C_COEFF 0
#endif

#if TEMP_SENSOR_5 == 1000
#define HOTEND5_PULLUP_RESISTOR_OHMS 4700
#define HOTEND5_RESISTANCE_25C_OHMS 100000
#define HOTEND5_BETA 3950
#define HOTEND5_SH_C_COEFF 0
#endif

```

Рисунок 3.1 – Фрагмент коду блоку температурного регулювання

Модуль керування охолодженням. Забезпечує контроль та керування системами охолодження, запобігаючи перегріву компонентів платформи. Він включає управління вентиляторами і регулює їхню швидкість залежно від поточної температури та інших параметрів. На рис. 3.2 представлений блок керування охолодженням.


```

pinMode(soundPin, OUTPUT);
pinMode(fan1, OUTPUT);
pinMode(fan2, OUTPUT);
pinMode(fan3, OUTPUT);
pinMode(fan4, OUTPUT);
pinMode(ledBLUE, OUTPUT);
pinMode(ledGREEN, OUTPUT);
pinMode(ledYELLOW, OUTPUT);
pinMode(ledRED, OUTPUT);
pinMode(tempPin, INPUT);
Serial.begin(9600);
dht.begin();
lcd.begin(16,2);

}

void loop()
{
    temp = readTemp();
    if(temp < tempMin)
    {
        fan1Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
        fan2Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
        fan3Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
        fan4Speed = map(temp, tempMin, tempMax, 38, 255);
        fanLCD = map(temp, tempMin, tempMax, 0, 100);
        analogWrite(fan1, fan1Speed);
        analogWrite(fan2, fan2Speed);
        analogWrite(fan3, fan3Speed);
        analogWrite(fan4, fan4Speed);
        digitalWrite(ledBLUE, HIGH);
    }
}

```

Рисунок 3.2 – Фрагмент коду блоку керування охолодженням

Модуль управління переміщенням платформи та друкуючої головки. Він відіграє важливу роль в управлінні системами мультифункціональної платформи. Відповідає за керування двигунами і переміщення платформи та друкуючої голівки за заданими координатами.

Переміщення відбувається з високою точністю та плавністю, що є ключовим фактором для досягнення високої якості друку. При розробці даного модуля особлива увага приділялася точності та плавності переміщення. Були проведені ретельні дослідження та оптимізації алгоритмів керування двигунами, що дозволило досягти високої точності позиціонування та мінімізувати вібрації та тремтіння платформи та друкуючої головки. У рамках модуля управління переміщенням також реалізовано додаткові функції, такі як автоматичне калібрування та компенсація рівня платформи, що дозволяє досягти

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	41 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимального контакту між друкуючою головкою та робочою поверхнею. Це важливо при роботі з різними матеріалами та конфігураціями друку. Модуль керування переміщенням друкувальної головки представлений на рис. 3.3.

