

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Оптимізація впливу параметрів електричної частини 3D-принтера з

кінематикою Dual-X Carriage на точносні параметри деталей

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, гр. ІТМРТМ-19-1
Чікель Д.М.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніки

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійний

Освітня програма Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Олександров Ю.М.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехнік
Тип програми	освітньо-професійний
Освітня програма	Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Чікель Дмитро Маркович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація впливу параметрів електричної частини 3D-принтера з кінематикою Dual-X Carriage на точносні параметри деталей затверджена наказом по університету від 02.11.2012 р. № 1508 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____
3. Вихідні дані до роботи Габарити конструкції не більше 1000x1000x500 мм, маса не більше ніж 50 кг, кінематика Cartesian, кінематика екструдерів Dual X Carriage, в якості джерела живлення використовується 220 В, 50Гц. На вході блоку живлення 12 В постійного струму 30 Ампер напруги.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз технічного завдання _____

4.3 Створення електричної блок схеми 3D-принтера _____

4.4 Вибір компонентів 3D-принтера _____

4.5 Проведення експериментальних досліджень _____

4.5 Охорона праці _____

4.6 Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів,

комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 15 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	20.05.2020	виконав
2	Аналіз завдання	15.06.2020	виконав
3	Огляд літературі за темою роботи	07.08.2020	виконав
4	Створення електричної блок схеми	15.08.2020	виконав
5	Планування експерименту	10.09.2020	виконав
6	Проведення досліджень	06.10.2020	виконав
7	Оформлення атестаційної роботи	12.11.2020	виконав
8	Подання на підпис керівнику дипломного	20.11.2020	виконав
9	Подання роботи в ЕК	07.11.2020	виконав

Дата видачі завдання 20.05.2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Олександров Ю.М.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 80 с., 3 табл., 44 рис., 1 дод., 27 джерел.

3D-ПРИНТЕР, КІНЕМАТИКА DUAL-X CARRIAGE, ЕЛЕКТРИЧНІ КОМПОНЕНТИ, 3D-ДРУК, АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕКСТРУДЕР.

Об'єкт дослідження – технологія 3D-друку на принтері з кінематикою DualXCarriage.

Предмет дослідження – вплив електронних компонентів на якість 3D-друку.

Мета магістерської атестаційної роботи – оптимізація впливу параметрів електричної частини 3D-принтера.

Методи дослідження – метод пошуку середнього квадратичного відхилення, t-критерій Стьюдента.

У магістерській атестаційній роботі досліджується залежність напруги та джамперів крокових двигунів на якість 3D-друку.

Під параметрами якості виробу виступають:

- збереження зазначених геометричних розмірів деталей надрукованих на принтері;
- однорідність усіх надрукованих шарів;
- утворення підтікань на надрукованих деталях.

Для проведення даного дослідження були розглянуті основні види 3D-принтерів, проведений аналіз електричної частини 3D-принтера, розроблена електрична частина 3D-принтеру, проаналізовано літературу за темою роботи.

Після чого було проведено трьох факторний експеримент залежності напруги та джамперів крокових двигунів які впливають на якість 3D-друку.

На базі проведеного дослідження розраховано залежності усіх параметрів які впливають на якість друкованої моделі.

ABSTRACT

Explains the note to revenge: 80 pages, 3 tables., 44 fig., 1 addition., 27 sources by the list of references.

3D-PRINTER, DUAL-X CARRIAGE KINEMATICS, ELECTRICAL COMPONENTS, 3D-PRINTING, ADITIVE TECHNOLOGIES, EXTRUDER.

The object of research is the technology of 3D-printing on a printer with Dual-X Carriage kinematics.

The subject of research is the influence of electronic components on the quality of 3D-printing.

The purpose of the master's certification work is to optimize the influence of the parameters of the electrical part of the 3D-printer.

Research methods – the method of finding the standard deviation, Student's t-test.

The dependence of voltage and jumpers of stepper motors on the quality of 3D-printing is investigated in the master's attestation work.

Under the parameters of product quality are:

- preservation of the specified geometrical sizes of details printed on the printer;
- homogeneity of all printed layers;
- formation of leaks on printed parts.

To conduct this study, the main types of 3D-printers were considered, the electrical part of the 3D-printer was analyzed, the electrical part of the 3D-printer was developed, and the literature on the topic of the work was analyzed.

Then a three-factor experiment of voltage dependence and jumpers of stepper motors that affect the quality of 3D-printing was conducted.

On the basis of the conducted research the mathematical model of dependence of all influencing parameters is developed.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технічного завдання	11
1.1 Аналіз електричної частини 3D-принтера.....	11
1.2 Огляд аналогів	13
1.3 ПлатаRepRap BIQU Rumba	13
1.4 Плата BIGTREETECH SKR V1.1.....	16
1.5 Плата Ramps 1.6.....	17
1.6 Плата RuRAMPS4D v1.3	19
1.7 Аналіз технічного завдання	21
1.8 Висновки першого розділу.....	23
2 Вибір компонентів 3D-принтера	24
2.1 Вибір материнської плати	24
2.2 Вибір крокового двигуна	26
2.3 Вибір драйверів крокового двигуна	28
2.4. Вибір екструдера	31
2.5 Термобар'єр екструдера	32
2.6 Нагрівальний блок екструдера.....	33
2.7 Нагрівальний елемент для екструдера.....	34
2.8 Термістор.....	35
2.9 Кінцеві вимикачі	36
2.10 Механічні	36
2.11 Вимикачі кнопочві і з коліщатком	36
2.12 МікрОВИМІКАЧІ.....	37
2.13 Безконтактні кінцеві вимикачі	37
2.14 Геркони.....	38
2.15 Індуктивні вимикачі	38
2.16 Оптичні сенсори	39

2.17 Ємнісні вимикачі	40
2.18 Дисплей	41
2.19 Дисплей LCD 12864	41
2.20 Дисплей RepRap Ramps	42
2.21 Дисплей MKS TFT 32	42
2.22 Нагрівальна платформа	43
2.23 Висновки другого розділу	46
3 Оптимізація електричних параметрів 3D-принтера з кінематикою Dual-X Carriage з метою підвищення якості показників 3D-друку	47
3.1 Аналіз електричних параметрів які впливають на якість 3D-друку	47
3.2 Поділ і відділення шарів пластика	47
3.3 Зрушення шару пластика і якість 3D-друку	48
3.4 Перегрівання пластика	50
3.5 Припинилося видавлювання філаменту	51
3.6 Спотворення від вібрації	52
3.7 Зміна температури погіршує якість 3D-друку	53
3.8 Волоски або павутиння	54
3.9 Оптимізація електричних компонентів з метою підвищення показників якості 3D-друку	56
3.10 Висновки третього розділу	63
4 Охорона праці	64
4.1 Правові та нормативні основи охорони праці в Україні	64
4.2 Техніка безпеки	65
4.3 Техніка безпеки при виконанні паяльних робіт	70
4.4 Розрахунок штучного освітлення	71
4.5 Висновки четвертого розділу	73
Висновки	74
Перелік джерел посилання	76
Додадок А. Демонстраційний матеріал	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

3D – 3 Dimensions;

FDM – Fusedde position modeling;

RAMPS – RepRap Arduino Mega Pololu Shield;

HIPS – high-impact polystyrene;

PLA(ПЛА) – Полилактід;

PCB – printed circuit board;

SLA – Stereolithography;

USB – Universal serial bus.

ВСТУП

У сучасних технологіях все більше популярності набуває адитивні технології або так звані технології 3D-друку. Коли деталь створюється не видаленням частини матеріалу, а нанесенням нових шарів елементів на деталь. Одне з найпопулярніших технологій є технологія FFF / FDM пошаровим термічної екструзії. Популярність FDM методу викликана досить низькою вартістю принтерів і витратних матеріалів для друку.

Крім того на велику поширеність даної технології впливає доступність комплектуючих для зборки FDM принтерів. Дана технологія дозволяє отримувати деталі з різних термопластів з дуже високою точністю, так як діаметр сопел які використовуються в даній технології можуть доходити до 200 мікро метрів. Деталі, одержувані за FDM технології міцні, пружні, мають набір фізичних характеристик, що залежать від типу матеріалу.

