

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	11
1.1 Види кінематики 3D-принтерів .....	11
1.2 Структура, що управляє просторовим положенням сопла .....	16
1.3 Аналіз механізму передачі .....	19
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА .....	21
2.1 Схема компонування 3D-принтера.....	21
2.2 Калібрування стола 3D-принтера .....	22
2.2.1 Вплив зазору між соплом та столом 3D-принтера на якість друку .....	22
2.2.2 Ручне калібрування столу 3D принтера.....	23
2.2.3 Автокалібрування стола 3D-принтера .....	25
2.3 Модернізація існуючих рішень калібрування столу 3D-принтера .....	25
2.4 Вибір елементів автокалібрування столу 5-ти координатного 3D принтера	26
2.4.1 Плата мікроконтролера.....	26
2.4.2 Плата надбудови для мікроконтролера.....	28
2.4.3 Вибір драйверів крокових двигунів .....	29
2.4.4 Вибір кінцевих вимикачів для Z -зонда та осі X, Y та Z.....	33
2.4.5 Вибір двигунів для автокалібрування столу .....	34
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	39
3.1 Схема системи автокалібрування столу 3D- принтера .....	39
3.2 Програмування системи автокалібрування столу 3D-принтера у прошивці Marlin .....	41
3.2.1 Налаштування Z -зонда у прошивці Marlin.....	44

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Придюк В.П..				Літ.	Арк.	Аркушів		
Керівник.	Баран І.О.								
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Н. Контр.									
Затверд.	Осухівська Г.М								

3.2.2 Налаштування параметрів автокалібрування столу у прошивці Marlin.....	44
3.3 Конструкція головки екструдера з автокалібруванням.....	45
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	48
4.1 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок .....	48
4.2 Працездатність людини – оператора.....	52
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ	
Додаток А Технічне завдання	

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І  
ТЕРМІНІВ

3D друк – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу за даними цифрової моделі.

3D-принтер – пристрій з числовим програмним керуванням, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифровою 3D-моделлю.

FDM (Fused Deposition Modeling) – моделювання методом наплавлення.

Marlin — прошивка з відкритим вихідним кодом, розроблена для 3D-принтерів FDM, які використовують платформу Arduino.

Екструдер – робоча головка 3D-принтера.

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція.

ПЗ – програмне забезпечення.

Філамент – термопластична нитка, яка потрібна для роботи 3D принтера.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

3D-друк швидко став одним з найбільш ефективних та поширених інструментів для проектування та створення складних компонентів. Ця технологія дозволяє виконувати кілька ітерацій дизайну за день, тоді як у минулому для завершення цих проектів могли знадобитися тижні чи місяці. Технологія 3D-друку - це революційна технологія виробництва, яка дозволяє створювати дуже складні об'єкти шар за шаром, минаючи традиційні етапи проектування та виробництва для отримання необхідної моделі.

Кінематична схема традиційних 3D-принтерів переважно є трьохкоординатною. У цьому випадку при друку «нависаючих» конструктивних елементів потрібно використовувати так званий матеріал підтримки або підтримуючу структуру для друку. Після видалення підтримуючих структур на надрукованому виробі залишаються сліди і виріб потребує подальшої механічної чи хімічної обробки, оскільки без неї якість отриманого виробу буде неприйнятною. Однак, використання в кінематиці принтера додаткових координат дозволяє регулювати кут нахилу деталі або друкуючої голівки, додати обертання деталі так, щоб нависаючий конструктивний елемент можна було б додрукувати пізніше, після формування основного тіла деталі. В цьому випадку відпадає необхідність використовувати підтримуючі структури для забезпечення формування друкованих деталей, наявна економія часу та витратних матеріалів. При цьому дана технологія дозволяє створювати складніші деталі, котрі недоступні для класичної технології 3D-друку.

Крім того, для звичайних 3D-принтерів 80% проблем із друком виникають через нерівності робочого столу. Від того, наскільки рівно і міцно буде закріплений перший шар друку на робочому столі, залежить успіх друку. Тому калібрування 3D-принтера є першочерговою операцією.

Мета роботи – розробка системи управління роботою давача автокалібрування та конструкції головки екструдера 3D принтера з автокалібруванням.

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- проаналізувати існуючі технічні рішення;
- підібрати давачі положення, реалізовані на множині різних принципів;
- провести оптимізацію обладнання, що розробляється, за масогабаритними характеристиками;
- протестувати розробку.

					<i>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Види кінематики 3D-принтерів

3D-принтер складається з [1]:

- корпус, який є каркасом для подальшого монтажу конструктивних елементів;
- напрямні, якими друкуюча головка відносно вільно переміщається в заданому просторі;
- друкуюча головка (екструдер) - це група компонентів для подачі, нагріву та вивантаження (екструзії) витратного матеріалу через сопло на робочу поверхню;
- крокові двигуни - електромеханічні вироби, що відповідають за рівномірне переміщення головки друку в заданому просторі;
- робочий стіл - рухома або стаціонарно закріплена платформа 3D-принтера, що нагрівається, на якій створюються 3D-об'єкти;
- електроніка - група елементів, що відповідають за керування та координацію рухів принтера у процесі друку.

Кожен 3D-принтер має індивідуальну кінематичну схему, відповідно до якої приводяться в рух механічні частини 3D-принтера: робочий стіл та екструдери.

В даний час поширені 3 види 3D-принтерів:

- картезіанський (в основі його кінематики лежить декартова система координат);
- дельта (принтер з паралельною кінематикою);
- роботизований маніпулятор (використовує для кінематики програмовані роботизовані руки).

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Придюк В.П.</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Керівник.</i>		<i>Баран І.О.</i>					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М</i>					

Серед поширених на ринку 3D-принтерів FFF/FDM найбільш популярні пристрої з декартовою кінематикою або картезіанські (рис. 1.1) [2].

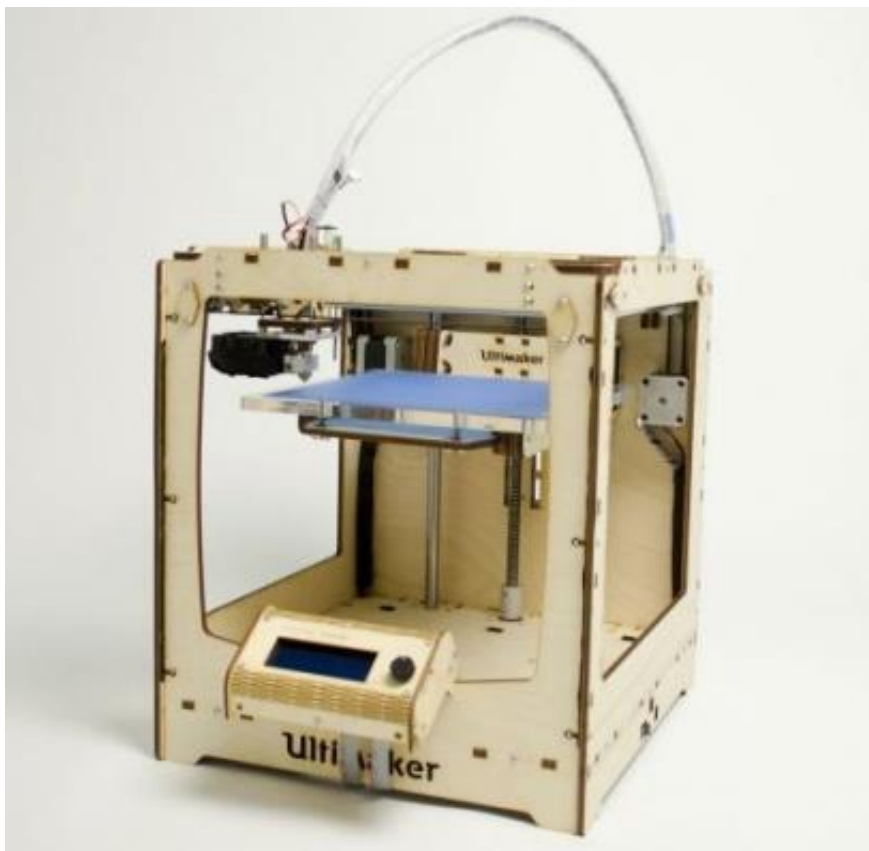


Рисунок 1.1 – 3D-принтери побудовані за «картезіанською» схемою

Така технологія базується на декартовій системі координат, яка працює на основі трьох осей X, Y і Z і переміщає механічні частини обладнання по одній або декільком з цих осей, тобто координати, задані по осях, реалізують взаємозв'язок між головками, що друкують. Схема руху та розташування платформи представлені на рис. 1.2.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

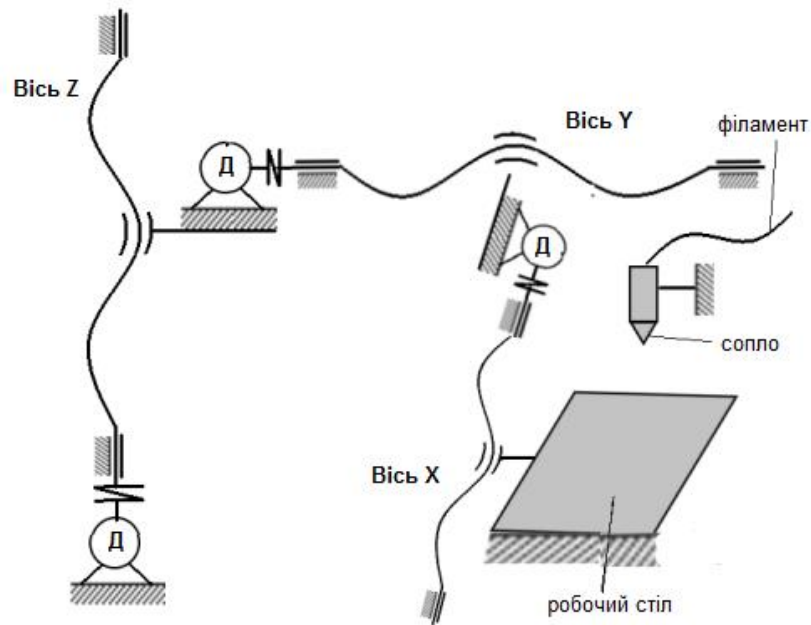


Рисунок 1.2 – Схема компонування картезіанських 3D-принтерів

Дельта-принтери – принтери з паралельною кінематикою (рис. 1.3).

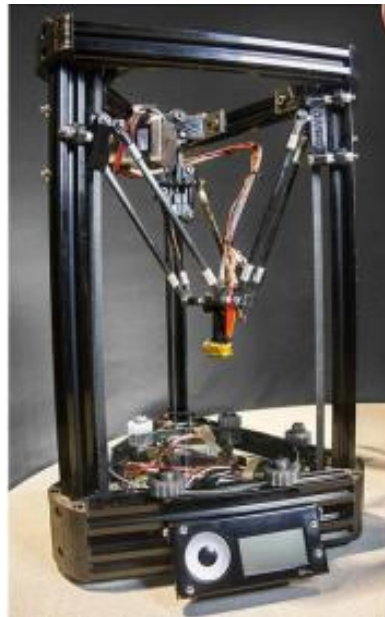


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд дельта-принтера

Дельта-принтер відрізняється від картезіанських принтерів як на вигляд, так і за способом реалізації механіки. Ключова відмінність у тому, як екструдер рухається щодо столу [3, 4]. У них є 3 «руки», осі переміщення яких розташовані перпендикулярно до робочої площини. Дельта-принтер перетворює декартові

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



координати в положення 3 рухомих кареток на рейках, перпендикулярних осі Z (рис. 1.4) за допомогою тригонометричних функцій.