```
#ifdef I_DRIVER_TYPE
#define AXIS4_NAME 'A'
#define AXIS4_ROTATES
#endif
#ifdef J_DRIVER_TYPE
#define AXIS5_NAME 'B'
#define AXIS5_ROTATES
#endif
#ifdef K_DRIVER_TYPE
#define AXIS6_NAME 'C'
#define AXIS6_ROTATES
#endif
#ifdef U_DRIVER_TYPE
#define AXIS7_NAME 'U'
#endif
#ifdef V_DRIVER_TYPE
#define AXIS8_NAME 'V'
#endif
#ifdef W_DRIVER_TYPE
#define AXIS9_NAME 'W'
#endif
#define DEFAULT_STEPPER_DEACTIVE_TIME 120
#define DISABLE_INACTIVE_X true
#define DISABLE_INACTIVE_Y true
#define DISABLE_INACTIVE_Z true
#define DISABLE_INACTIVE_I true
#define DISABLE_INACTIVE_J true
#define DISABLE_INACTIVE_K true
#define DISABLE_INACTIVE_U true
#define DISABLE_INACTIVE_V true
#define DISABLE_INACTIVE_W true
#define DISABLE_INACTIVE_E true
#define INVERT_X_STEP_PIN false
#define INVERT_Y_STEP_PIN false
#define INVERT_Z_STEP_PIN false
#define INVERT_I_STEP_PIN false
#define INVERT_J_STEP_PIN false
#define INVERT_K_STEP_PIN false
#define INVERT_U_STEP_PIN false
#define INVERT_V_STEP_PIN false
#define INVERT_W_STEP_PIN false
#define INVERT_E_STEP_PIN false
#if EITHER(INPUT_SHAPING_X, INPUT_SHAPING_Y)
#if ENABLED(INPUT_SHAPING_X)
#define SHAPING_FREQ_X 40
#define SHAPING_ZETA_X 0.15f
#endif
#if ENABLED(INPUT_SHAPING_Y)
#define SHAPING_FREQ_Y 40
#define SHAPING_ZETA_Y 0.15f
#endif
#endif
#define AXIS_RELATIVE_MODES { false, false, false, false }
```

Рисунок 3.3 – Фрагмент коду блоку керування переміщенням друкуючої ГОЛОВКИ

Модуль керування системою подачі рідини. Відіграє важливу роль у функціональності платформи. Він відповідає за контроль та керування подачею рідини в процесі роботи платформи. Це може містити подачу розчинів, реагентів або інших рідин, необхідних для виконання певних завдань або процесів. ПЗ дозволяє точно та стабільно контролювати обсяг та швидкість подачі рідини, а також регулювати параметри, пов'язані з її розподілом та переміщенням.

Модуль управління системою подачі рідини включає декілька ключових компонентів:

— дозуюча система: для точного контролю обсягу рідини, що подається використовується спеціальна дозуюча система. Вона оснащена насосом або клапаном, котрі керують подачею рідини із заданою швидкістю та точністю. Дозуюча система може бути налаштована та програмно керована, що забезпечує гнучкість у налаштуванні процесу подачі;

— давачі рівня рідини: для надійного контролю рівня рідини у резервуарі або ємності використовуються відповідні давачі. Вони забезпечують зворотний зв'язок, визначаючи поточний рівень рідини та дозволяючи системі точно регулювати подачу відповідно до необхідних параметрів;

— інтерфейс керування: модуль керування системою подачі рідини надає зручний інтерфейс для налаштування параметрів та контролю процесу подачі. Це може бути вбудований інтерфейс на панелі керування або програмний додаток, який дозволяє оператору легко налаштовувати та контролювати подачу рідини. На рис. 3. 4 представлений блок керування системою подачі рідини.

```
#endif
#if ANY(SWITCHING_TOOLHEAD, MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD, ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
    #define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_POS 235
    #define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_SECURITY 10
    #define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_CLEAR 60
    #define SWITCHING_TOOLHEAD_X_POS { 215, 0 }
    #if ENABLED(SWITCHING_TOOLHEAD)
        #define SWITCHING_TOOLHEAD_SERVO_NR 2
        #define SWITCHING_TOOLHEAD_SERVO_ANGLES { 0, 180 }
    #elif ENABLED(MAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
        #define SWITCHING_TOOLHEAD_Y_RELEASE 5
        #define SWITCHING_TOOLHEAD_X_SECURITY { 90, 150 }

        #if ENABLED(PRIME_BEFORE_REMOVE)
            #define SWITCHING_TOOLHEAD_PRIME_MM 20
            #define SWITCHING_TOOLHEAD_RETRACT_MM 10
            #define SWITCHING_TOOLHEAD_PRIME_FEEDRATE 300
            #define SWITCHING_TOOLHEAD_RETRACT_FEEDRATE 2400
        #endif
    #elif ENABLED(ELECTROMAGNETIC_SWITCHING_TOOLHEAD)
        #define SWITCHING_TOOLHEAD_Z_HOP 2
    #endif
#endif
```

Рисунок 3.4 – Фрагмент коду блоку управління системою подачі рідини

3.2 Узагальнення до розділу

Була представлена модифікація прошивки на базі Marlin, що дозволяє здійснювати контроль за системами принтера, такими як температурне регулювання, охолодження, переміщення платформи та друкарської головки, а також системи подачі рідини.