Але така висока точність викликає необхідність забезпечення технологічних параметрів таких як: температура, точність переміщення, відсутність биття двигунів і т.д. На яку в свою чергу сильно впливає електричні компоненти 3D-принтера.

Для аналізу цих параметрів використаний розроблений 3D-принтер з кінематикою Dual-X Carriage, і провели аналіз датчиків, приводів, нагрівальних елементів і інших виконавчих пристроїв на точності параметри друку такі як: точність розмірів надрукованої деталі і т.д. Таким чином тема даної атестаційної роботи є актуальною.

Об'єкт дослідження – технологія 3D-друку на принтері з кінематикою Dual-X Carriage.

Предмет дослідження – вплив електронних компонентів на якість 3D-друку.

Мета магістерської атестаційної роботи – оптимізація впливу параметрів електричної частини 3D-принтера.

Методи дослідження – метод пошуку середнього квадратичного

відхилення, t-критерій Стьюдента.

Для досягнення поставленої мети та патенти вирішити такі завдання:

- проаналізувати електричні компоненти 3D-принтера;
- для аналізу параметрів використаний розроблений 3D-принтер з кінематикою Dual-X Carriage, на якому провели аналіз датчиків, приводів, нагрівальних елементів і інших виконавчих пристроїв на точності параметри друку такі як: точність розмірів надрукованої деталі і т.д.
- оформити пояснювальна записку згідно з рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008: 2015 [2].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

На якість 3D-друку впливає безліч електронних компонентів які складають сам 3D-принтер.

Крокові двигуни для переміщення по осях X Y Z, повинні мати достатню точність, для забезпечення високих значень точності позиціювання головок екструдера щодо нагрівального столу. Для цього необхідно вибрати як самі крокові двигуни так і їх драйвера для дрібнення мікро кроку.

Необхідно забезпечити високу надійність, швидкодію та точність обробки вхідного G-коду, необхідно вибрати надійну швидкодіючу материнську плату для обробки даних операцій.

Необхідно забезпечити високу точність нагріву як самого екструдера так і нагрівального столу, для цього необхідно забезпечити як надійні нагрівальні елементи, надійні термістори і забезпечити їх під регулювання.

Для забезпечення точності позиціювання екструдера не обходимо забезпечити високу надійність точність спрацьовування кінцевих вимикачів які забезпечують домашню позицію для екструдера по всіх трьох осях і так само необхідно забезпечити якісне між з'єднання всіх даних блоків з метою зменшення паразитних параметрів зменшенні ймовірності пошкоджень і т.д.

1.1 Аналіз електричної частини 3D-принтера

В атестаційній роботі магістранта було розроблено блок схему 3D-принтера Cartesian, схему зображено на рис.1.1.

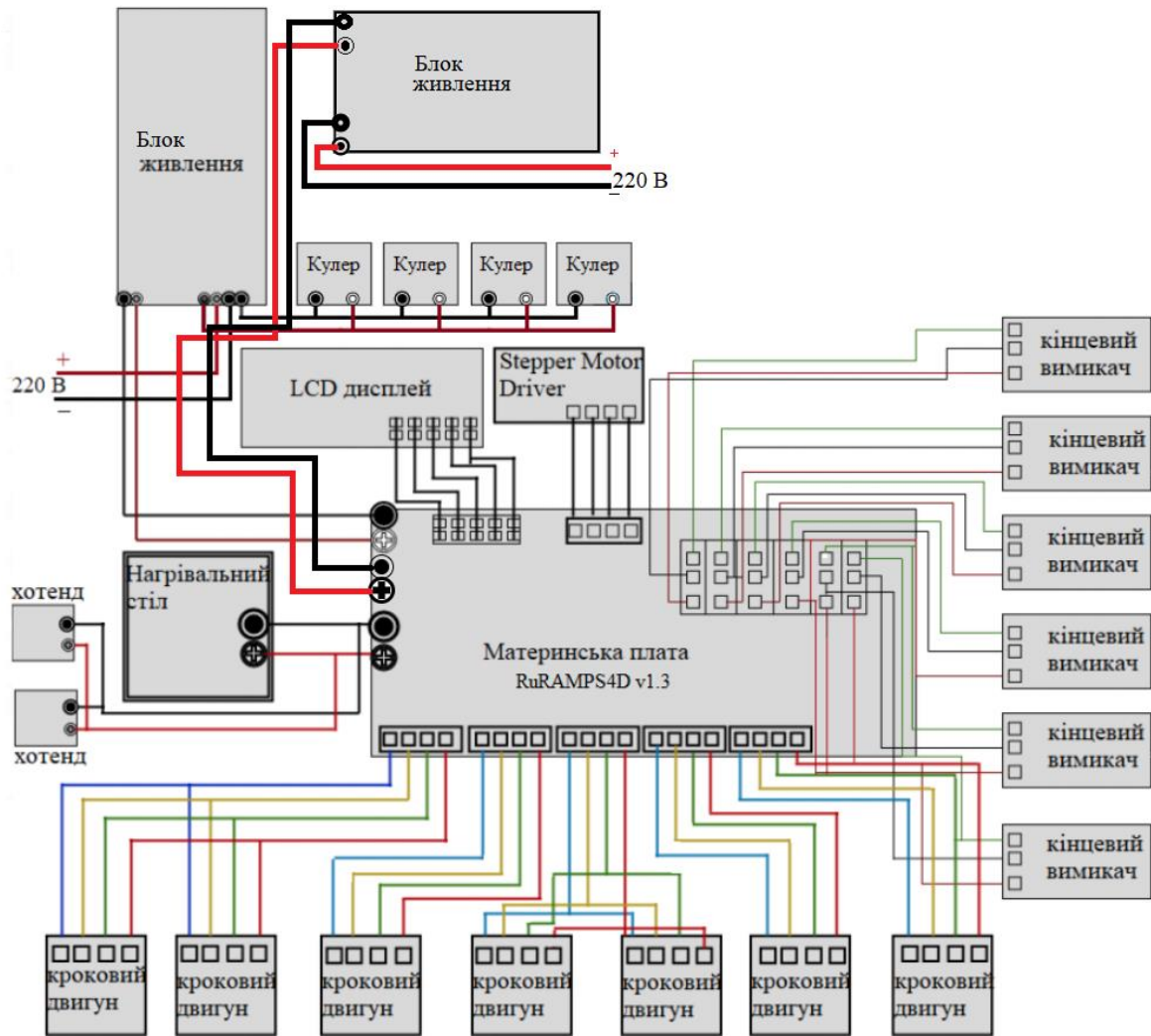


Рисунок 1.1 – Блок схема 3D-принтера з кінематикою Dual-X Carriage

Живлення блоку відбувається від мережі. Блок живлення перетворює змінні 220 В в постійні 12 В. Дисплей підключається за допомогою шлейфа. Stepper Motor Driver підключається за допомогою спеціального штекера розташованого на платі. У лівій стороні плати підключаються кінцеві вимикачі, на платі є позначення (X-, X +, Y-, Y+, Z-, Z+) відповідно до них підключаються кінцеві вимикачі. Так само варто звернути увагу на послідовність дротів найчастіше зелений провід йде першим. Крокові двигуни підключаються в роз'єми по периметру плати, вони так само підписані (X-, X +, Y-, Y+, Z- Z+) їхні терморегулятори виглядає так: першим йде синій провід (2A), після йде жовтий провід (2B), після йде зелений (1A) і в кінці йде червоний провід (1B).

Хотенд підключається до блоку живлення, до виходів 12 В, для отримання постійного струму. Кулери охолодження підключаються паралельно і працюють на пряму від блоку живлення.

1.2 Огляд аналогів

Основою для будь якого 3D-принтера є плата керування. В наш час різновидів плат керування, що використовуються в 3D-принтерах існує велика кількість. До найпоширеніших слід віднести.