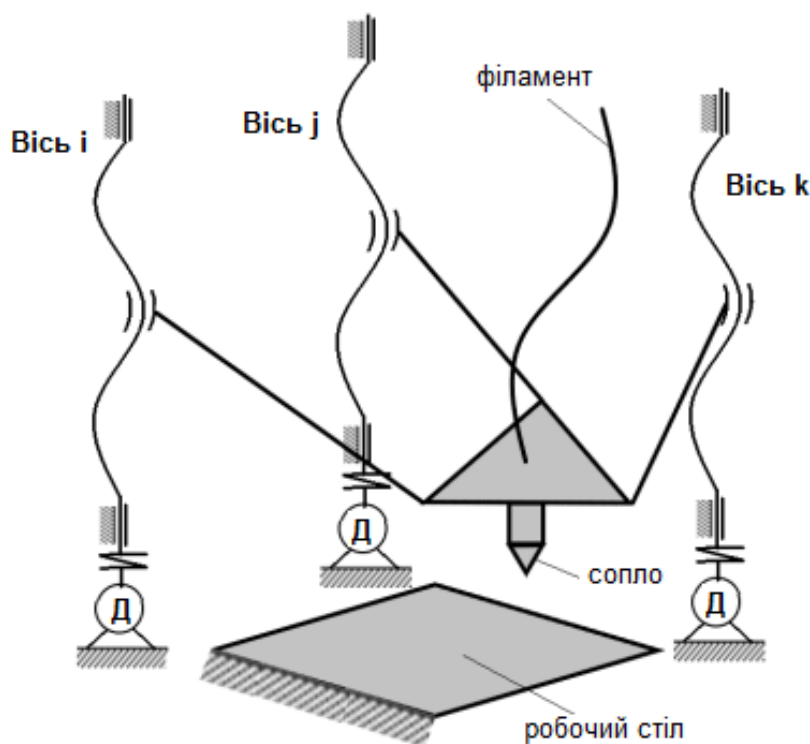


Рисунок 1.4 – Схема компонування дельта-принтера

3D-принтери з роботизованими маніпуляторами використовують для переміщення екструдера програмовані роботизовані руки з можливістю зміни виконавчого пристрою. Якщо друкувати велику промислову модель, то у разі заміни виконавчого пристрою, крім функцій 3D-принтера, такий робот може також виконувати інші технологічні операції - зварювання, фрезерування, фарбування і т.д.

У той же час такі пристрої є дорогими, мають жорсткі обмеження і мінімальну робочу зону по осі XY.

На рис. 1.5 показаний компактний настільний робот, що поєднує функції 3D -принтера і маніпулятора. Багатофункціональність досягається шляхом програмування ефектів через комп'ютер або мобільний додаток, встановлений на комп'ютері. Має змінні головки для друку, гравіювання, паяння та складання.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

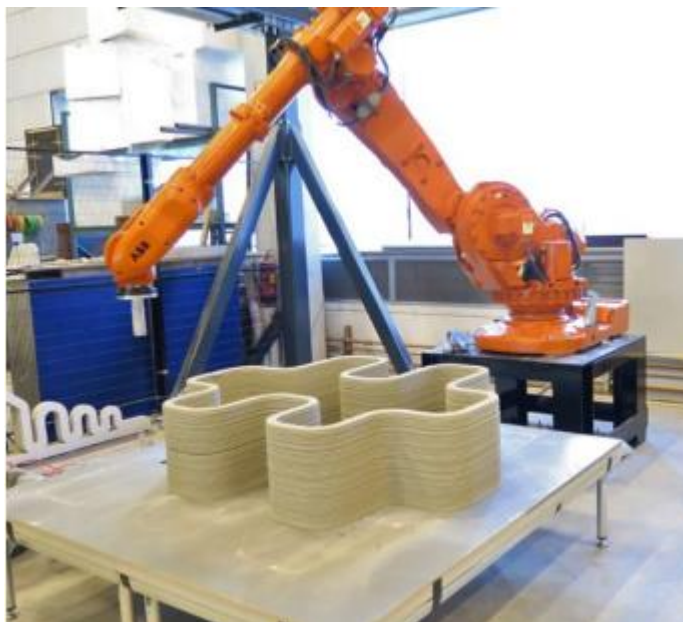


Рисунок 1.5 – 3D-принтери з роботизованими маніпуляторами

Кінематика такого принтера показана на рис. 1.6.

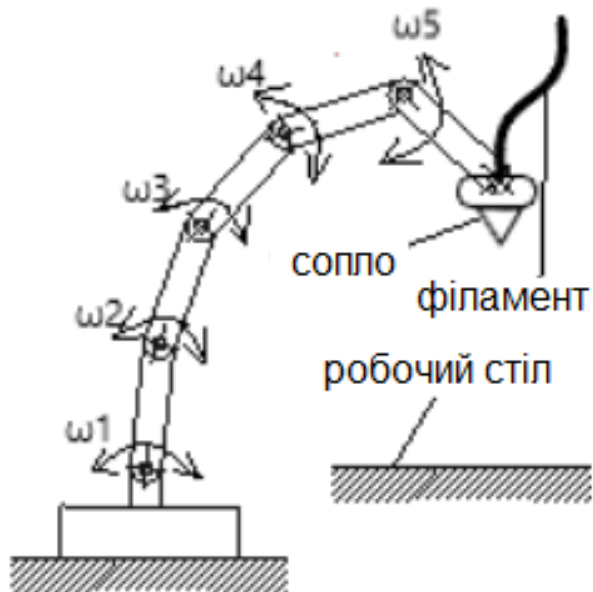


Рисунок 1.6 – Схема компонування 3D-принтера з переміщенням сопла за допомогою роботизованого маніпулятора

Згадані вище три типові структури 3D-друку порівнюватимуть і розглядатимуться з різних точок зору [5], як показано в табл. 1.1.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.1 – Порівняння структури 3D-друку

Вид кінематики	Складність управління	Стабільність руху сопла	Точність формування	Розмір формування	Швидкість друку
Картезіанські 3D-принтери	простий	задовільний	задовільний	малий	задовільний
3D-принтери з роботизованими маніпуляторами	складний	задовільний	задовільний	великий	задовільний
Дельта-принтери	простий	добрий	добрий	великий	добрий

З табл. 1.1 видно, що конструкція типу Delta має очевидні переваги в порівнянні з трьома іншими конструкціями стабільності роботи, точності формоутворення і швидкості друку, тому в якості схеми конструкції механічного структура для даної конструкції була остаточно обрана конструкція типу Delta.

Таким чином, для керування просторовим положенням друкуючої головки принтера була обрана конструкція типу Delta, оскільки вона має достатню гнучкість і на її основі можна реалізувати кінематику з необхідним числом ступенів свободи.

## 1.2 Структура, що управляє просторовим положенням сопла

Механічна структура є одним з найбільш важливих факторів, що впливають на точність формування та якість 3D -принтерів. Перевагою 3D -принтерів дельта-типу є паралельна кінематична структура. Щоб забезпечити необхідну траєкторію руху та точність положення сопла, механізм паралельного руху повинен обмежувати свободу обертання сопла у всіх напрямках, щоб сопло могло працювати у горизонтальній площині. Виходячи із викладених вище

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимог, існують дві конструктивні схеми його кінематичного механізму, одна є паралельним маніпулятором промислового призначення, інша є rostock-кінематикою [6].

Варіант 1. Паралельний маніпулятор для промислового застосування складається з двох платформ (рис. 1.7): нерухома верхня основа (1) і невелика рухома платформа (8), з'єднані трьома важелями. Кожен важіль складається з двох частин: верхнє плече (4) жорстко пов'язане з двигуном (3), розташованим на верхній підставці, а нижнє плече є паралелограмом (5), в кутах котрого містяться карданні шарніри (6, 7), що дозволяють змінювати кут. Кожен паралелограм з'єднаний з верхнім плечем шарніром (16) так, що його верхня сторона залишається перпендикулярною його плечу та паралельній площині верхньої основи. Отже, мобільна платформа робота, прикріплена до нижньої сторони паралелограма, також завжди буде паралельна до верхньої основи. Ми можемо керувати положенням платформи, змінюючи кут повороту плеча щодо основи робота за допомогою двигуна.

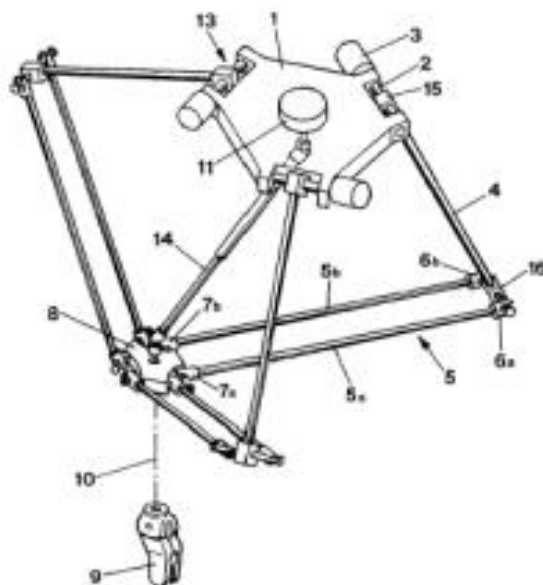


Рисунок 1.7 – Паралельний маніпулятор для промислового застосування

У центрі нижнього майданчика (8) з'єднаний робочий орган принтера (9) (англійською мовою використовується термін end effector). У випадку з 3D -

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

принтером це має бути екструдер. Крім того, може бути використаний ще один двигун (11), що забезпечує обертання робочого органу через шток (14).

Варіант 2: Механізм руху показаний на рис. 1.8. З рис. 1.8 видно, що механізм складається з трьох паралелограмних замкнутих контурів, а колона і рухома платформа з'єднані паралелограмним замкнутих контуром.

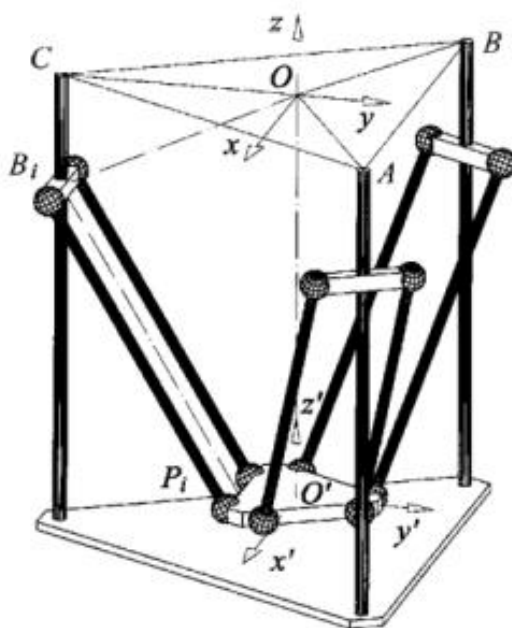


Рисунок 1.8 – Rostock кінематика

У табл. 1.2 наведено порівняння варіантів

Таблиця 1.2 – Порівняння характеристик обох варіантів

варіант	Стабільність руху сопла	Структура	Точність друку
1	задовільний	складний	задовільний
2	хороший	простий	хороший

Як видно з табл. 1.2, враховуючи всі аспекти двох схем, для даної конструкції обраний другий варіант.

### 1.3 Аналіз механізму передачі

На рис. 1.9 три координати  $i$ ,  $j$ ,  $k$  управляють просторовим положенням платформи, на якій розташоване сопло. Ми будемо використовувати три крокові двигуни для управління віссю  $i$ ,  $j$ ,  $k$ . Отже, потрібна передавальна конструкція для перетворення обертального руху двигуна на поступальний рух координатної осі.