У процесі розробки ПЗ було виконано такі кроки:

- аналіз вимог: було визначено основні вимоги до системи контролю та розроблено функціональні та нефункціональні специфікації;
- проектування архітектури: було розроблено архітектуру ПЗ, визначено основні компоненти та їх взаємодію;
- розробка та інтеграція: було виконано кодування та тестування різних модулів системи, а потім їх інтеграція в єдину систему;
- тестування та налагодження: було проведено загальне тестування системи та аналіз результатів для виявлення дефектів та проблем;
- покращення та оптимізація: були виконані роботи з усунення виявлених проблем, виправлення дефектів, оптимізації продуктивності та покращення функціональності системи.

В результаті розробки ПЗ була створена система, що забезпечує контроль системами мультифункціональної платформи з високою точністю та ефективністю, її прототип представлений на рис. 3.5.

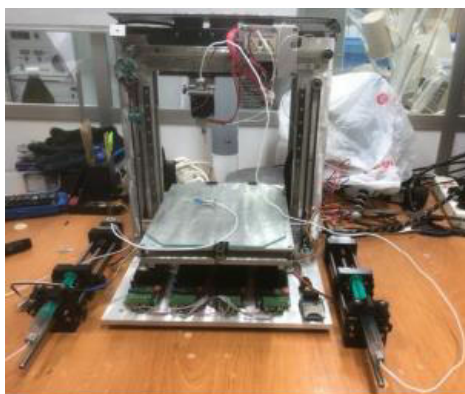


Рисунок 3.5 – Прототип мультифункціональної платформи

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом

Розроблювана система живиться від мережі 220 Вольт, таким чином в разі поломки, чи при неправильному користуванні можливе ураження працівника електричним струмом. В разі виникнення такої ситуації потрібно виконати наступні дії [17]:

1) Розірвати контакт потерпілого з провідником струму.

– підходити до потерпілого можна, ізолювавши ноги від струму (вдягнути гумове взуття, покласти на підлогу матеріал, який не проводить струм);

– розірвати зв'язок потерпілого з провідником струму. Для цього потрібно відключити живлення на приладі, або, в разі напруги до 1000 В, можна фізично відштовхнути потерпілого за допомогою предметів, що не проводять струм;

– відтягнути потерпілого від джерела струму за допомогою предметів що не проводять струм на відстань не менше 10 м.

2) Перевірити стан дихальної та серцево судинної системи:

– перевірити наявність дихання і пульсу у постраждалого;

– звільнити проходність дихальних шляхів. Для цього потрібно підняти постраждалому підборіддя, відтягнути нижню щелепу і закинути голову назад. Якщо виникає підозра на перелом хребта, то ці дії робити заборонено.

3) Якщо у постраждалого відсутні дихання і пульс, йому потрібно надати первинну допомогу:

– непрямий масаж серця. Постраждалого потрібно положити на спину на рівну поверхню. Рятівник натискає по середині грудної клітки з частотою 60 натискань за 1 хвилину. При натисканнях грудна клітка має прогинатись на 5-6 см (рис. 4.1)

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Фука П.О.							Літ.	Арк.	Аркушів	
Керівник.		Баран І.О.										
Реценз.									ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42			
Н. Контр.		Тиш Є.В.										
Затверд.		Осухівська Г.М										



Рисунок 4.1 – Непрямий масаж серця

– Дихання рот в рот. Через кожні 12-15 натискань на грудну клітку здійснюється 2 повних видихи. При неможливості даного способу допустимо використовувати лише непрямий масаж серця див.рис.4.2.



Рисунок 4.2 – Проведення штучного дихання рот в рот

– Реанімаційні заходи проводять до приїзду швидкої допомоги або до появи ознак життя (шкіра набула рожевого кольору, з'явилися дихання і пульс). Постраждалого в якого з'явилися ознаки життя потрібно перевернути на бік і в такому положенні чекати приїзду швидкої. Реанімаційні заходи потрібно проводити не більше 30 хв.