1.3 Плата RepRap BIQU Rumba

3DP001V1 є автономною платою що може використовуватися з програмним інтерфейсом або за допомогою спеціальної прошивки. Завдяки вбудований мікроконтролеру STM32 на базі ARM 32bit Cortex M4. Так само плата оснащена вбудованим підключенням з Wi-Fi, що дозволяє здійснювати управління 3D-принтером через смартфон або планшет. На рис.1.1 зображена схема материнської плати STEVAL-3DP001V1. Плата RepRap BIQU Rumba, ATMEGA2560 використовується для створення на її основі верстатів з числовим програмним управлінням, 3D-принтерів, гравіювання або фрезерної машини і т.д. Розташування на платі компонентів і складових частин контролера зображено на рис.1.2.

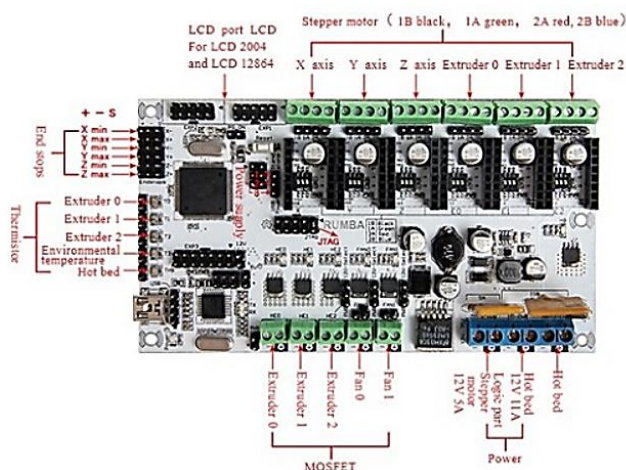


Рисунок 1.2 – Плата RepRap BIQU Rumba [4]

Плата Rumba підтримує драйвери двигунів: DRV8825 и A4988. На платі є місця для встановлення шести драйверів двигунів. Драйвери двигунів встановлюються під лаштування резисторами вниз.

Провід двигунів вставляються в відповідні клеми і затискаються гвинтами. Роз'єми для підключення крокових двигунів, позначені на платі піктограмами X, Y, Z, E0, E1, E2.

Для підключення кінцевих вимикачів на платі передбачений роз'єм, позначений піктограмою Endstops.

Передбачено підключення шести кінцевих датчиків – по два на кожен з осей X, Y, Z.

Для підключення кінцевих датчиків на платі передбачений роз'єм з десятьма штирьовими контактами, по два контакти на термістор, тобто п'ять термісторів.

Живлення має здійснюватися від зовнішнього джерела живлення з напругою від 12 В до 35 В постійного струму з максимальним струмом трохи менше 5 А.

На платі Rumba як конвертера USB встановлений чіп ATmega16U2.

На платі Rumba передбачені клеми для живлення трьох хотендів (Hot End). Ці клеми позначені на платі піктограмами HE0, HE1, HE2.

Rumba передбачені клеми для живлення. Ці клеми позначені на платі FAN0, FAN1.

Плата Rumba містить передбачені клеми для підключення Hot Bed (нагрівальної платформи) і живлення до платформи.

На платі є три окремі виходи живлення для підключення пристроїв. Ще є два роз'єми позначених EXP1 і EXP2. Вони призначені для підключення пристрою з назвою RepRap Discount Smart Controller. Також до цих роз'ємів можна підключити замість RepRap Discount Smart Controller свій дисплей типу 1602 або 12864, а також свій модуль для карт пам'яті.

Також є роз'єм, позначений EXP3 – це роз'єм з виведеними додатковими інтерфейсами. На роз'ємі передбачено інтерфейс I2C, ШІМ, аналогові входи,

цифрові входи / виходи загального призначення, виходи живлення з напругою від 5 В до 12 В.

Ще передбачені інтерфейси для всередині схемного програмування ISP і для налагодження JTAG. На платі є два роз'єми всередині схемного програмування ISP, вони позначені ISP1 і ISP2.

Характеристики:

- модель: Rumba; мікроконтролер: ATmega2560;
- USB – UART: ATmega16U2;
- напруга живлення: від 12 В до 35 В;
- максимальний струм: 5 А;
- напруга живлення логіки: 5 В;
- напруга живлення кольорів: 12 В або 24 В;
- напруга живлення хотендів: 12 В або 24 В;
- підтримка драйверів: DRV8825, A4988;
- розміри: 135 мм x 75 мм x 5 мм; вага: 118 г.

Особливості:

- використовуючи той же процесор для Arduino Mega, для Atmega2560 в якості основного чипа з високопродуктивним USB-чипом Atmega16U2 може бути сумісний з прошивкою, пов'язаної з Ramps;
- входи інтерфейсу 5 шт датчиків температури;
- з інтерфейсом розширення LCD можна підключити китайську версію розширення SD-версії LCD для досягнення автономного друку (підтримка 2004 і 12864);
- підтримка 6xA4988 16 розділів драйвера;
- вихід PWM (трубка нагріву, вентилятор і т.д.): шести контактний вихід (один великий струм, трьох ходовий струм, два малих струму) з використанням високопродуктивного низько-омного опору MOS, кожен вихід LED як індикатор;
- джерело живлення частина: вхідна потужність для від 12 В до 35 В, конструкція з двома джерелами живлення, ефективно уникають взаємовпливу,

частина гарячого шару підтримки 11 А, 12 В, інші частини схеми, 5 А, 12 В, щоб зменшити Mega. Плата контролера високого струму з високою температурою;

– ARM-клас Cortex-M3 серії LPC1768 основний кристал з 32 біт основна частота 100 м, Може бути значно покращено [4].

1.4 Плата BIGTREETECH SKR V1.1

Оснащений модулем з відкритим вихідним кодом Smoothieware, зручний для користувачів DIY і вторинного розвитку, рис.1.3.

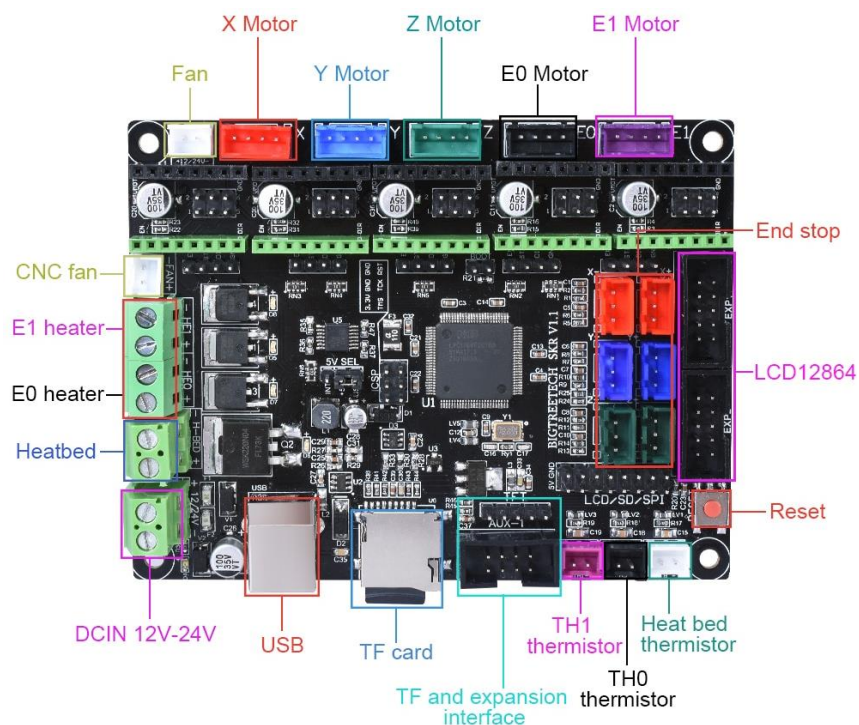


Рисунок 1.3 – Плата BIGTREETECH SKR V1.1[17]

Використання потужних інструментів розробки, інтегроване середовище розробки Keil MDK.

Проводка плати PCB спеціалізуються на оптимізації тепловиділення.

Допустимий вхід 24 В, струм гарячого столу може бути зменшений до 1/4 під тією ж потужністю, ефективно вирішуючи проблему нагріву трубки гарячого столу MOS.

Підтримка Display: 2,8 дюймовий, 3,5 дюймовий кольоровий сенсорний екран, LCD12864 екран.