Рисунок 1.9 – Типи передач

Існує множина типів передач, які найчастіше використовуються в лазерному та фрезерному устаткуванні, розглянемо кілька з них [7]:

- передача гвинт/гайка - класичний варіант для саморобних верстатів ручної роботи. Принцип руху такий самий, як у звичайної гайки на різьбі;
- передача гвинтова з трапецеподібною різьбою - робоча, промислова імітація передачі типу «гвинт/гайка». Рух ґрунтується на аналогічних принципах;
- кулькова-гвинтова передача - більш технічно складний тип виконання, аналогічний приводу гвинт-гайка, де різьба є канавки, якою переміщуються кульки, забезпечуючи прямолінійний рух гайки;
- зубчасто-пасова передача є основним елементом пасової передачі і використовується для передачі крутного моменту за рахунок сил зачеплення ременя і шківа.

У табл. 1.3 приведено порівняння основних характеристик типів передач.

Таблиця 1.3 – Порівняння характеристик передач

Тип передач	Передача гвинт/гайка	Передача гвинтова з трапецевидною різьбою	Кульково-гвинтова передача	Зубчастопасова передача
втрати на тертя	високі	високі	низькі	низькі
ефективність	низька	низька	висока	висока
точність	загальна	висока	висока	низька
строк служби	низький	низький	високий	високий
ціна	низька	висока	висока	середня

Після порівняння різних параметрів як система передачі була обрана кульково-гвинтова передача через більш високу точність та ефективність передачі.

## РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Схема компонування 3D-принтера

На рис. 2.1 представлена схема компонування 5-ти координатного 3D-принтера з паралельною кінематикою [8].

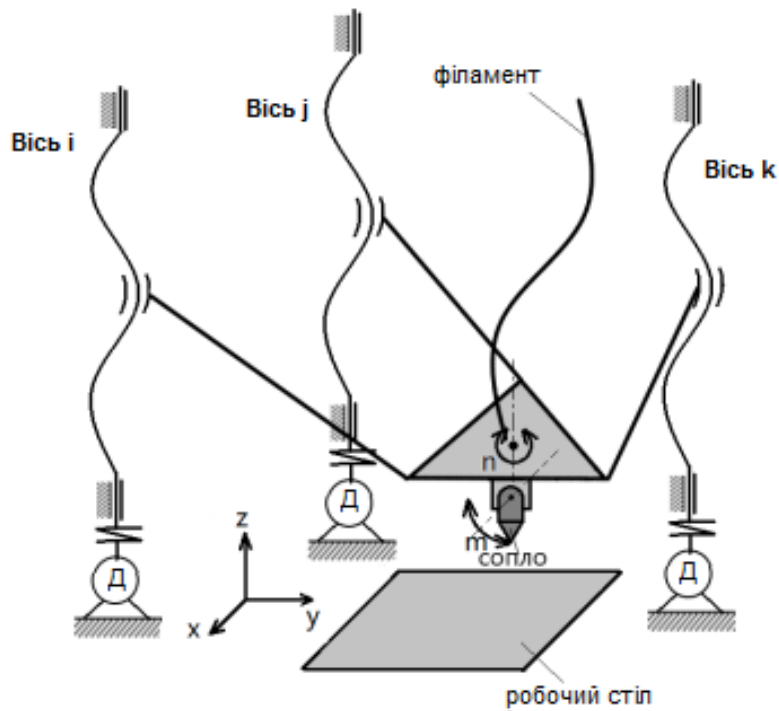


Рисунок 2.1 – Компонування 5-ти координатного 3D-принтера з Delta кінематикою

Тут  $i, j, k$  - керовані координати для переміщення рухомої платформи з соплом щодо робочого столу;

$m$  - керована координата для нахилу сопла щодо осі  $X$ ;

$n$  - керуюча координата для обертання сопла навколо осі  $Z$ .

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Придюк В.П..			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Баран І.О.					
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.							
Затверд.		Осухівська Г.М					



## 2.2 Калібрування стола 3D-принтера

Для формування якісних деталей з філаменту (нитки) на столі 3D-принтера важливо забезпечити рівномірне розподілення маси по поверхні [9]. Потрібно забезпечити максимально можливий рівний рівень та оптимальний зазор між столом та соплом головки. Якщо поверхня столу нерівна, зазор буде різним у різних робочих зонах. Рівномірність подачі нитки може бути порушена, що призведе до дефектів та спотворень відбитка.

Процес регулювання нахилу поверхні платформи називається калібруванням. На домашніх принтерах з невеликим столиком калібрування зазвичай виконується вручну шляхом затягування гвинтів, якими кріпиться столик до несучої платформи [10]. Однак цей процес можна автоматизувати, що заощадить час та підвищить точність.

### 2.2.1 Вплив зазору між соплом та столом 3D-принтера на якість друку

Основна причина поганої адгезії пластику до поверхні робочого столу - неправильне калібрування [10]. Перший шар друкарської нитки повинен бути наполовину вдавлюватися в стіл і створювати монолітне покриття з ледь помітними борозенками між лініями.

Помилки калібрування столу часто є причиною багатьох проблем під час друку (рис. 2.2.):

- відлипання моделей під час друку;
- відлипання кутів;
- "слонові" ноги;
- шари, що нерівномірно укладаються.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Різна якість друку

Причини різниці у якості одержуваної 3D-друком поверхні полягають у наступному:

- стіл надто далеко, великі щілини між лініями. Пластик може відлипати від столу;
- стіл далеко, видно щілини між лініями;
- досі далеко, все ще видно щілини між лініями;
- це вдале калібрування, чи немає горбів між лініями;
- стіл надто близько, видно горби між лініями;
- стіл дуже близький, шар тонкий, лінії занадто широкі і напливають одна на одну;
- ще трохи і сопло почне дряпати стіл, шар дуже тонкий і пластику нікуди виходити із сопла.

Вищезазначені ознаки вказують на те, що робочий стіл потребує калібрування.

### 2.2.2 Ручне калібрування столу 3D принтера

Більшість 3D -принтерів FDM вимагають ручного калібрування перед друком. Однією з особливостей цього обладнання є те, що потрібно регулярно перевіряти рівень столу для друку. Згодом конструкція каліброваного 3D-принтера FDM втрачає жорсткість і може почати "люфтити". Це пов'язано не тільки з регульовальними гвинтами столу, а й із зазором різьбових з'єднань. Зазвичай це проявляється у вигляді вібрації під час друку.

Через відхилення столу від заданого рівня, відстань між соплом екструдера та друкованим столом змінюється у різних точках. Це призводить до

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спотворення друкованої моделі, спотворення розмірів та масштабу, засмічення екструдера (коли сопло знаходиться близько до столу і пластик не може вийти).

Щоб уникнути проблем, користувачеві необхідно регулярно калібрувати робочий стіл. Найчастіше ця робота виконується вручну. Для цього стіл має бути забезпечений регулювальними гвинтами (рис. 2.3).

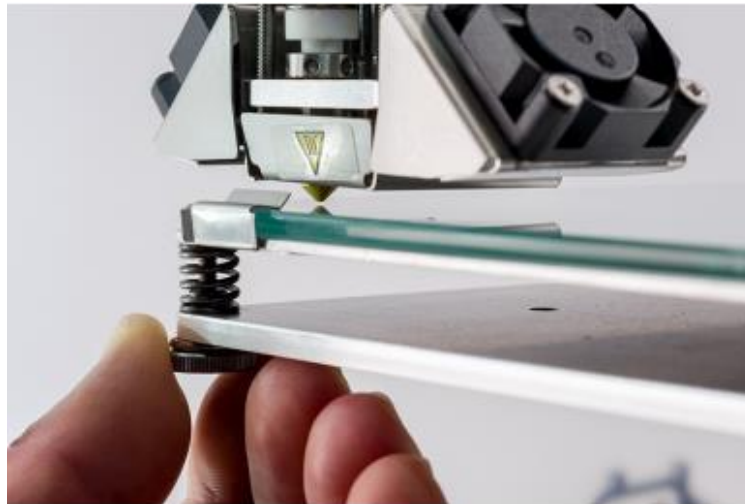


Рисунок 2.3 – Калібрування вручну за допомогою регулювальних гвинтів

Ручне калібрування виконується в наступному порядку:

- перевіряється плавність ходу всіх регулювальних гвинтів;
- сопло очищається від налиплої маси застиглого пластику;
- кожен регулювальний гвинт послаблюється на кілька обертів, щоб збільшити проміжок між соплом і столом;
- калібрування починається з одного з кутів столу. Сюди вручну підводиться сопло голівки екструдера. Використовується щуп або паперова смужка для встановлення оптимального зазору. Обережним обертанням домагаються утворення необхідного зазору (найчастіше при цьому використовується звичайний аркуш паперу). Важливо не створювати надмірного тиску на давач, оскільки це може спричинити помилку;
- аналогічні дії виконуються в усіх кутках. Також установка рівня проводиться в центральній точці. Зазор у всіх точках має бути однаковим.

При переході з однієї точки в іншу може відбутися збій налаштувань. Тому

					<i>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						24
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

потрібно перевірити раніше встановлені зазори. Якщо вони змінилися, то все проводиться у другому колі. Іноді потрібно провести кілька кіл калібрування. Далі принтер запускається та перевіряє правильність калібрування.

### 2.2.3 Автокалібрування стола 3D-принтера

У багатьох 3D-принтерах автоматичне калібрування ґрунтується на використанні прошивки Marlin [11]. Процедура налаштування починається з відкриття коду прошивки в Arduino (Arduino IDE) [12]. Існують різні версії програми, але дії для них однакові. Основні налаштування виконуються у вкладці Configuration.h:

- у Bed Leveling вибирається тип калібрування за матрицею точок (#define MESH\_BED\_LEVELING);
- у розділі Mesh встановлюються параметри калібрування: відступ від межі зони, кількість точок по осях X та Y, крок регулювання та діапазон руху по осі Z. Рекомендується задіяти команди руху головки.

Після налаштування програми проводиться сама процедура калібрування у такому порядку:

- у меню принтера виберіть «Калібрувати стіл»;
- задіюється режим «Автокалібрування»;
- встановлюється висота спаду та Z столу;
- натискається кнопка "Почати", після чого починається рух столу.

Встановлюється проміжок порядку 0,5 мм. При калібруванні можна використовувати щуп або аркуш паперу.

### 2.3 Модернізація існуючих рішень калібрування стола 3D-принтера

Щоб спроектувати принтер з більш високим рівнем автоматизації та більшою точністю, було вибрано використання системи автокалібрування із Z-зондом (рис. 2.4).