– Медикаментозне лікування (проводиться реанімаційною бригадою швидкої). У випадку, якщо наведені вище заходи не дали результату, то протягом 2-3 хвилин вводиться 1 мл адреналіну.

– Первинна обробка опіків. Якщо в наслідок ураження струму на тілі постраждалого з'являються опіки, то на них потрібно накласти суху марлеву пов'язку.

– Знеболюючі. Якщо постраждалий при свідомості то до приїзду швидкої йому можна дати знеболювальне і заспокійливе.

– Транспортування потерпілого потрібно здійснювати в лежачому положенні.

4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК

Для збереження працездатності й попередження розвитку захворювань опорно-рухового апарату операторів ПК необхідно організувати для них робочі місця, що відповідають вимогам ДСТУ. Виконання цих вимог показані на рис. 4.2 і приведено конструктивні особливості встановлюваних робочих столів і стільців, що забезпечують можливість індивідуального регулювання відповідно росту працюючих і створення для них зручної пози [18].

При правильній організації робочого місця продуктивність праці оператора зростає на 8 – 20%. Відповідно до ДСТУ конструкція робочого місця й розташування всіх його елементів повинна відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця оператора ПК повинні бути дотримані наступні основні умови:

– оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;

– достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи й переміщення;

– необхідно природне й штучне освітлення для виконання поставлених завдань;

– рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головними елементами робочого місця оператора є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення оператора ПК. Рациональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці й документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Моторне поле – простір робочого місця, у якому можуть здійснюватися рухові дії людини [18].

Максимальна зона досяжності рук – це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі. Оптимальна зона – частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччями при русі в ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя й з відносно нерухомим плечем. Зони досяжності рук у горизонтальній площині зображено на рис. 4.2.

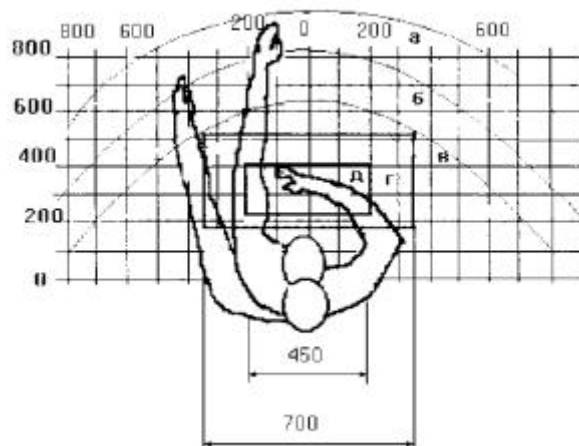


Рисунок 4.2 – Зони досяжності рук у горизонтальній площині

а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці; в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці й документації в зонах досяжності рук [18]:

- монітор розміщається в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г/д;
- системний блок розміщається в зоні б (ліворуч);
- принтер перебуває в зоні а (праворуч);
- документація - у зоні легкої досяжності долоні - в (ліворуч) - література й документація, необхідна при роботі;
- висота стола повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності опираючись на підлокітники;
- нижня частина стола повинна бути сконструйована так, щоб користувач ПК міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;
- поверхня стола повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору користувача;
- конструкція стола повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менш 3 для зберігання документації, літератури, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричних характеристик. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик.

При роботі в положенні сидячи рекомендуються наступні параметри робочого простору: ширина - не менш 700мм; глибина - не менш 400мм; висота робочої поверхні стола над підлогою 700-750мм. Оптимальними розмірами стола є: висота 710мм; довжина стола 1300мм; ширина стола 650мм.

Під робочою поверхнею має бути передбачений простір для ніг: висота - не менш 600мм; ширина - не менш 500мм; глибина - не менш 400мм.