Система підтримує різні мови англійською та іншими мовами, які можуть бути комутовані самостійно.

Оновлення прошивки за допомогою SD карти.

Високоєфективна трубка MOSFET для кращого розсіювання тепла.

Підтримка функції: безслідне відновлення після відключення живлення, відключення нитки напруження і автоматичне відключення.

Характеристики:

- розмір: 110 мм x 85 мм;
- матеріал: PCB;
- вхідна напруга: від 12 V до 24 V;
- струм: 5 A ~ 15 A;
- екран підтримки: TFT2.8, TFT3.5, 12864LCD;
- драйвер підтримки: A4988, DRV8825, TMC2100, TMC2208, TMC2130, LV8729;
- інтерфейс датчика температури: TH0, TH1, TB;
- підтримувані формати файлів термостійкості 100K NTC;
- структура машини підтримки G-коду: XYZ, Delta, Kossel, Ultimaker, Corexy;
- програмне забезпечення: Cura, Simplify3D, pronterface, Repetier host, Makerware [17].

1.5 Плата Ramps 1.6

Ramps 1.6 shield служить для можливості зручного підключення всіх необхідних компонентів 3D-принтера, управління кроковими двигунами за допомогою драйверів a4988 або DRV8825, використовується в багатьох кастомних 3D-принтерах, рис.1.4.

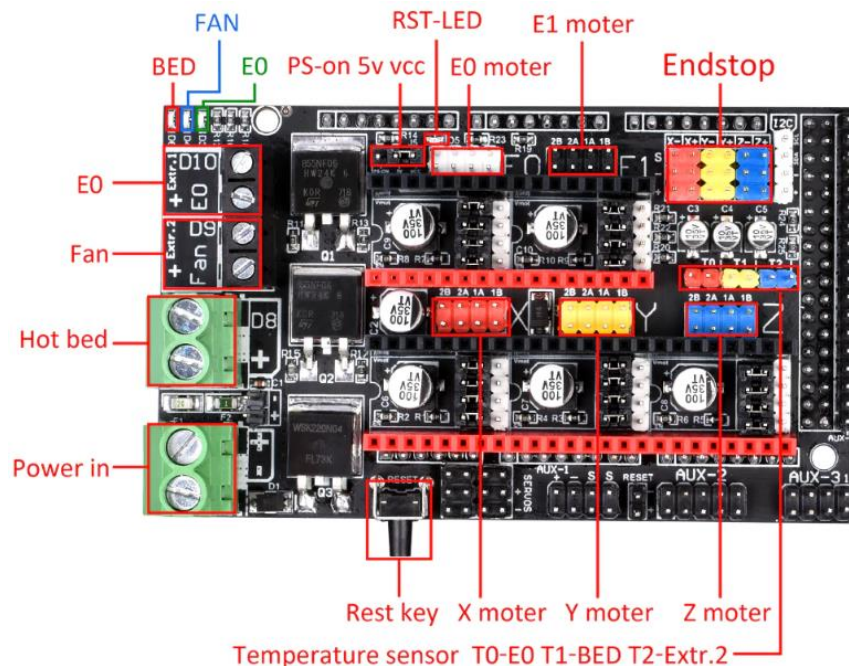


Рисунок 1.4 – Плата Ramps 1.4 [6]

Платформа RAMPS 1.6 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield) – одна з найпоширеніших плат для побудови 3D-принтерів [6].

Плата містить:

- роз'єми для підключення п'яти крокових двигунів;
- роз'єм для підключення нагрівається столу і екструдерів (блакитний);
- роз'єм живлення (зелений);
- роз'єми для Arduino MEGA (на зворотному боці плати);
- кнопка скидання.

Особливості:

- розміщення конденсаторів і резисторів в SMD варіанті дозволило розмістити більше пасивних компонентів;
- широкі можливості для додавання плат Arduino до тих пір, поки на платі RAMPS 1.4 не закінчиться вільні роз'єми (I2C і SPI) для модернізації;
- два само відновлювані запобіжники для захисту компонентів плати 5 А і для захисту друкованого столу 11 А (помаранчеві);
- можливість підключення SD Card (окремо або в складі LCD дисплея);

- NPN польові транзистори (mosfets) для універсальності підключені в PWM роз'єм і беруть участь в нагріванні друкованого столу і екструдерів;
- світлодіоди використовуються для індикації роботи екструдерів і процесу нагріву столу;
- здвоєний роз'єм для одночасного підключення двох двигунів на осі Z від одного драйвера;
- використовується на принтерах: Prusa; Prusa2; Huxley; Mendel і інших схожих за конструкцією принтерах, що використовують два крокових двигуна на осі Z.

Характеристики:

- найменування: RAMPS 1.6;
- підтримка: A4988 DRV8825 і інші драйвери двигунів;
- розмір: близько 101,5 мм x 60,5 мм;
- потужність: 270 Вт;
- напруга: 12 V.

1.6 Плата RuRAMPS4D v1.3

Ultratronics – це новітня розробка в області електроніки для 3D-принтерів.

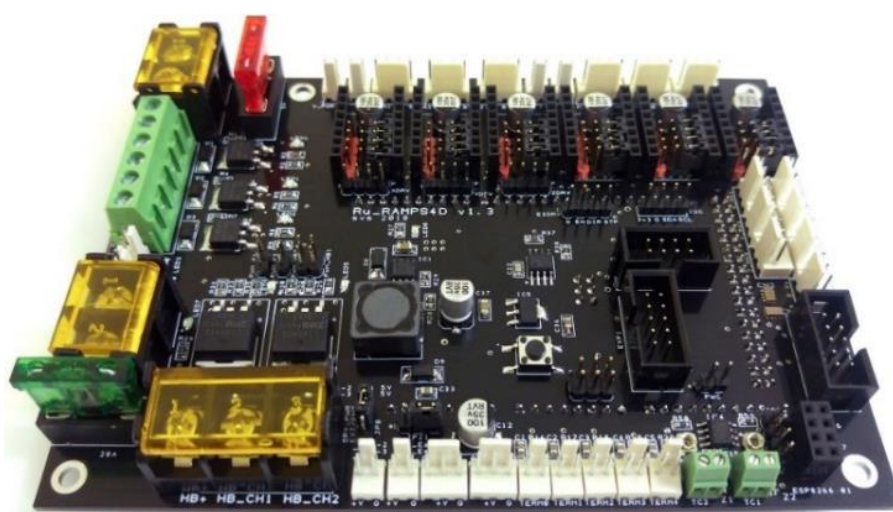


Рисунок 1.5 – Плата RuRAMPS4D v1.3 [7]

Плата має можливість підключення до плати термопар. Навіть можливість підключати чотири термістора в платі, рис.1.5.

До плати можна підключати як восьми бітову Arduino Mega 2560 так і 32 бітну Arduino Due.

Два незалежних канали нагріву столу, які можна використовувати на свій розсуд. Наприклад, один канал можна використовувати для нагріву столу, інший канал для нагріву камери закритого принтера. Так само виділяються потужні клемні колодки (як в блоках живлення) для підключення живлення до плати і потужних навантажень [7]. Можливо роздільне живлення столів і решти пристрою.

Ще є неймовірна кількість роз'ємів для підключення вентиляторів 2 керованих і 4 некерованих. Шість роз'ємів для підключення драйверів крокового двигуна X, Y, Z і трьох екструдера. Причому просунутими драйверами TMC2130 можна управляти і отримувати діагностичну інформацію з них в режимі SPI. Всі сигнали шини SPI підведені до драйверів на платі.

Так само є три пальовика на хотенди, два автомобільних запобіжника на входах живлення, роз'єм сигналу для автоматичного відключення AT блоку живлення по завершенні друку. До речі про живлення. Живити плату можна напругою від 12 В до 26 В.

На платі є вбудований імпульсний перетворювач на мікросхемі TPS5430.

Крім того є роз'єм для підключення Wi-Fi модуля ESP8266-01 для дистанційного керування принтером. Для підключення термопар використовується дві невеликі зелені клемні колодки.

Поруч з ними знаходиться точний і стабільний операційний підсилювач AD8552, який якраз застосовується для посилення сигналів подібних датчиків.