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

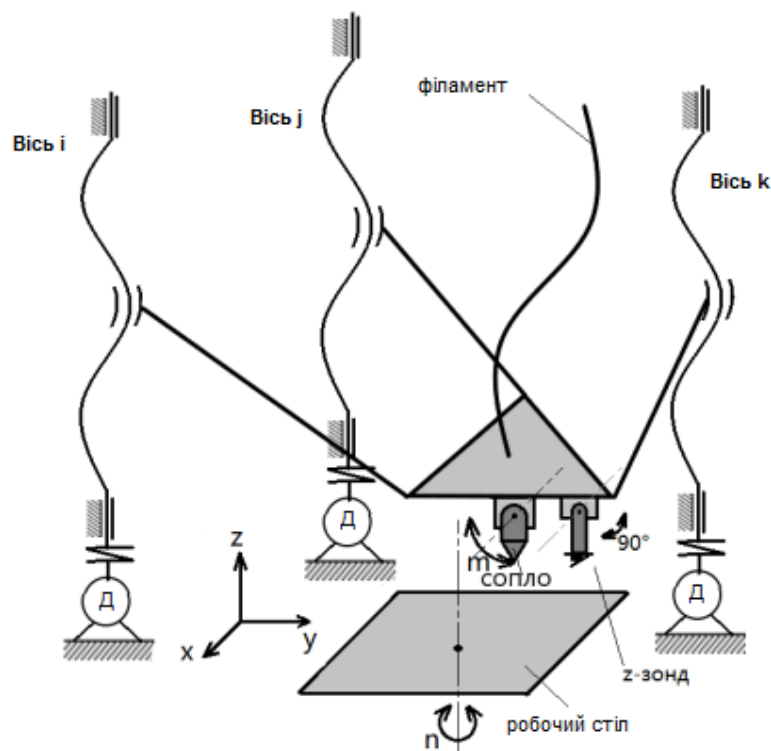


Рисунок 2.4 – Схема компонування 3d принтера з автокалібруванням столу Z-зондом

Щоб запобігти зіткненню Z-зонда з моделлю в процесі друку, робочий режим Z-зонда був оптимізований таким чином:

- під час автокалібрування серводвигун управляє поворотом Z- зонда на  $90^\circ$  за годинниковою стрілкою, щоб напрямок Z -зонда був перпендикулярним до робочому столу;
- перед друком моделі або перед початком калібрування при «додруку» нависаючих конструктивних елементів, серводвигун управляє поворотом Z - зонда на  $90^\circ$  проти годинникової стрілки, щоб напрямок Z -зонда був паралельним до робочому столу.

## 2.4 Вибір елементів автокалібрування столу 5-ти координатного 3d принтера

### 2.4.1 Плата мікроконтролера

Arduino Mega 2560 - основна друкована плата [13] з інтерфейсом USB, з 54

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

цифровими входами та виходами, що підходить для проєктів, що вимагають великої кількості інтерфейсів вводу-виводу (рис. 2.5). Живлення може подаватися трьома способами, а режим живлення може вибиратися автоматично.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд Arduino Mega 2560

В табл. 2.1 наведено основні технічні характеристики плати.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики Arduino Mega 2560

Характеристика	Величина
Вхідна напруга	6-20В
Цифрові входи/виходи	54 (14 з яких можуть працювати також як виходи ШІМ)
Аналогові входи	16
Постійний струм через вхід/вихід	40 mA
Постійний струм для виведення 3.3 В	50 mA
Флеш пам'ять	256 КВ
ОЗП	8 КВ
Енергонезалежна пам'ять	4 КВ
Тактова частота	16 MHz

Ядром є процесор ATmega2560, який також має 54 цифрові порти вводу-виводу (15 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 15 аналогових входів, 4 інтерфейси UART, кварцовий генератор 16 МГц, порт USB, роз'єм живлення, заголовок ICSP і кнопку скидання.

Arduino Mega2560 також сумісний з платами розширення, розробленими для Arduino UNO. Випущено третю версію Arduino Mega2560, яка має такі нові функції в порівнянні з двома попередніми версіями:

- два контакти SDA та SCL додані до AREF для підтримки інтерфейсу I2C; додано IOREF і один зарезервованний контакт, і в майбутньому плата розширення буде сумісна з базовими платами 5 і 3,3 В;
- поліпшена схема скидання.

Мікросхема інтерфейсу USB замінена ATmega16U2 ATmega8U2.

#### 2.4.2 Плата надбудови для мікроконтролера

RAMPS 1.6 [14] – це "шилд" (надбудова) для Arduino Mega 2560. Платформа Arduino перетворює G-коди в сигнали і керує 3D-принтером за допомогою силової частини - RAMPS 1.6 (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – RAMPS 1.6

На рис. 2.7 наведено схему під'єднання RAMPS 1.6.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

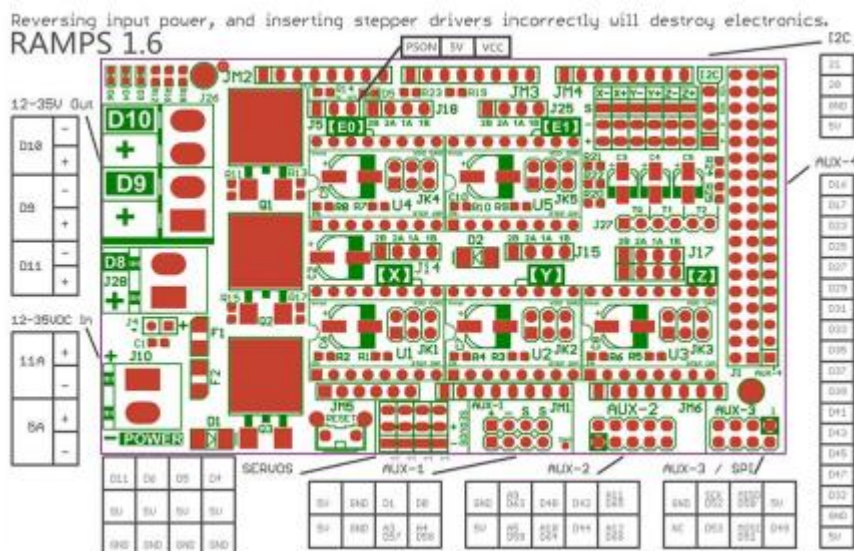


Рисунок 2.7 – Посібник з під'єднання RAMPS 1.6

### 2.4.3 Вибір драйверів крокових двигунів

Крокові двигуни - це особливий тип двигунів з високим крутним моментом, які зазвичай використовуються в 3D-принтерах для управління частинами, що рухаються. Крокові двигуни працюють з магніточутливим валом, який рухається, коли електромагнітні котушки, що оточують його, живляться. Коли повністю живиться лише одна котушка, це називається повним кроком, оскільки вал переміщується на один повний крок [15].

Однак вал може рухатися мікрокроками, що досягається за рахунок живлення двох електромагнітних котушок на різних рівнях. Мікрокрок - це більш точний спосіб пересування, зі своїми перевагами та недоліками. Існують різні рівні мікрокроку в залежності від частки повного кроку, на яку рухається двигун (наприклад 1/32, 1/64).

Для керування кроковими двигунами використовується спеціальне обладнання – драйвери крокових двигунів. Драйвери крокового двигуна - це компонент на материнській платі 3D-принтера, що відповідає за керування потужністю, що подається на електромагнітні котушки крокового двигуна для повороту валу двигуна на певну відстань. Драйвери та їх мікрокрокові можливості істотно впливають на шум, створюваний принтером.

Якщо використовувати крокові двигуни, розраховані тільки на повні



кроки, щоб отримати половину кроку, електромагнітні котушки постійно втрачатимуть потужність, а вал коливатиметься між двома активними котушками приблизно в середині шляху. Це вагання викличе сильну вібрацію і створить багато шуму. Чим краще мікрокрокові здібності драйвера крокового двигуна, тим менше вібрацій він вироблятиме і тим тихіше працюватиме принтер.

В даний час існує три драйвери крокових двигунів, які можна встановити на плату RAMPS 1.6.

Драйвер крокового двигуна A4988 (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд A4988

Його технічні характеристики наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні технічні характеристики A4988

Характеристика	Величина
Напруга живлення	8-35 В
Режим мікрокроку	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Захист від перегріву	Наявний
Максимальний струм на фазу	1 А без радіатора; 2 А з радіатором
Розмір	20 x 15 мм

Всюдисущий драйвер крокового двигуна A4988 працює від 8-35 В і може подавати на крокові двигуни струм до 1 А без необхідності використання радіатора.

Драйвер крокового двигуна TMC2208 (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд TMC2208

В табл. 2.3 представлені його основні технічні параметри.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики TMC2208

Характеристика	Величина
Напруга живлення	4-35 В
Режим мікрокроку	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256
Захист від перегріву	Наявний
Максимальний струм на фазу	2 А
Розмір	20 x 15 мм

Такі драйвери поширені у материнських платах 3D- принтерів, таких як плата Creality V1.1.5, та користувачі Драйвер крокового двигуна TMC2225 відзначили, що вони ефективні для зниження шуму вашого принтера

Драйвер крокового двигуна TMC2225 (рис. 2.10). Залежно від конкретного

типу драйвера TMC2225 драйвер може обробляти до 1/256 мікрокроків, що відмінно підходить для точного друку моделей. В табл. 2.4 представлені його параметри.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд TMC2225

Таблиця 2.4 – Основні технічні параметри TMC2225

Характеристика	Величина
Напруги живлення	4.7-36 В
Режим мікрокроку	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128, 1/256
Захист від перегріву	Наявний
Максимальний струм на фазу	2 А
Розмір	20 x 15 мм

TMC2225 – це наступне покоління TMC2208. Основна відмінність від TMC2208 полягає в тому, що в пакеті використовується HTSSOP замість DFN, який має ту саму функцію, кращу ефективність розсіювання тепла та вищу вартість.

На рис. 2.11 показано з'єднання між TMC2225 та RAMPS 1.6.



Рисунок 2.11 – Під'єднання TMC2225 до RAMPS 1.6

Після порівняння різних параметрів був обраний драйвер крокового двигуна TMC2225, оскільки він має кращі характеристики мікрокроку і розсіювання тепла.

#### 2.4.4 Вибір кінцевих вимикачів для Z -зонда та осі X, Y та Z

Щоб при калібруванні визначити, що каретка 3D -принтера досягла свого крайнього положення (точку початку координати Z або Z0), необхідно використовувати який-небудь давач (EndStop або як їх ще називають, кінцеві вимикачі).

Існують такі типи кінцевих вимикачів, які можна використовувати разом із RAMPS 1.6:

- механічні;
- оптичні;
- на ефекті Холла;
- індуктивний;
- ємнісний;
- резистор, чутливий до сили.

Порівняння продуктивності різних типів кінцевих вимикачів приведено у літературних джерелах, які є у вільному доступі.

Давачі автовирівнювання BL Touch [16], що отримали поширення, робота яких заснована на ефекті Холла, відрізняються високою точністю, проте для

пропонованої конструкції не підходять, так як не мають автономного приводу переміщення елемента відчуття (щупа), при цьому володіють вельми значними розмірами і масою. Використовувати індуктивні давачі теж є недоцільним, оскільки вони характеризуються невисокою швидкістю та непередбачуваністю отриманих показів. Є свої недоліки і у п'єзоелектричних, і тензометричних давачів.

Цікавими є оптичні давачі (оптопари) і мікроперемикачі, наприклад, тактові кнопки.

Після наведеного вище порівняння та аналізу різних кінцевих вимикачів механічний кінцевий вимикач KW4-3Z-3 обраний зондом осі Z для використання в системі автокалібрування. Оптичні кінцеві вимикачі TCST2103 були обрані для встановлення в кінцевих положеннях трьох базових приводів (осі X, Y та Z).

#### 2.4.5 Вибір двигунів для автокалібрування столу

Крокові електродвигуни використовуються у приводах машин та механізмів, котрі функціонують у режимі «старт - стоп» чи у приводах постійного руху, коли вплив, що управляє, визначається черговістю електричних імпульсів, для прикладу – верстати з ЧПК.

Сервопривід - це такий вид приводу, який може точно управляти параметрами руху. Іншими словами, це двигун, який може повернути свій вал на певний кут чи підтримувати безперервне обертання з точним періодом.

У розробленій системі автоматичного калібрування потрібно три крокові двигуни для керування трьома координатами для переміщення рухомої платформи з соплом щодо робочого столу.

Два двигуни необхідні управління нахилом сопла щодо осі X і обертання столу навколо осі Z.