Важливим елементом робочого місця оператора ПК є крісло. При проектуванні крісла виходять із того, що при будь-якому робочому положенні оператора його поза повинна бути фізіологічно правильною, тобто положення частин тіла повинне бути оптимальним.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	49рк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для задоволення вимог фізіології, що впливають із аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна задовольняти наступним основним вимогам:

- допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечувати вільне переміщення корпусу й кінцівок тіла;
- допускати регулювання висоти залежно від росту працюючої людини (у межах від 400 до 550мм);
- радіус кривизни в горизонтальній площині 400мм;
- кут нахилу спинки повинен змінюватися в межах 90-110° до площини сидіння.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	50 Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У рамках випускної кваліфікаційної роботи було виконано розробку мультифункціональної платформи для екструзійного друку із системою управління. Основною метою роботи було створення сучасного та функціонального пристрою, здатного здійснювати друк різних матеріалів, включаючи рідини та біогелі, і що володіє широким спектром застосування у біомедичних дослідженнях та промисловості.

Для втілення мети роботи було застосовано різні інструменти та технології. Зокрема, було проведено розробку деталей платформи у програмі SolidWorks, які потім були надруковані на 3D принтері. Було спроектовано та зібрано шприцеву систему, а також розроблено ПЗ для управління шприцевим насосом на базі Arduino IDE. Крім того, було виконано модифікацію прошивки на базі Marlin для контролю систем платформи.

Отримані результати підтверджують успішну розробку мультифункціональної платформи та її компонентів. У ході загального тестування було підтверджено, що система працює у повній відповідності до заданих вимог та демонструє високу точність та ефективність у процесі друку. Важливим досягненням є успішне складання та інтеграція всіх компонентів платформи, що дозволяє їй функціонувати як єдине ціле.

Тестування дозволило підтвердити працездатність та функціональність різних систем, включаючи температурне регулювання, охолодження, переміщення платформи та друкуючої головки, і навіть систему подачі рідини. Всі ці системи були інтегровані у платформу та контролюються розробленим ПЗ, що забезпечує стабільну та надійну роботу при виконанні друкованих завдань.

Отримані результати відкривають нові можливості в галузі біомедичних досліджень та промисловості. Мультифункціональна платформа здатна друкувати складні структури, включаючи рідини та біогелі, що є важливим кроком у розвитку тканинної інженерії, медичної діагностики та інших областей, що потребують точного та прецизійного друку. Це відкриває перспективи для

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	51 Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створення нових матеріалів, розробки прототипів та покращення процесів виробництва.

Проте слід зазначити, що розробка мультифункціональної платформи є першим кроком у її застосуванні. У майбутньому необхідно продовжувати дослідження та розвиток даної технології, покращуючи її функціональність, надійність та масштабованість. Також потрібна подальша оптимізація ПЗ для зручнішого та гнучкішого управління системами платформи.

Розробка мультифункціональної платформи також вносить певні виклики та потребує подальших досліджень. Необхідно продовжувати роботу над покращенням точності та стабільності друку, а також розвивати нові матеріали та методи друку для розширення можливостей системи. Також слід приділяти увагу аспектам безпеки та ергономіки під час використання даної платформи у клінічній практиці та промисловому виробництві.

Насамкінець, розробка мультифункціональної платформи є важливим кроком у розвитку 3D друку та біомедичних технологій. Результати цієї роботи є основою для подальших досліджень та розвитку в даній галузі.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	52 Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні матеріали, що використовуються для 3D-друку. – URL: <https://www.3dprinter.ua/osnovni-materiali-shho-vikoristovuyutsya-dlya-3d-druku/> (дата звертання: 27.05.2025).
2. 3D-ДРУК: ЯК ЦЕ ПРАЦЮЄ І ЧОМУ ЦЯ ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІНЮЄ СВІТ – URL: <https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-druk-yak-tse-pratsyuye/> (дата звертання: 27.05.2025).
3. Стереолітографія – що потрібно знати про технологію – URL: <https://www.3dprinter.ua/stereolitografiya-shho-potribno-znaty-pro-tehnologiyu/> (дата звертання: 28.05.2025).