На цьому ж місці знаходяться термодатчик холодного кінця термопар і два підлаштування резистора. З їх допомогою підлаштовуються показники температури на термопарах. Розробник робить початкові установки сам при перевірці плат, але ніщо не заважає при необхідності відрегулювати їх вже під час експлуатації плати.

Основні характеристики:

- живлення від 12 В до 26 В постійної напруги;
- кількість встановлюваних драйверів форм-фактора Pololu – 6;
- сім загальних виходів для підключення навантаження через MOSFET;
- виходи для підключення хотендів – 3;
- малопотужні виходи для підключення керованих вентиляторів – 2;
- виходи для підключення Heated Bed або нагрівача камери (встановлені потужні IRL1404). При підключенні двох столів MK2b до одного каналу;
 - можна підключати великі столи, двозонний стіл від Cheap3D, або кілька одночасно;
 - входи для підключення термісторів – 5;
 - виходи для підключення сервоприводів – 2;
 - можливість підключення зовнішнього живлення 5 В для сервоприводів;
 - роз'єм для підключення Wi-Fi модуля ESP8266-01;
 - можливість підключення зовнішнього живлення 3.3 В для Wi-Fi модуля ESP 8266;
 - EEPROM (на Arduino Due її немає);
 - дисплеї серії RepRap Discount Controller підключаються без перехідника;
 - окремий роз'єм для підключення дисплеїв MKS TFT і Nextion;
 - опціонально встановлюються компоненти для підключення термопар у кількості 2 шт.

1.7 Аналіз технічного завдання

Технічне завдання частково будується на вихідних даних отриманих для виконання атестаційної роботи а частково базується на результатах отриманих в ході виконання інших розділів комплексної атестаційної роботи таких як:

- розробка механіки принтера;
- розробка програмного забезпечення.

Базуючись на тому що програмне забезпечення розробляється на базі герітер, материнська плата повинна забезпечувати можливість прошивки даного програмного забезпечення. Тобто вона повинна бути 8 бітна так само як в ході роботи механічної частини було прийнято рішення виготовлення 3D-принтера по кінематики Dual-X Carriage, де буде два незалежних екструдера необхідно забезпечити підключення семи крокових двигуна, два які вимкнені паралельно для переміщення по осі Z, двох валовій двигун для переміщення по осі Y, два двигуна для переміщення незалежних кареток по осі X, і два двигуни для подачі пластика.

Існує вимоги споживаної потужності 360 Вт, 3D-принтер повинен підключатися до мережі 220 В 50 Гц. Кліматичні умови УХЛ 4.2, рис.1.6.

Макроклиматический район (или районы)	Категория размещения	Рабочие температуры, °С		Предельные рабочие температуры, °С		Относительная влажность	
		отрицательная	положительная	min	max	среднегодовая	верхнее значение
У	1 и 2	-45	+40	-50	+45	75 % при +15 °С	100 % при +25 °С
	3	-45	+40	-50	+45	75 % при +15 °С	98 % при +25 °С
	5	-5	+35	-5	+35	90 % при +15 °С	100 % при +25 °С
ХЛ	1 и 2	-60	+40	-70	+45	75 % при +15 °С	100 % при +25 °С
	3	-60	+40	-70	+45	75 % при +15 °С	98 % при +25 °С
	5	-10	+35	-10	+35	90 % при +15 °С	100 % при +25 °С
УХЛ	1 и 2	-60	+40	-70	+45	75 % при +15 °С	100 % при +25 °С
	3	-60	+40	-70	+45	75 % при +15 °С	98 % при +25 °С
	4	+1	+35	+1	+40	60 % при +20 °С	80 % при +25 °С
Т	1 и 2	-10	+50	-10	+60	80 % при +27 °С	100 % при +35 °С
	3	-10	+50	-10	+60	75 % при +27 °С	98 % при +35 °С
	5	+1	+35	+1	+35	80 % при +27 °С	100 % при +35 °С
О	1 и 2	-60	+50	-70	+60	80 % при +27 °С	100 % при +35 °С
	4	+1	+45	+1	+55	75 % при +27 °С	98 % при +35 °С
	5	-10	+35	-10	+35	80 % при +27 °С	100 % при +35 °С
М	1 и 2	-40	+40	-40	+45	80 % при +22 °С	100 % при +25 °С
	4	-10	+40	-10	+40	75 % при +22 °С	98 % при +25 °С
В	1, 2 и 3	-60	+50	-70	+6	80 % при +27 °С	100 % при +35 °С
	4	-10	+45	-10	+55	75 % при +27 °С	98 % при +35 °С
	5	-40	+45	-40	+45	80 % при +27 °С	100 % при +35 °С

Рисунок 1.6 – Таблица рабочих температур

Залежно від обраного макрокліматичних району (або районів) за стандартом ДСТУ призначають діапазон температур повітряного середовища і відносну вологість при експлуатації.

Механічним діям принтер повинен відповідати групі 20, відповідно до ДСТУ 17516.1-90, стаціонарне обладнання з переміщенням без роботи під час переміщення. Вимоги технологічності конструкції, тобто має бути модульне

виготовлення електронної частини, з можливістю легкої заміни компонента який вийшов з ладу.

1.8 Висновки першого розділу

В результаті виконання першого розділу магістерської атестаційної роботи був виконаний аналіз технічного завдання згідно теми магістерської атестаційної роботи. Виконаний аналіз електричної частини 3D-принтера з кінематикою Dual-X Carriage. Розроблена електрична схема підключення усіх вузлів 3D-принтера з кінематикою Dual-X Carriage. Виконаний огляд аналогів материнських плат для 3D-принтерів. Виконаний огляд вимог що до технічного завдання а саме:

- вимоги що до споживаної потужності;
- плата керування повинна бути 32 бітною;
- механічним діям принтер повинен відповідати групі 20;
- модульне виконання електричної частини.

2 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ 3D-ПРИНТЕРА

2.1 Вибір материнської плати

Плата RuRAMPS4D v1.3 має безліч особливостей, таких як: можливість підключення до плати терморпарі. Навіть двох. К платі можна підключати як восьми бітну Arduino Mega 2560 так і 32 бітну Arduino Due. Плата RuRAMPS4D v1.3, зображена на рис.2.1.

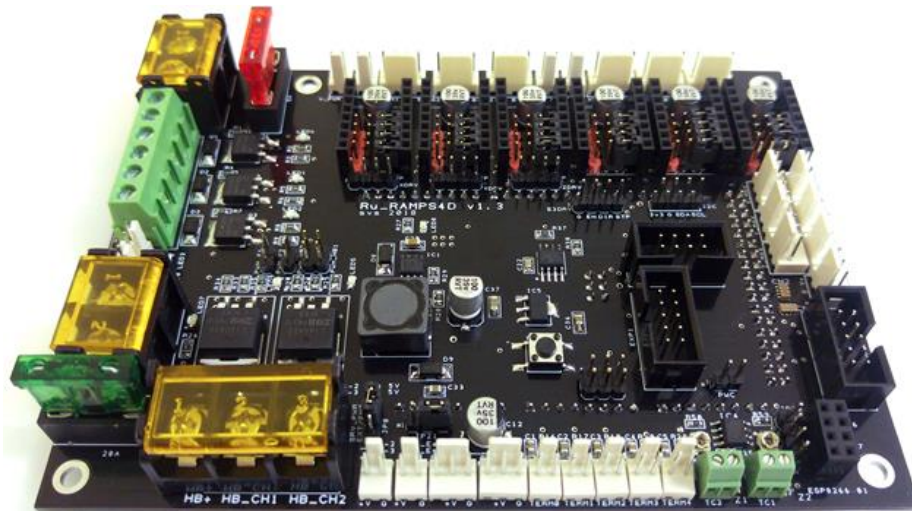


Рисунок 2.1 – Плата RuRAMPS4D v1.3 [7]

На платі присутні два незалежні канали нагріву столу, які можна використовувати на свій розсуд. Наприклад, один канал можна використовувати для нагріву столу, інший канал для нагріву камери закритого принтера. Так ж виділяються потужні клемні колодки (як в блоках живлення) для підключення живлення до плати і потужних навантажень. Так само можливість роздільного живлення столів і решти пристрою. Ще є неймовірна кількість роз'ємів для підключення вентиляторів, двох керованих і чотирьох некерованих.