Кроковий двигун обраний для керування обертанням робочого столу навколо осі Z.

Для кращої маневреності сопла необхідно вибрати легші серводвигуни керувати нахилом сопла щодо осі X і напрямом руху Z-зонда.

					<i>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						34
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вибір крокового двигуна. У конструкції 3D-принтерів основну функцію переміщення екструдера вздовж осі виконують крокові двигуни. Вони є ключовими компонентами, які приводять у дію 3D-принтери. Враховуючи, що максимальний струм драйвера двигуна 2А, підходять крокові двигуни NEMA17 та NEMA11. Основні технічні параметри NEMA17 наведені у табл. 2.5, а NEMA11 у табл. 2.6.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики NEMA17

Характеристика	Величина
Номінальний струм/фаза	1.8 А
Кут кроку	1,8 ±0. 09°
Момент утримання	> 5.4 кг*см
Вага	350г
Розміри	42 x 42 x 48 мм

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики NEMA11

Характеристика	Величина
Номінальний струм/фаза	0.67 А
Кут кроку	1,8 ±0. 09°
Момент утримання	> 1.2 кг*см
Вага	180г
Розміри	28 x 28 x 51 мм

Після порівняння видно, що у NEMA17 більший крутний момент, в той же час при достатній величині крутного моменту, NEMA11 менше за габаритами і легше за вагою.

Схема під'єднання крокових двигунів до RAMPS 1.6 показана рис. 2.12. Двигуни, що управляють осями і, j та k, під'єднані до портів x, у та z відповідно.

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигун, що використовується як екструдер, під'єднаний до порту E0. Двигун, котрий керує обертання робочого столу навколо осі z, під'єднаний до E1.

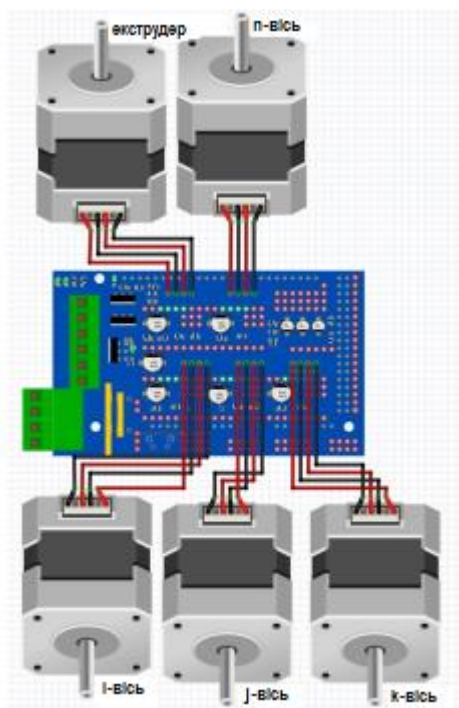


Рисунок 2.12 – Підключення крокових двигунів до RAMPS 1.6.

Серводвигун, в основному, складається з корпусу, друкованої плати, приводного двигуна, редуктора та елемента визначення положення. Принцип його полягає в тому, що приймач посилає сигнал серводвигуну, двигун запускається в дію мікросхеми на друкованій платі, обертання з валу двигуна передається на поворотний важіль через редуктор, і сигнал зворотного зв'язку формується детектором положення, щоб визначити, чи досяг він заданого положення.

Зараз існує кілька типів серводвигунів [17]. Для наших цілей цікаві наступні два: SG90 та MG995.

Серводвигун SG90 є найбільш поширеним серводвигуном, що використовується для керування кутом. Він характеризується малими обсягом та масою. Його характеристики наведені у табл. 2.7.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики SG90

Характеристика	Величина
Швидкість відпрацювання команди	0,12с / 60 градусів
Живлення	4,8 В
Робочі температури	від -30°C до 60°C
Крутний момент	1,8 кг/см
Відхилення кута	Відхилення кута руху ліворуч і праворуч: < 5 ° Відхилення центрування: <1°
Ширина зони нечутливості	7 мкс
Вага	9 г

У сервоприводі MG995 використовуються металеві шестерні, що володіють хорошим крутним моментом, до 13 кг/см, тому його часто використовують у з'єднаннях моделей літаків і роботів. Однак він має велику масу та великий об'єм. В табл. 2.8 наведені параметри цього серводвигуна.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики MG995

Характеристика	Величина
Швидкість відпрацювання команди	0.17с/60 градусів (при 4,8 В) 0.13с/60 градусів (при 6.0 В)
Живлення	4.8-7.2В
Крутний момент	13 кг/см
Робочі температури	від 0°C до 55°C
Відхилення кута	Відхилення кута руху ліворуч і праворуч: < 3 ° Відхилення центрування: 0°
Ширина зони нечутливості	1 мкс
Вага	55 г

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Порівнюючи параметри двох серводвигунів, ми бачимо, що серводвигун SG90 має меншу вагу, а серводвигун M0995 має більший крутний момент. Двигун SG90 вибрано для керування орієнтацією Z-зонда. Оскільки давач на зонді легкий, великий SG90 момент не потрібно. Друкувальна головка має певну вагу, тому для керування нахилом сопла щодо осі X був обраний двигун MG995 з великим крутним моментом.

Схема під'єднання серводвигунів до RAMPS 1.6 показана на рис. 2.13:

- один серводвигун управляє напрямком Z -зонда, один серводвигун управляє віссю обертання m;
- червоний провід - живлення (зовнішнє стабілізоване джерело живлення 4.8-7.2 В);
- чорний провід -до виводу GND;
- помаранчевий - сигнальний (підключаються до цифрового ШІМ виведення D4 та D11 контролера RAMPS 1.6).

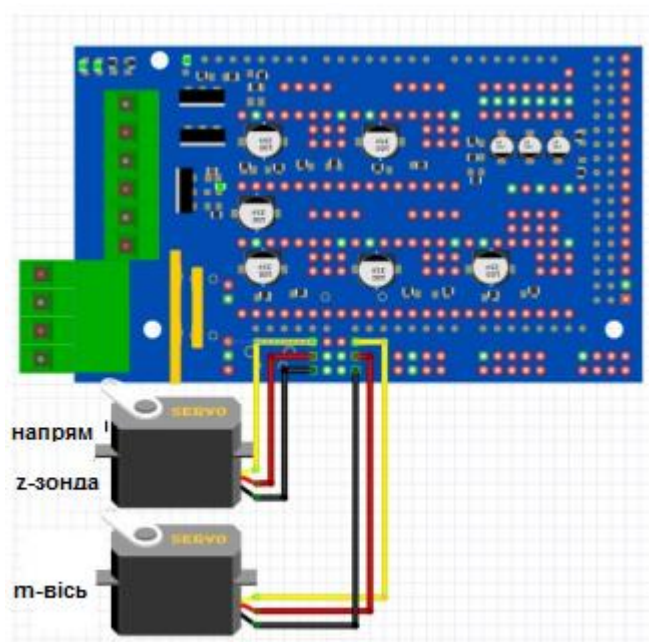


Рисунок 2.13 – З'єднання між серводвигунами та RAMPS 1.6

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Схема системи автокалібрування столу 3D- принтера

Структурна схема системи автокалібрування столу 5- ти координатного 3D-принтера показана на рис. 3.1, де А - Модуль автокалібрування, В - Головний модуль управління, С - Модуль управління рухом

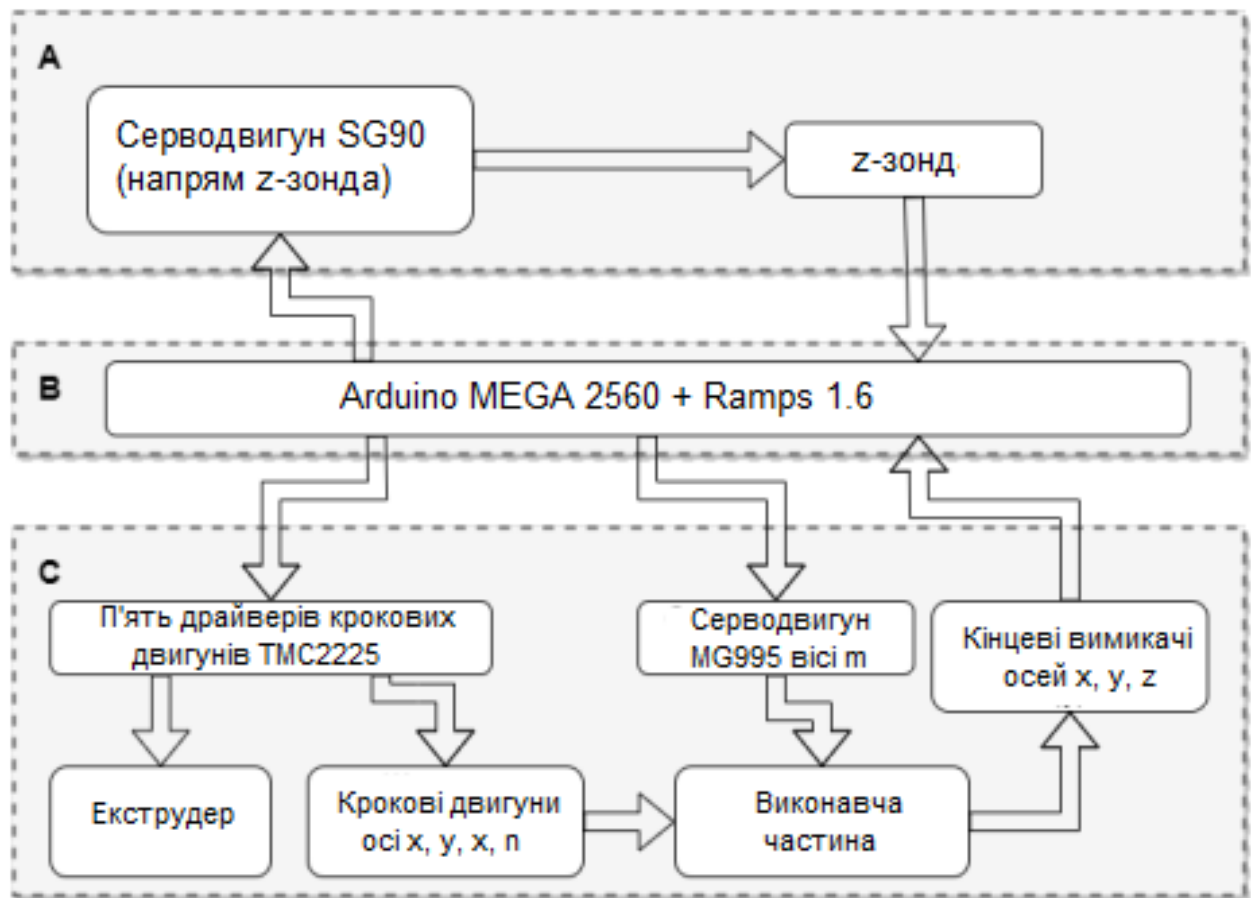


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи автокалібрування

На рис. 3.2 показана схема електрична принципова системи керування 5- ти координатним 3D-принтером із системою автокалібрування.

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Придюк В.П..				Літ.	Арк.	Аркушів		
Керівник.	Баран І.О.								
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Н. Контр.									
Затверд.	Осухівська Г.М								

П'ять крокових двигунів використано відповідно для керування екструдером на соплі, координатами осей і, j, k перпендикулярно робочому столу і кутом обертання робочого столу навколо осі Z.