4. SLS технологія 3D друку: головні особливості і переваги – URL: <https://addtive.com.ua/sls-tekhnoholiya-3d-druku-osoblyvosti-i-perevahy/> (дата звертання: 28.05.2025).
5. 3D друк у промисловості - нові горизонти. – URL: <https://easy3dprint.com.ua/uk/3d-druk-u-promislovosti/> (дата звертання: 30.05.2025).
6. ТОП слайсерів для 3D принтерів: який вибрати для кращих результатів друку – URL: <https://tucans.com.ua/top-slajseriv-dlya-3d-printeriv> (дата звертання: 30.05.2025).
7. Яка найкраща прошивка для 3d принтера? – URL: <https://tucans.com.ua/yaka-najkrasha-proshivka-dlya-3d-printera> (дата звертання: 30.05.2025).
8. ЯК ПРОШИТИ 3D-ПРИНТЕР: ПРОСТИЙ ПОСІБНИК – URL: <https://easy3dprint.com.ua/uk/yak-proshiti-3d-printer/> (дата звертання: 30.05.2025).
9. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп’ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	53 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

10. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

11. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304

12. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 328 с.

13. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

14. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovsky R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65.

15. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

16. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

17. Бедрій І.Я., Нечай В.Я. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. Львів: Манголія 2006, 2007. 499 с.

18. Катренко Л.А., Кіт Ю.В., Пістун І.П. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум: Навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2009. 540 с.

					КС КРБ 123.240.00.00 ПЗ	54 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ ____ ” _____ 2025 р

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЮ
ПОЛОЖЕННЯ ЕКСТРУДЕРА 3D-ПРИНТЕРА**

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на _8_ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доц. Баран І.О.

« ____ » _____ 2025 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-42

_____ Фука П.О.

« ____ » _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Мультифункціональна платформа для екструзійного друку біомедичних виробів».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.240.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи С2-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Фука Павло Олегович.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/7-53 від 27.01.2025 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2025 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 19.06.2025 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Мультифункціональна платформа для екструзійного друку біомедичних виробів призначена для забезпечення друку складних структур з біогелів та рідин, які можуть використовуватись у різних додатках, таких як біомедична діагностика, лікарська терапія та інженерія тканин.

До складу системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення системи зумовлена тим, що існуючі на ринку біомедичні 3D-принтери, як правило, мають обмежену функціональність і здатні працювати лише з певними матеріалами. У той час як мультифункціональна платформа дозволяє працювати з різними біогелями та рідинами, що робить її більш універсальною та функціональною порівняно з іншими 3D-принтерами.

2.2 Мета створення системи

Основна мета полягає у розробці мультифункціональної платформи для екструзійного друку із системою управління, яка здатна здійснювати друк рідинами та біогелями для створення біомедичних продуктів.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі підходи до екструзійного друку, а також існуючі біоматеріали, що використовуються в біомедичному друці;
- розробити конструкцію мультифункціональної платформи, яка дозволить проводити друк рідинами та біогелями з високою точністю та якістю;
- створити систему керування друку, яка контролюватиме параметри друку, такі як температура, швидкість, кількість матеріалу, для забезпечення високої

точності та якості друку;

- провести експериментальні дослідження мультифункціональної платформи для екструзійного друку із системою управління та оцінити практичну значущість дослідження.

2.3 Характеристика системи

2.3.1 Основні задачі та функції системи

Передбачається розробити платформу із системою керування друку, яка контролюватиме параметри друку, такі як температура, швидкість, кількість матеріалу, для забезпечення високої точності та якості друку.

Основні функції, що вимагають реалізації в мультифункціональній платформі для екструзійного друку біомедичних виробів, що розробляється:

- формування якісних деталей з біогелю;
- запобігання зіткненню Z-зонда з моделлю в процесі друку;
- забезпечення максимально можливого рівного рівня та оптимального зазору між столом та соплом головки;
- автоматичне калібрування робочого столу 3D-принтера.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути спроектована так, щоб до її складу особливих зусиль можна інтегрувати різні елементи управління, не порушуючи при цьому її структуру.