Так само на платі стоять драйвера TMC2130 з їх допомогою можна управляти і отримувати діагностичну інформацію з них в режимі SPI. Всі сигнали шини SPI підведені до драйверів на платі. Живити плату можна напругою від 12 В до 26 В. На платі є вбудований імпульсний перетворювач на мікросхемі TPS5430:

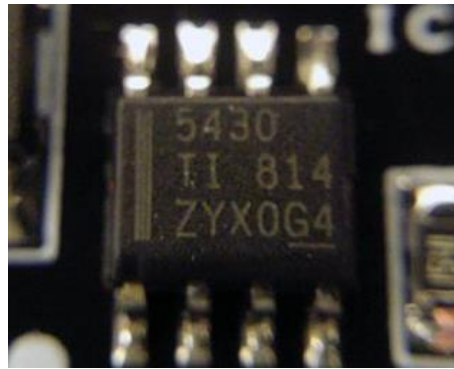


Рисунок 2.2 – Імпульсний перетворювач на мікросхемі TPS5430 [7]

Він видає 9 В, 3 А. Ці 9 В йдуть на Arduino – це полегшує режим роботи вбудованого в Arduino лінійного стабілізатора, і на живлення датчиків в роз'єм Zprobe. Крім цього 9В перетворюються на платі ще й в 5 В x 0.8 А для живлення дисплеїв і серво-приводів, яких може бути два. В цьому випадку перетворювач лінійний AMS1117 5.0.

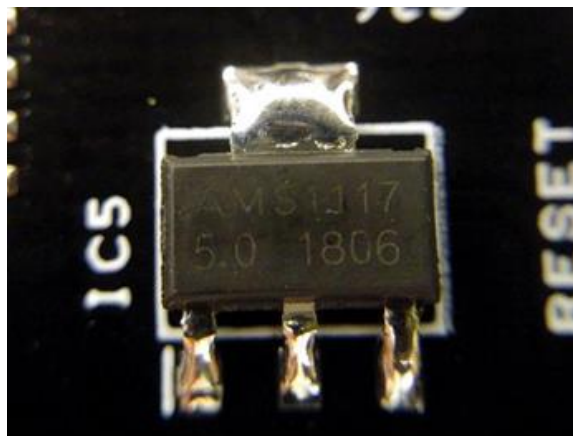


Рисунок 2.3 – Лінійний перетворювач AMS1117 5.0 [7]

Крім того є роз'єм для підключення Wi-Fi модуля ESP8266-01 для дистанційного керування принтером. Для підключення термопар використовується дві невеликі зелені клемні колодки. Поруч з ними знаходиться точний і стабільний операційний підсилювач AD8552, який якраз застосовується для посилення сигналів подібних датчиків [7].

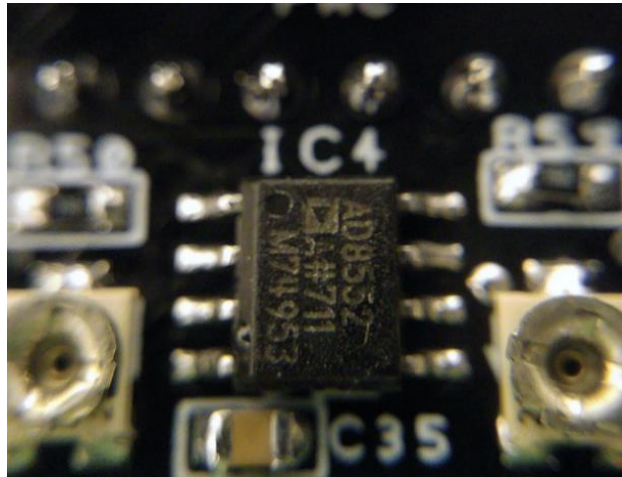


Рисунок 2.4 – Підсилювач AD8552 [7]

Там же знаходяться термо-датчик холодного кінця термопари і два підлаштування резистора. З їх допомогою підлаштовуються показники температури на термопарах. Розробник робить початкові установки сам при перевірці плат, але ніщо не заважає при необхідності відрегулювати їх вже під час експлуатації плати.

У термопар є кілька важливих переваг перед термісторами. Перш за все – це максимальні температури роботи. Це відкриває можливості друку високотемпературними пластиками.

Крім того термопари мають практично лінійну залежність напруги від температури, тому калібрувати їх простіше термісторів, і вони просто надійніше термісторів через відсутність напівпровідникового кристала і загальної простоти конструкції.

Підсумок: Плата містить багату кількість роз'ємів для підключається периферії. Деякі можливості є унікальними. Плата якісна, використана велика кількість мікросхем та контролерів. Розробник постійно модернізує свою плату, це дає можливість поліпшувати якість друку.

2.2 Вибір крокового двигуна

Кроковий електродвигун – це синхронний без щітковий електродвигун з декількома обмотками, в якому струм, що подається в одну з обмоток статора,

викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає дискретні кутові переміщення (кроки) ротора.

Найпоширенішими кроковими двигунами є лінійка двигунів Nema. Залежно від розміру перетину крокові двигуни класифікують на Nema 17, Nema 23, Nema 34 і т. Д. Величина перерізу визначається множенням цифри (17, 23, 34 і т. Д.) На 0,1 дюйма. Перетин вказується в мм (для Nema від 17 мм до 42 мм, для Nema від 23 мм до 57 мм, для Nema від 34 мм до 86 мм і т. Д.).

Іншою відмінністю є довжина двигуна. За цим параметром кроковий двигун Nema 23 найбільш застосовуємо в верстатах, це найоптимальніший варіант по потужності і вартості.

Крокові двигуни відрізняються і по потужності, основний показник, момент сили. Від нього залежить, в верстатах з якими габаритами буде застосовуватися двигун, рис.2.5 [10].

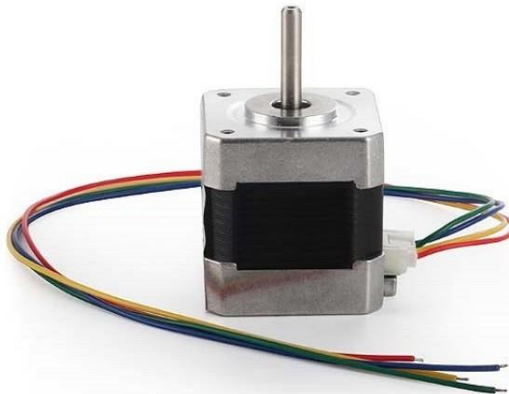


Рисунок 2.5 – Кроковий двигун Nema 17 [10]

Кроковий двигун Nema17 самий розповсюджений та бюджетний двигун який використовується в 3D-принтерах для позиціонування екструдера в трьох площинах. Для переміщення екструдера в площині X та подачі пластикового прутка використовується кроковий двигун форм-фактору Nema17 моделі 17HS4401, рис.2.5.

Можливість точного позиціонування позбавляє необхідності зворотного зв'язку та складних алгоритмів управління, це робить крокові двигуни дуже зручними для використання. Виходячи з усіх розглянутих крокових двигуна було прийнято рішення використовувати двигуни Nema 17 у кількості 7 шт.

2.3 Вибір драйверів крокового двигуна

TMC2130 V1.1 – драйвер крокової двигуна. Відрізняється широкими можливостями конфігурації і якістю. Драйвер призначений для безшумної і плавної роботи крокових двигунів завдяки інтерполяції мікро кроків, *microPlyer*. За допомогою цієї технології, якщо процесор просить TMC2130 зробити один мікро крок, то драйвер робить 16 інтерпольованих мікро кроків. Таким чином, драйвер може зробити до 256 мікро кроків (16 x 16) і основного мікроконтролеру немає необхідності в додатковому обчисленні всіх 256 мікро кроків, драйвер зробить це сам, рис.2.6 [11].