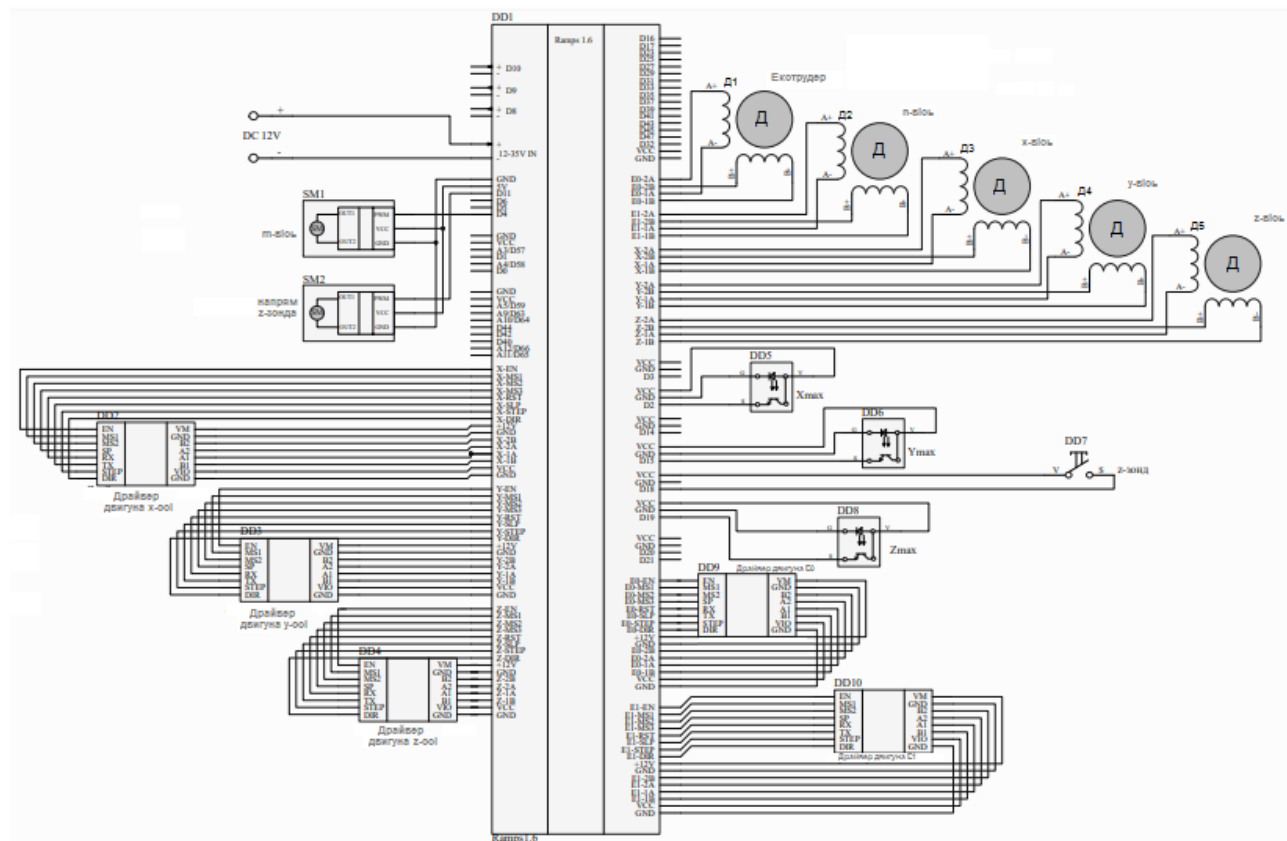


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова системи керування 3D-принтером із автокалібруванням

Один серводвигун управляє напрямком Z-зонда, ще один серводвигун управляє кутом  $\alpha$  нахилу сопла щодо осі X.

Зовнішній вигляд зібраної системи автокалібрування столу 3D-принтера показаний на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Зібрана система автокалібрування столу 3D -принтера

### 3.2 Програмування системи автокалібрування столу 3D-принтера у прошивці Marlin

Marlin включає функцію «Вирівнювання платформи», яка компенсує ці дефекти, вимірюючи відстань між робочим столом і соплом у трьох або більше точках, а потім регулює положення сопла протягом усього друку, щоб воно залишалося на постійній відстані від платформи [18].

Marlin дозволяє виконувати вимірювання столу, використовуючи тільки аркуш паперу, але для покращення досвіду найкращим варіантом є встановлення давача торкання столу (також званого Z -зондом).

На рис. 3.4 наведено програмний код для керування серводвигуном в ARDUINO IDE.

```

servo | Arduino 1.8.18
File Edit Sketch Tools Help
servo
#include <Servo.h>

Servo myservo;
int pos = 0;

void setup() {
  myservo.attach(9);
}

void loop() {
  for (pos = 0; pos <= 90; pos++) {
    // in steps of 1 degree
    myservo.write(pos);
    delay(10);
  }
}

Download
Sketch uses 3050 bytes (1%) of program storage.
Global variables use 163 bytes (1%) of dynamic
Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560, Mega 2560, or C2008

```

Рисунок 3.4 – Програмний код для управління серводвигуном

На рис. 3.5 показаний код для управління кроковим двигуном в ARDUINO IDE.

```

stepper | Arduino 1.8.18
File Edit Sketch Tools Help
stepper
const int dirPin = 2;
const int stepPin = 3;
const int stepsPerRevolution = 200;

void setup()
{
  // Declare pins as Outputs
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(dirPin, HIGH);

  for(int x = 0; x < stepsPerRevolution; x++)
  {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(1000);
  }
  delay(1000); // wait a second
}

Download
Sketch uses 1568 bytes (0%) of program storage.
Global variables use 9 bytes (0%) of dynamic
Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560, Mega 2560, or C2008

```

Рисунок 3.5 – Код для керування кроковим двигуном

На рис. 3.6 зображена блок-схема роботи 5-ти координатного 3D-принтера з автокалібруванням столу.

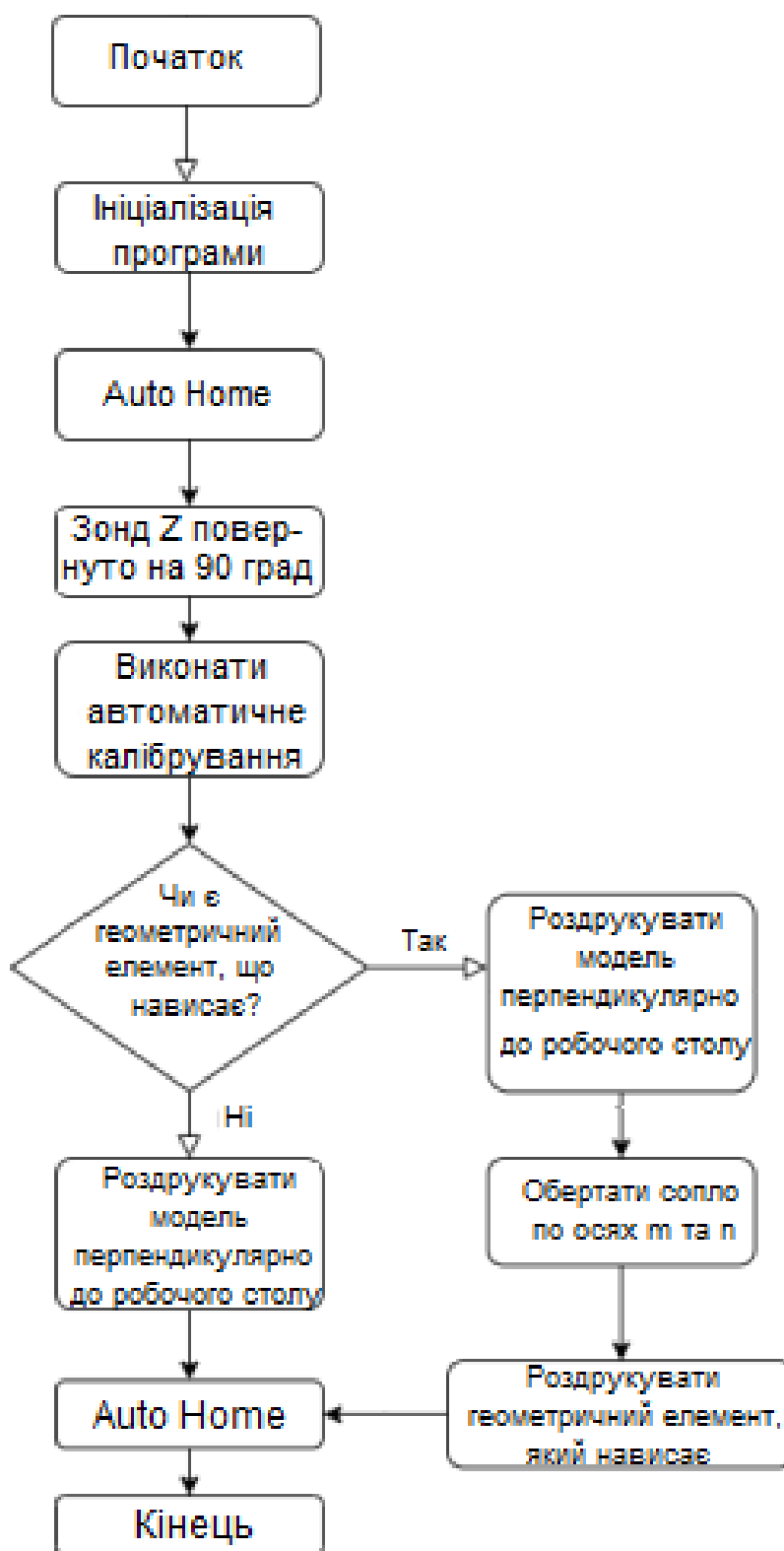


Рисунок 3.6 – Блок-схема роботи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.2.1 Налаштування Z -зонда у прошивці Marlin

Ця опція використовується у всіх випадках, коли зонд під'єднаний до торцевої заглушки Z MIN. Ця опція використовується для DELTA 3D-принтерів, які завжди є вихідними для MAX, і можуть використовуватися в інших налаштуваннях :

```
#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN.
```

Щоб вказати Servo Z Probe (наприклад, кінцевий вимикач, встановлений на важелі, що обертається), використовуємо індекс сервоприводу.

Команда M280 використовується, щоб визначити додатні Z SERVO ANGLES значення:

```
#define Z_PROBE_SERVO_NR 0 // Defaults to SERVO 0 connector.
```

```
#define Z_SERVO_ANGLES { 90, 0 } // Z Servo Deploy and Stow angles.
```

### 3.2.2 Налаштування параметрів автокалібрування столу у прошивці Marlin

Команди G33 і G33a дозволяють увімкнути систему автокалібрування Delta - принтера:

```
// uncomment to add G33 Delta Auto-Calibration (Enable  
EEPROM_SETTINGS to store results)
```

```
#define DELTA_AUTO_CALIBRATION
```

Кількість точок виявлення встановлена на 4\*4. Під час автокалібрування на робочому столі тестуються 16 точок.

```
// NOTE NB all values for DELTA_* values MUST be floating point, so always  
have a decimal point in them
```

```
#if ENABLED(DELTA_AUTO_CALIBRATION)
```

```
// set the default number of probe points : n*n (1 -> 7)
```

```
#define DELTA_CALIBRATION_DEFAULT_POINTS 4.0
```

```
#endif
```

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Конструкція головки екструдера з автокалібруванням

Вподальшому буде наведено чотири режими роботи головки екструдера.