Конструктивно система керування складається із чотирьох модулів: Модуль керування температурним регулюванням; Модуль керування охолодженням; Модуль управління переміщенням платформи та друкуючої головки.

У проектованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- інтеграція з іншими 3D-принтерами;
- рівномірне розподілення маси по поверхні;

- точність автокалібрування;
- продуктивність роботи програмного забезпечення.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До структури та функціонування мультифункціональної платформи для екструзійного друку біомедичних виробів входять:

- 3D-принтер;
- плата мікроконтролера;
- драйвери крокових двигунів;
- механічні кінцеві вимикачі;
- крокові двигуни;
- нагрівальний елемент;
- системне та прикладне програмне забезпечення Arduino;

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

П'ять крокових двигунів використано відповідно для керування екструдером на соплі, координатами осей i , j , k перпендикулярно робочому столу і кутом обертання робочого столу навколо осі Z . Один серводвигун управляє напрямком Z -зонда, ще один серводвигун управляє кутом n нахилу сопла щодо осі X .

Для прийому та обробки даних використовується мікроконтролер.

3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика мультифункціональної платформи для екструзійного друку біомедичних виробів відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку та модернізації мультифункціональної платформи для екструзійного друку біомедичних виробів є покращенням точності та стабільності друку, а також розвиток нових матеріалів та методів друку для розширення можливостей системи. Також слід приділити увагу аспектам безпеки та ергономіки

під час використання даної платформи у клінічній практиці та промисловому виробництві.

3.1.5 Вимоги до надійності системи

Мультифункціональна платформа для екструзійного друку біомедичних виробів повинна бути захищена на як на фізичному , так і на програмному рівнях. Фізичний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до апаратного забезпечення, зокрема мікроконтролера та під'єднаних до нього компонентів.

Програмний рівень захисту повинен передбачати захист від сторонніх втручань і впливів.

3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати мультифункціональна платформа для екструзійного друку біомедичних виробів полягають в наступному:

- збільшення швидкості друку;
- зниження операційного часу;
- передача даних від мікроконтролера;
- припинення роботи у разі виявлення несправностей;
- надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення зручності використання програмної частини.

3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

- 3D-принтер;
- шприцевий насос (екструдер);
- материнська плата Octopus pro F446;
- нагрівальний елемент HotEnd J-Head;
- вентилятор KF0410S1H81;
- крокові двигуни NEMA17);

- серводвигуни SG90 та MG995;
- кінцевики.

3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

- Arduino IDE.
- прошивка «Marlin»

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
 - графічного матеріалу:
- 1 Огляд аналогів
 - 2 Елементи шприцевого насосу та платформа в зборі
 - 3 Схема під'єднання електронних компонентів шприцевого насосу
 - 4 Скріншоти програмного коду в Arduino IDE

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість мультифункціональної платформи для екструзійного друку біомедичних виробів повинна становити не більше 20 000 грн.