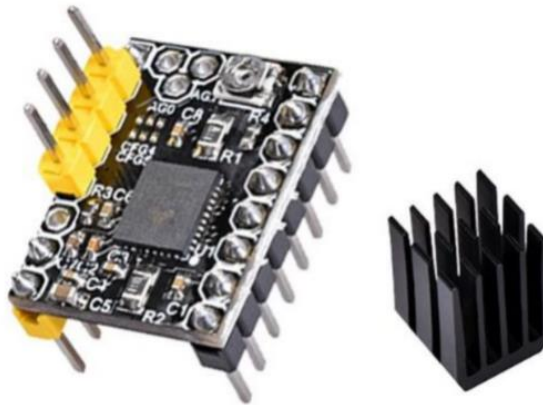


Рисунок 2.6 – Драйвер TMC2130 V1.1 [11]

Характеристики:

- конфігурація: CFG, SPI;
- мікро кроки: до 1/256;
- режим *microPlyer*: 1/256;
- напруга логічних входів: від 3 В до 5 В;
- напруга двигуна: від 5.5 В до 46 В;

- струм обмотки двигуна: 1.2 A RMS, пікове 2.5 A.

Драйвер крокових двигунів, що працюють на низькій напрузі (від 2.5 В до 10.8 В) побудований на чіпі DRV8834, витримує струм до 1.5 А на фазу без примусового охолодження (до 2 А в піках). Особливістю є налаштування ліміту по току, захист від надструмів і перегріву, дозвіл шістьох попередніх мікро кроку (від 1 до 32 кроків), рис.2.7 [12].

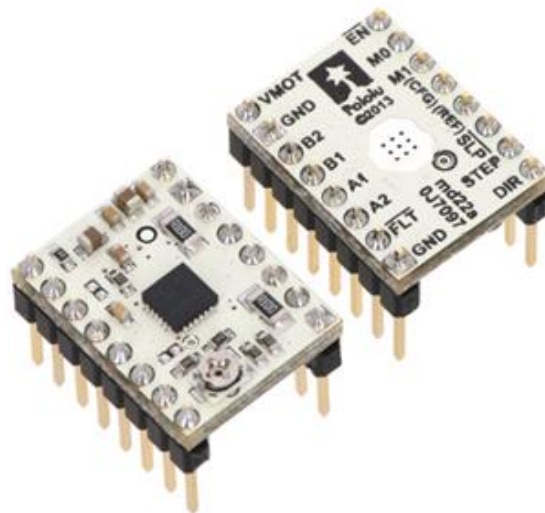


Рисунок 2.7 – Драйвер DRV8834 [12]

Характеристики:

- напруга логіки (VCC): від 2,5 В до 5,5 В;
- напруга моторів (VMOT): від 2,5 В до 10,8 В;
- вихідний струм: 1,5 А (2 А з додатковим радіатором).

Даний модуль StepStick A4988 дозволяє управляти біполярним кроковим двигуном з споживаним струмом до 2 А на обмотку. Він працює в діапазоні напруг живлення від 8 В до 35 В і та може забезпечити струм до 2 А на кожен фазу при належному охолодженні. Ця плата містить драйвер крокової двигуна Allegro A4988. Особливістю драйвера є: регульоване обмеження струму, захист від перевантаження і 5 різних дозволів мікро кроків (мікро крок 1/2, 1/4, 1/8, 1/16), рис.2.8 [18].

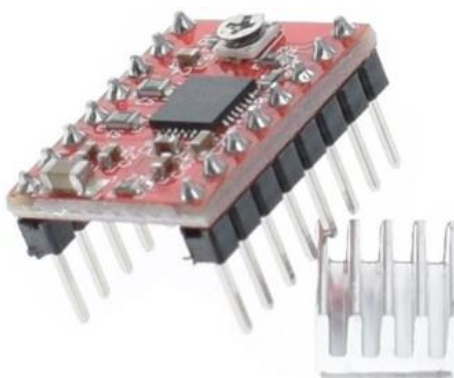


Рисунок 2.8 – Драйвер StepStick A4988 [18]

Характеристики:

- напруги живлення: від 8 В до 35 В;
- режим мікро кроків: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16;
- напруга логіки: від 3 В до 5.5 В;
- захист від перегріву;
- максимальний струм на фазу: 1 А без радіатора; 2 А з радіатором;
- розмір: 20 мм x 15 мм;
- без радіатора: 2 г.

В розробленому 3D-принтері використовуються шість драйверів DRV8825 які дозволяють управляти біполярним кроковими двигунами з вихідним струмом до 2 А на обмотку.

Під час роботи чіп драйвера може нагріватися до температури 70°C, тому необхідно встановити на кожен чіп радіатор для відведення тепла. На рис.2.9 зображено драйвер крокового двигуна A4988 з розміщеним на ньому радіаторі.

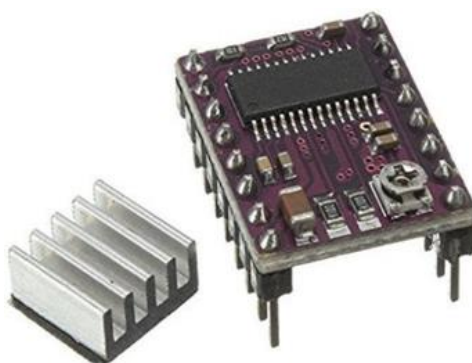


Рисунок 2.9 – Драйвер крокового двигуна DRV8825 [12]

Виходячи з усіх розглянутих драйверів кроків двигуна було прийнято рішення використовувати драйвера DRV8825 у кількості 6 шт.

2.4 Вибір екструдера

На даний момент існує необхідність виготовлення принтера який може одночасно друкувати деталі, одночасно двома типами матеріалів. Це необхідно для одночасного друку як конструкційних матеріалів. Тобто матеріали які з Корора складається сама деталь так і матеріалами Підтримка який може бути хімічно видалений з надрукованою деталі. До матеріалів підтримки відносять такі як: пластик PLA, пластик HIPS. На даний момент існує настільки підходів до створення такої печатки: mixer nozzle тобто змішують сопла таке як циклом або Diamond Nozzle тобто існує кілька входів «колтендів», механізмів подачі пластика і один хотенд тобто одне сопло яке нагрівається через яке продавлюється два пластика. У даного підходу є один загальний недолік, для друку такими пластиками необхідно друкувати так званими чорнові вежі друку спеціального технологічного елемента в якому видавлюють надлишки пластику при переході одного пластика до іншого.

Другим підходом є так звані switching nozzle або переключаються сопла які знаходяться на одній каретці екструдера але при друку відбувається їх підняття щодо рівня столу. Тобто кожен момент часу тільки одне сопло опущено для друку. У даній конструкції для переміщення сопел використовуються кілька підходів:

- використання серводвигуна;
- магнітів;
- соленоїдів.

Але у всіх цієї методів є ряд недоліків таких як.

Не обхідно постійної підтримки навантаженого стану непрацюючого сопла який штучно піднімається в гору.

Третій підхід так звані постійні сопла тобто обидва сопла знаходяться на одному рівні це самий просто і дешевий підхід але це може призводити до подтіканню пластика і так само механічним дефектів виникають за рахунок переміщення другого сопла на тому ж вертикальному рівні що і попереднє. тобто друга сопло не друкує зараз деформувати печативаемую деталь. І четвертий підхід це незалежно кореткою або Dual-X Carriage. Це один з найбільш успішних способів вирішення даного завдання так як існують дві коретки які не залежать одне від одного. В один проміжок часу і можливий друк або однієї кореткою або двома кореткою паралельно. Тобто, є можливість значного збільшення швидкості друку деталі. Так само можливо при невеликих габаритах деталі і серійному виробництві. Одночасно виготовлення декількох деталей на на одному робочому столі на одному принтері. Даний підхід є найбільш технологічним зручним, але досить важко реалізувати і в даній атестаційній роботі буде при прийнята спроба по виготовленню 3D-принтера з даної кінематикою.

2.5 Термобар'єр екструдера

Втулка термобар'єру для екструдера, застосовується між хотендом і подає частиною. Основна функція – транспортування прутка від подає частини в нагрівальний блок, при цьому спеціальний паз сприяє мінімальної передачі тепла між ними, щоб пластик не плавився до сопла. Тефлонова трубка всередині термобар'єрами зменшує тертя і знижує можливість недоекструзії [19].