Під час процесу автоматичного калібрування для друку звичайної моделі серводвигун SG90 керує поворотом Z-зонда на  $90^\circ$  за годинниковою стрілкою, так що напрямок Z-зонда перпендикулярний до робочому столу (рис. 3.7)

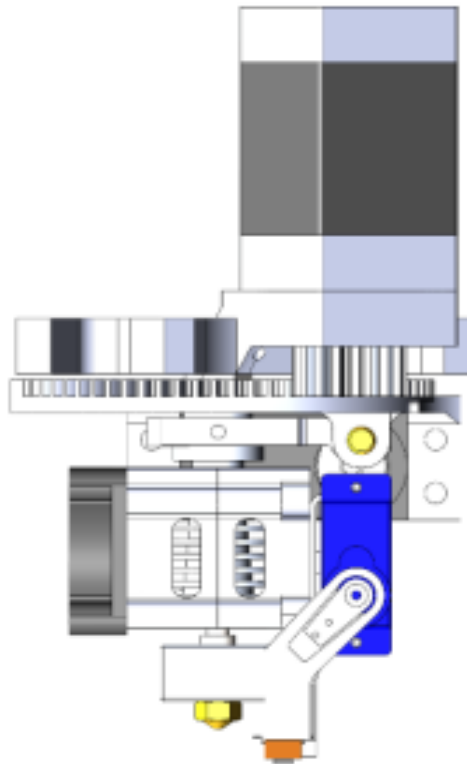


Рисунок 3.7 – Калібрування, нахил сопла  $0^\circ$ , щуп висунутий

Під час друку звичайних моделей серводвигун SG90 керує Z-зондом, повертаючи його на  $90^\circ$  проти годинникової стрілки для втягування зонда (рис. 3.8).

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



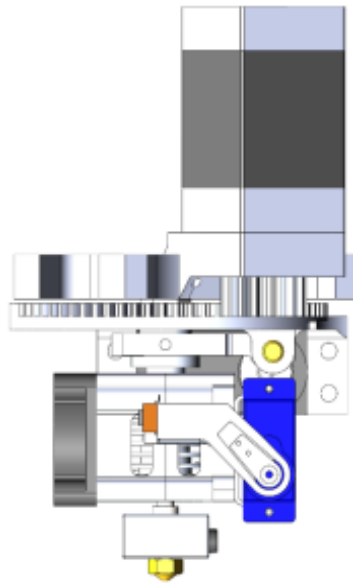


Рисунок 3.8 – Робоче положення під час друку, нахил сопла 0°

Під час процесу автоматичного калібрування для друку нависаючого геометричного елемента, кроковий двигун і серводвигун MG995 управляють обертанням екструдера в робочій площині, а серводвигун управляє поворотом Z-зонда на 90° за годинниковою стрілкою, так що напрямок Z-зонда перпендикулярний до робочої поверхні (рис.3.9).

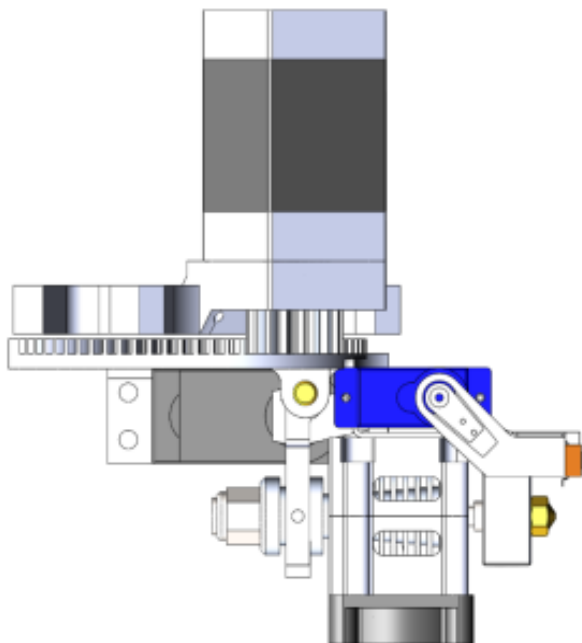


Рисунок 3.9 – Калібрування, нахил сопла 90 °, щуп висунутий

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Під час друку нависаючого геометричного елемента серводвигун SG90 керує поворотом Z-зонда на 90° проти годинникової стрілки для втягування давача, а кроковий двигун і серводвигун MG995 керують поворотом екструдера в робочу площину для друку моделі (рис. 3.10)

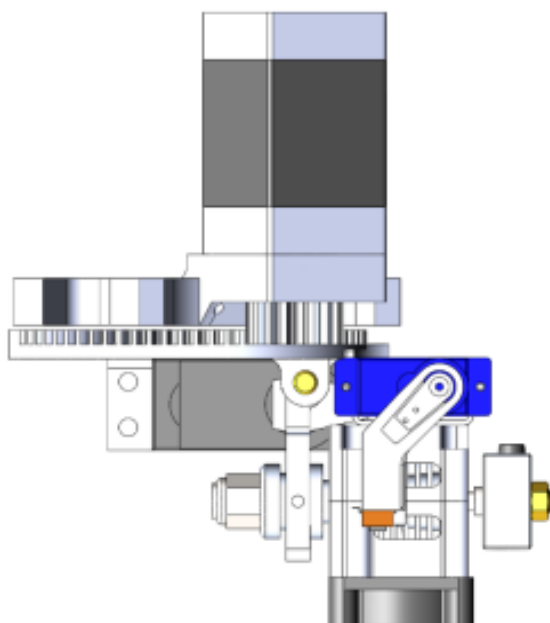


Рисунок 3.10 – Робоче положення, нахил сопла 90 °, щуп прибраний

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

Пожежа – це неконтрольований процес горіння, який спричиняє нищення матеріальних цінностей та загибель людей. Серед причин виникнення пожеж можна виділити природні явища (посуха, блискавка), порушення правил пожежної безпеки, недбалу поведінку людей з вогнем. Відомо, що лише 7-8% пожеж спричинені блискавками і близько 90 % виникає внаслідок діяльності людини [19].

Пожежна безпека організацій та підприємств, у яких використовуються електроустановки, забезпечується шляхом здійснення організаційно-технічних та інших заходів з попередження виникнення пожеж, зменшення можливих матеріальних збитків, забезпечення безпеки людей, зниження негативних екологічних наслідків, створення умов для успішного гасіння пожеж та швидкого виклику пожежних підрозділів, а також евакуації з території виникнення та ймовірного розповсюдження пожежі людей, матеріальних цінностей і документів.

Система для контролю пожежної безпеки передбачає використання блоків живлення для подачі напруги необхідного рівня. Таке електрообладнання при неналежному нагляді, наприклад, при короткому замиканні, може стати епіцентром спалаху.

При виникненні пожежі можна виділити два методи, які застосовуються для гасіння електроустановок:

- гасіння електроустановок відведених від напруги мережі;
- гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою.

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Придюк В.П.				<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Керівник.</i>		Баран І.О.					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М					

Електроустановки повинні бути під'єднані до заземлення з гнучкого мідного голого провідника з поперечним перерізом не менше 25 мм<sup>2</sup>, який підключається до заземлених конструкцій. Місця підключення до заземлених конструкцій, які визначаються фахівцями енергетичних об'єктів разом з представниками гарнізону пожежної охорони, вносяться до графічної частини плану пожежогасіння та позначаються знаком заземлення [19].

Для забезпечення безпеки пожежників та персоналу, який бере участь у гасінні пожежі електроустановок під напругою, застосовуються ізолюючі індивідуальні електрозахисні засоби (діелектричні килими, калоші, боти, рукавиці). Кількість індивідуальних ізолюючих захисних засобів та заземлень і місця їх зберігання затверджуються керівниками енергетичних об'єктів враховуючи подачу вогнегасних засобів на електроустановки, які перебувають під напругою. Випробування електрозахисного обладнання виконується енергетичним об'єктом в установленому порядку [20].

У разі виникнення пожежі на електроустановці особа, яка першою виявила факт загорання, повинна негайно повідомити відповідальних за пожежну безпеку осіб та керівника для уникнення подальшого загорання. Гасіння електрообладнання під напругою із застосуванням ручних стволів повинне виконуватися за умови [20]:

- застосування ефективних прийомів і способів подачі в зону горіння вогнегасних речовин;
- дотримання електробезпечних відстаней від електрообладнання, яке знаходиться під напругою, до пожежників, які використовують ручні пожежні стволи;
- забезпечення надійного заземлення пожежних автомобілів і стволів;
- використання індивідуальних ізолюючих електрозахисних засобів під час гасіння пожежі електроустановок без зняття напруги.

Як вогнегасні речовини під час гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою, доцільно застосовувати: розпилені порошкові суміші й інертні гази, струмені води, комбіновану суміш, яка являє собою розпилену воду з

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порошком. Застосування усіх видів піни під час гасіння електроустановок під напругою за участю людей ручними засобами забороняється, через те що піна й розчин піноутворювача мають підвищену електропровідність в порівнянні з розпиленою водою.

При гасінні пожежі на електроустановках під напругою потрібно застосовувати прийоми та засоби подачі в зону горіння вогнегасних речовин, що забезпечують ефективне гасіння пожежі і безпечну роботу пожежників.

Компактні струмені води доцільно використовувати лише під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою до 110 кВ, але лише в тих випадках, коли до осередку горіння не має можливості наблизитися для подачі розпиленої води. В цьому випадку пожежник повинен перебувати на безпечній відстані від найближчих струмоведучих частин електроустановок, до яких може торкнутися струмінь води [19].

Для гасіння пожеж електроустановок, що знаходяться під напругою, можна застосовувати воду з водопровідних мереж, а також із штучних і природних водойм. Забір води насосами пожежних автомобілів з водойм варто здійснювати зі спеціально обладнаних пірсів.

При гасінні пожежі на електроустановках, які перебувають під напругою до 220 кВ включно, тривалість перебування пожежників на бойових позиціях не лімітується. Заземлення ручних пожежних насосів і стволів пожежних автомобілів при гасінні пожеж на електроустановках, які знаходяться під напругою, повинно виконуватись за допомогою гнучких мідних провідників з поперечним перерізом не менше 12 мм<sup>2</sup>, оснащених спеціальними струбцинами для під'єднання до заземлених конструкцій: шурфів, обсадних труб артезіанських свердловин, металевих опор повітряних ліній електропередач, гідрантів водогінних мереж [18].

Місця під'єднання до заземлених конструкцій повинні затверджуватися спеціалістами енергетичного об'єкта, позначатися відповідними знаками заземлення і вноситись у графічну частину плану пожежогасіння. Ручні пожежні

					<i>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

насоси й стволи пожежних автомобілів необхідно заземлювати окремо. В процесі подачі води від внутрішнього водопроводу заземлюються лише стволи.

Індивідуальні електрозахисні ізолюючі засоби (діелектричні боти, рукавиці) потрібно застосовувати для електробезпечності пожежників та персоналу, який безпосередньо бере участь у гасінні пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою.

Автомобілі пожежних частин, що охороняють енергетичні об'єкти, повинні бути укомплектовані індивідуальними ізолюючими захисними засобами відповідно до чисельності бойової обслуги, яка безпосередньо бере участь у процесі гасіння пожежі [20]. Необхідна кількість індивідуальних ізолюючих захисних засобів на енергооб'єктах, у тому числі для пожежних підрозділів, що залучаються до гасіння пожеж з інших частин, затверджується під час розробки планів пожежогасіння.

При пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою, обслуговуючий персонал зобов'язаний у першу чергу повідомити про пожежу начальника зміни (диспетчера, чергового) й пожежну охорону, а потім вжити усіх необхідних заходів відповідно до плану пожежогасіння (картки пожежогасіння).

За необхідності гасіння пожежі повітряно-механічною піною, з об'ємним заповненням приміщення (тунелю) піною виконується попереднє закріплення піногенераторів, їх заземлення, а також заземлення насосів пожежних машин. Водій пожежної машини повинен працювати в діелектричному взутті і рукавицях.