*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	27.01 – 02.02
2.	Розробка технічного завдання	02.02 – 08.03
3	Підбір джерел про платформи екструзійного друку	
	біомедичних виробів	09.03 – 16.03
4.	Опрацювання літературних джерел	17.03 – 26.03
5.	Виконання дослідження щодо розробки друку	
	мультифункціональної платформи для екструзійного	
	біомедичних виробів	27.03 – 16.04
6.	Написання програмного коду	17.04 – 28.04
7.	Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»	29.04 – 02.05
8.	Оформлення розділу «Проектна частина»	03.05 – 14.05
9.	Оформлення розділу «Практична частина»	15.05 – 25.05
10.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека	
	життєдіяльності, основи охорони праці»	26.05 – 31.05
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи	01.06 – 08.06
12.	Нормоконтроль	09.06 – 12.06
13.	Перевірка на плагіат	11.06 – 14.06
14.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	14.06 – 20.06
15.	Захист кваліфікаційної роботи	26.06

7 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б

Фрагмент скрипта керування шприцевим насосом

1. LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
2. struct MenuItem
3. {
4. uint8_t button [4];
5. uint8_t type;
6. char *text;
7. uint8_t address;
8. uint32_t value;
9. };
10. enum listOfButtons {RIGHT, UP, DOWN, LEFT, SELECT, NA};
11. enum listOfButtonStates {RELEASE, SHORTPRESS, MEDIUMPRESS, LONGPRESS};
12. enum listOfPrograms {CHANGEVALUE = 200, SELECTFROMLIST, INFUSEVOLUME, INFUSETIME, REFILLVOLUME, REFILLFULL, CYCLEMODE, FIRMWAREINFO};
13. enum listOfItemTypes {TEXT, LIST, VOLUME, TIME, FLOWRATE, LENGTHPERVOLUME, DIAMETER};
14. const char firmwareInfo[] = "0.9a";
15. const uint16_t volumeDivider[2] = {1000, 1};
16. const uint16_t timeDivider[3] = {1, 60, 3600};
17. const uint16_t flowrateDivider[4] = {60000, 1000, 60, 1};
18. const float stepsPERmm = NOFSTEPSPER360 / MM360;
19. MenuItem items[NITEMS];
20. uint8_t lastButton = NA;
21. uint8_t buttonState = RELEASE;
22. uint32_t buttonPressTime = 0;
23. uint8_t currentItem = 1;
24. float coef;
25. uint8_t endStopPin;
26. volatile uint32_t ustepCounter;
27. uint32_t ustepCounterLimit;
28. uint32_t getValue(uint8_t itemNo);
29. void changeValue();
30. void setValue(uint8_t itemNo, uint8_t digits[8]);
31. void selectFromList();
32. void calculateActualValue(uint8_t itemNo);
33. void recalculateSyringe(uint8_t itemNo);
34. void printScreen();
35. void printUnits();
36. void printFirmwareInfo();
37. void printTimeAndVolume(uint16_t pumpingTime, uint32_t pumpingVolume);
38. void showScreensaver();

```

39. void readFromEEPROM(uint8_t itemNo);
40. void writeToEEPROM(uint8_t itemNo);
41. void getButtonState();
42. uint16_t valueDivider (uint8_t n);
43. uint8_t getElementNo(uint8_t linkToList);
44. void waitingForButton(uint8_t buttonCode, uint8_t itemNo);
45. void beep (uint16_t delayOn = 15, uint16_t delayOff = 100);
46. bool checkEndstop(int8_t pumpingDirection);
47. void infuseVolume();
48. void infuseTime();
49. void refillVolume();
50. void refiHFull();
51. void pumpSingly(int8_t pumpingDirection, uint32_t flowrate, uint32_t volume);
52. void pumpContinuously();
53. uint8_t pump(uint32_t flowrate, uint32_t volume);
54. void setup()
55. {
56. 56.lcd.begin(16, 2);
57. pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);
58. pinMode(DIRECTION_PIN, OUTPUT);
59. pinMode(ENABLE_PIN, OUTPUT);
60. pinMode(ENDSTOP_PIN1, INPUT_PULLUP);
61. pinMode(ENDSTOP_PIN2, INPUT_PULLUP);
62. pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
63. digitalWrite(ENABLE_PIN, HIGH);
64. items[1] = {5, 0, 2, 0, TEXT, "Infuse"};
65. items [2] = {7, 1, 3, 0, TEXT, "Refill"};
66. items[3] = {9, 2, 4, 0, TEXT, "Cycle Mode"};
67. items [4] = {10, 3, 0, 0, TEXT, "Settings"};
68. items[5] = {15, 0, 6, 1, TEXT, "Target Volume"};
69. items[6] = {16, 5, 0, 1, TEXT, "Target Time"};
70. items [7] = {17, 0, 8, 2, TEXT, "Full Refill"};

```

.....