Після прибуття до місця виклику першого пожежного підрозділу старший начальник (заступник начальника частини, начальник варти і т. ін.) повинен швидко зв'язатися з начальником зміни або посадовою особою, яка відповідає за виконання робіт, з метою уточнення ситуації на пожежі, одержання інструктажу та письмового допуску на виконання гасіння пожежі на електроустановках, що перебувають під напругою [20].

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після узгодження маршрутів руху до осередку горіння та розміщення бойових позицій, із яких пожежники виконуватимуть подачу вогнегасних речовин, керівник групи повинен провести інструктаж всього особового складу, який бере участь у гасінні пожежі, й віддати розпорядження на бойове розгортання.

З метою набуття вольових якостей, удосконалення тактичних навичок, підвищення фахової майстерності і забезпечення психологічної підготовки з врахуванням дотримання правил безпеки праці особовий склад пожежних підрозділів гарнізону зобов'язаний безпосередньо на енергетичному об'єкті не рідше одного разу на рік проходити спеціальний інструктаж.

#### 4.2 Працездатність людини – оператора

Під працездатністю людини розуміють можливість її виконувати роботу з необхідною якістю та в установлений час.

Працездатність людини залежить як від зовнішніх чинників, так і від внутрішнього стану (внутрішні чинники). До зовнішніх чинників належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаєностосунків в колективі, вплив чинників середовища існування. До внутрішніх чинників належать: рівень підготовки, тренуваність людини та її емоційна стійкість [21].

У процесі роботи людина переживає різні функціональні стани, які зумовлюють різні рівні її працездатності.

На рисунку 4.1 наведено зміни функціонального стану та якості роботи людини у процесі одного трудового циклу (зміни). Виділяють 4 фази працездатності: пристосування до праці, стійкої працездатності, субкомпенсації, втоми. Тривалість усіх фаз та усього циклу роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи [21].

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

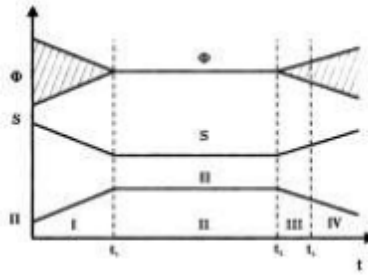


Рисунок 4.1 – Фази працездатності

Тут  $\Phi$  – показник функціонального стану; Б – помилки роботи; П – продуктивність праці.

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ, адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ( $t_1 - t_2$ ) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

На процес стійкої працездатності великий вплив справляють емоції. Негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність. Позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) значно продовжують період стійкої працездатності.

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Продовження періоду стійкої працездатності можна забезпечити [41]:

- оптимальним рівнем напруги психофізіологічних функцій;
- комфортними умовами праці;
- правильним поєднанням режимів праці та відпочинку;
- емоційним розвантаженням;
- використанням тонізуючих напоїв (кава, чай), фармакологічних засобів, зокрема препаратів рослинного походження (вітаміни, препарати, які впливають на енергетичні та метаболічні процеси);
- інформуванням людини про наслідки її діяльності, наглядом та контролем її роботи.

Практичний досвід свідчить, що вживання легких стимуляторів допомагає знизити сонливість, сприяє підвищенню працездатності на короткий період [20]. Однак активні стимулятори на відповідальних видах робіт здатні викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, знижується рухливість та швидкість реакцій. Поширене серед населення вживання транквілізаторів, викликаючи заспокоєння та запобігаючи розвитку неврозів, може знизити психічну активність, сповільнити реакції, спричинити апатію та сонливість.

Фаза субкомпенсації ( $t_2 - t_3$ ) розглядається як початок розвитку втоми. В цей період якість праці ще зберігається на високому рівні, але тільки за рахунок перенапруги відповідних функцій організму.

Фаза втоми (з моменту у характеризується чітко вираженим зниженням якості роботи при подальшому погіршенні функціонального стану людини. Об'єктивними показниками втоми є зміна частоти пульсу, дихання, зорової та слухової чутливості.

Наступною фазою життєдіяльності людини повинна бути фаза відновлення працездатності (відпочинку), яка може тривати від 3 до 5 хвилин; 60 — 90 хв. і навіть декілька діб.

Раціональний режим праці та відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на персональному комп'ютері і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, виду трудової

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

діяльності. Для попередження передчасної стомлюваності операторів ПК рекомендується організувати робочу зміну шляхом чергування робіт з використанням персонального комп'ютера і без нього [21].

При виникненні у працюючих з ПК зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних відчуттів, незважаючи на дотримання санітарногігієнічних і ергономічних вимог, рекомендується застосовувати індивідуальний підхід з обмеженням часу роботи з ПК.

У випадках, коли характер роботи вимагає постійної взаємодії з ВДТ (набір текстів або введення даних тощо) з напругою уваги та зосередженості, при виключенні можливості періодичного перемикання на інші види трудової діяльності, не пов'язані з ПК, рекомендується організація перерв на 10 -15 хвилин через кожні 45-60 хвилин роботи. Тривалість безперервної роботи з ВДТ без регламентованого перерви не повинна перевищувати однієї години.

Сумарний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з використанням ПК (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Сумарний час регламентованих перерв залежно від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з ПК

Категорія роботи з ПК	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I	50	80
II	70	110
III	90	140

Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку позотонічної (статичного) втоми доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ.

## ВИСНОВКИ

У ході виконаної роботи було описано види кінематики 3D-принтерів, досліджено способи керування просторовим положенням сопла, проаналізовано механізми передачі, здійснено підбір електронних елементів з погляду масогабаритних характеристик. Після вибору відповідних компонентів (плати мікроконтролера і надбудови для нього, драйверів крокових двигунів, кінцевих вимикачів, сервоприводів) виконано проектування принципової схеми пристрою.

На основі оригінального дельта-3D принтера додано дві додаткові осі для реалізації руху платформи, що несе друкуючу головку (екструдер) - нахил екструдера в положення, при якому вісь сопла виявляється перпендикулярна до «класичної» осі Z (тобто осі, за якою здійснюється додавання шарів до попередніх - вісь m) та поворот платформи навколо осі Z (вісь n). Така функціональна можливість дозволяє прибрати з процесу 3D-друку геометричні елементи, що нависають, так звані підтримки, що, у свою чергу, знижує витрату матеріалу і спрощує «постобробку».

У процесі проектування системи автокалібрування робочого столу 3D-принтера, було запропоновано варіант технічного рішення Z-зонда, внесено необхідні зміни до ПЗ (прошивки "MARLIN"), модернізоване ПЗ було завантажено в мікроконтролер та успішно використано для управління роботою механічної частини 3D-принтера.

Також була спроектовано екструдер з автоматичним калібруванням в САПР.

Найбільш оптимальна сфера реалізації розробки представлена у галузі побутового споживання та виробництва як в Україні, так і за кордоном.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 3D-принтер - будова і особливості друку URL: [http://ipkey.com.ua/uk/partners-6/1303-3d-printjer-ustrojstvo-i-osobjennosti-rjechati.html#google\\_vignette](http://ipkey.com.ua/uk/partners-6/1303-3d-printjer-ustrojstvo-i-osobjennosti-rjechati.html#google_vignette) (дата звертання: 26.04.2024).
2. Кінематика 3D-принтерів. Види та особливості. URL: <https://www.3dprinter.ua/kinematyka-3d-prynteriv-vydy-ta-osoblyvosti-robymo-svij-vybir/> (дата звертання: 26.04.2024).
3. Кінематика 3D-принтера: переваги і недоліки всіх варіантів. URL: <https://3dplast.biz/ua/a398991-kinematika-printera-preimuschestva.html> (дата звертання: 26.04.2024).
4. Що таке екструдер у 3D-друку: повний опис та принцип роботи. URL: <https://nebo.home.cx.ua/ukraincyam/shho-take-ekstruder-u-3d-druku-povniy-opis-ta-princip-roboti.html> (дата звертання: 28.04.2024).
5. The types of FDM printers are much more diverse than just CoreXY and Cartesian 3D printers. Read on to get to know them all. URL: <https://all3dp.com/2/cartesian-3d-printer-delta-scara-belt-corexy-polar/> (дата звертання: 02.05.2024).
6. Кінематика 3D принтерів. Види і особливості. Робимо свій вибір. URL: <https://3dprinter.ua/kinematika-3d-printerov-vidy-i-osobennosti-delaem-svoj-vybor/> (дата звертання 03.05.2024).
7. Основні види механічних передач. URL: <http://grani.in.ua/wp-content/uploads/2020/07/ОСНОВНІ-ВИДИ-МЕХАНІЧНИХ-ПЕРЕДАЧ.pdf> (дата звертання 03.05.2024).
8. Kinematic error modeling and error compensation of desktop 3D printer / Shane Keaveney, Pat Connolly Eoin, D.O'Searbhaill. Nanotechnology and Precision Engineering Volume 1, Issue 3, September 2018, Pp. 180-186
9. Калібрування 3D принтера. Як правильно відкалібрувати 3D-принтер? URL: <https://tucans.com.ua/kalibruvannya-3d-printera-yak-pravilno-vidkalibruvati-3d-printer> (дата звертання 07.05.2024).

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

10. Як відкалібрувати 3d-принтер. URL: <https://monofilament.com.ua/ua/blog-novini-3d-druku-ta-additivnih-tehnologij/-jak-vidkalibruvati-3d-printer> (дата звертання 07.05.2024).

11. Оновлення та налаштування 3D-принтера (Marlin). URL: <https://hobbytech.com.ua/обновление-и-настройка-3d-принтера-marlin/> (дата звертання 08.05.2024).

12. Arduino IDE, встановіть це середовище розробки для роботи з Arduino. URL: <https://ubunlog.com/uk/Середовище-розробки-arduino-ide-для-роботи-з-arduino/> (дата звертання 09.05.2024).

13. Mega2560 Плати Arduino. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560/> (дата звертання 11.05.2024).

14. Шилд-плата RAMPS 1.6. URL: <https://3dreams.com.ua/ua/product/шилд-плата-ramps-1-6/> (дата звертання 12.05.2024).

15. Крокові двигуни та їх властивості. URL: <https://cnc-market.in.ua/tehnicheskie-danye/krokovyi-dviguni> (дата звертання 11.05.2024).

16. Датчик автокалібрування рівня столу 3D Touch. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-3d-touch-bluetooth> (дата звертання 12.05.2024).

17. Серводвигуни. URL: <https://www.sew-eurodrive.ua/produkty/dvigateli/servodvigateli/servodvigateli-2.html> (дата звертання 12.05.2024).

18. Налаштування Linear Advance в Marlin. URL: <https://artline.ua/uk/blogs/nastroyka-linear-advance-v-marlin> (дата звертання 16.05.2024).

19. Желібо Є. П. Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Каравела, 2004. 328 с.

20. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 526 с.

21. Толлок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

22. Осухівська Г. М., Тиш Є. В., Луцик Н. С., Паламар А. М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт здобувачів першого

					<b>КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль, ТНТУ. 2022. 28 с.

23. Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart rhythm with increased informativeness. *Acta mechanica et automatic*. 2018. Vol. 12. P. 311-315.

24. Kharchenko A., Bodnarchuk I., Yatecsyn V. The Method for Comparative Evaluation of Software Architecture with Accounting of Trade-offs. *American Journal of Information Systems*. 2014. Vol. 2, No. 1. P. 20-25.

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

26. Лупенко С. А., Пасічник В. В., Тиш Є. В. Комп'ютерна логіка. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006». 2015. 354 с.

					КС КРБ 123.126.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		