Рисунок 2.10 – Втулка термобар'єру [19]

Характеристики:

- екструдер: E3D V6;
- діаметр різьби: M6 / M7;
- довжина: 22 мм;
- робоча температура: до 260 °С;
- сердечник: тефлон трубка.

2.6 Нагрівальний блок екструдера

Нагрівальним блоком під екструдер 3D-принтера є блок з алюмінію, довжина сторони у якого 2 см, а висота 1,15 см. Блок оснащений двома наскрізними отворами, діаметр яких 0,6 см: в одне встановлюють нагрівальний елемент, а в інший отвір різьбове вкручують сопло і трубку термобар'єру.

Також блок обладнаний отвором з діаметром 0,2 см, в яке встановлюють термо-резистор. Фіксація нагрівального елемента і кабелю термо-резистора відбувається за рахунок гвинтів М3, головки яких розраховані на шестигранник 0,2 см. Щоб дроти було зручніше розташовувати, виробник зрізав верхній кут блоку до середини отвору для установки нагрівального елемента. Збоку це отвір забезпечено наскрізний прорізом, що робить фіксацію більш щільною [20].



Рисунок 2.11 – Нагрівальний блок екструдера [20]

2.7 Нагрівальний елемент для екструдера

За допомогою нагрівального елемента нагрівається хотенд екструдера (тобто головки) 3D-принтера.

У нагрівального елемента діаметр становить 6 мм, а довжина 20 мм. Його використовують з хотендом, у якого діаметр отвору для нагрівального елемента типу M7.

Нагрівальний елемент знаходиться в герметичній капсулі з металу. За рахунок більш високої ефективності керамічного нагрівального елемента в порівнянні з резистором температурні коливання мають меншу амплітуду, 3D-друк виходить більш якісною [21].

Нагрівальний елемент може живитися від будь-якого джерела, напруга якого 12В.

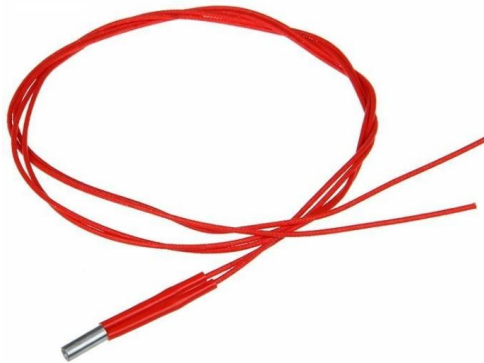


Рисунок 2.12 – Нагрівальний елемент [21]

Характеристики:

- показник напруги живлення: 12 В;
- показник потужності: 40 Вт;
- показник опору: 3,5 Ом;
- діаметр нагрівального елемента: 6 мм (тип M7);
- довжина елемента: 2 см;
- дроти завдовжки: 1 м.

2.8 Термістор

Термістор 100К Ом NTC 3950 для 3D-принтера – це резистор, опір якого змінюється від температури.

Він застосовується для визначення точної температури екструдера 3D-принтера, а також нагрівальної платформи, на якій відбувається друк моделі. У екструдері встановлюється в спеціальний отвір теплового блока. Поставляється разом з кабелем [22].



Рисунок 2.13 – Термістор 100К Ом NTC 3950 [22]

Характеристики

- опір термістора 100 кОм;
- температурний діапазон від -40 С до + 300 С;
- похибка вимірювань ± 1 %;
- довжина кабелю 1 м (± 5 мм).

2.9 Кінцеві вимикачі

Кінцевий вимикач – електричний пристрій, що застосовується в системах управління в якості датчика, що формує сигнал при виникненні певної події, як правило, механічному контакті пари рухомих механізмів.

Використовуються також і безконтактні кінцеві вимикачі, які складаються з інфрачервоного світлодіода і фоторезистора, розташованих один навпроти друга. Такі кінцеві вимикачі часто встановлюються в принтерах і сканерах.

2.10 Механічні

Такий тип кінцевиків популярний на виробництві, а також в побутовому застосуванні. Вимикачі бувають у вигляді кнопки, ролика, поплавкового, або важільного типу. Наочним прикладом застосування кінцевиків є домовик ліфта. У його конструкції є багато кінцевих вимикачів: у вигляді датчика найменшою і найбільшою висоти переміщення ліфта, подача сигналу на відкривання дверей, датчик обриву каната і багато інших.

2.11 Вимикачі кнопкові і з коліщатком

Така модель включає в себе корпус, який містить електричні контакти, які можуть бути як розмикаючими, так і замикаючими. За корпусом встановлена кнопка або ролик. Це залежить від способу функціонування.

Рухомий механізм стикається з коліщатком, яке штовхає стрижень вниз. В результаті контакти розмикаються, тим самим знеструмлюють електричну мережу, яка була до них підключена. Можна сказати, що кінцевий вимикач не дає далі рухатися механізму, або підключає будь який пристрій або сигналізацію [23].

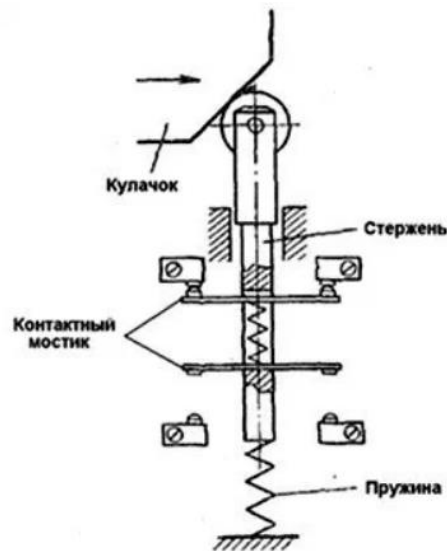


Рисунок 2.14 – Вимикачі кнопові і з коліщатком [23]

При монтажі кінцевих вимикачів необхідно дотримуватися особливої точності. В іншому випадку механізм може не дійти до ролика, або навпаки, зайде на ролик занадто сильно, що призведе до поломки механізму кінцевого вимикача.

2.12 Мікро вимикачі

Такі мініатюрні кінцеві вимикачі є своєрідним підвидом кінцевиків, які застосовуються в електроніці, побутових пристроях. Вони мають маленькі розміри. По суті справи, це такі ж кінцеві вимикачі, однак вони мають свої відмінні риси. При малих габаритах, хід робочої частини дуже незначний. Тому потрібно точна настройка при його монтажі. При неможливості настройки мікровимикача з малим ходом, використовують вимикачі з проміжною ланкою (роликом). Це дає можливість збільшити хід стержня і визначте необхідні установки кінцевого вимикача [23].

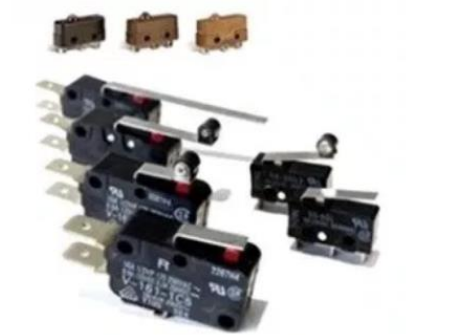


Рисунок 2.15 – Мікро вимикачі [23]

2.13 Безконтактні кінцеві вимикачі

Цей вид кінцевих вимикачів став популярним в промисловому виробництві. На основі ємнісних вимикачів виробляються різні датчики рівня в дозаторах (для перевірки рівня рідин, сипучих матеріалів і т.д.). При наповненні рідиною будь-якої ємності, кінцевий вимикач, розташований в ємності, в певний час зупинить її наповнення.

2.14 Геркони

Дія контактів усередині геркона відбувається при наближенні до нього магніту. Перевагою такої конструкції є відсутність механічного контакту. Це в значній мірі підвищує його термін служби. Під час монтажу таких кінцевих вимикачів особливу увагу необхідно звернути на наявність магніту, так як на інший матеріал цей пристрій реагувати не буде.



Рисунок 2.16 – Геркони [23]

2.15 Індуктивні вимикачі

Такі кінцеві вимикачі також не є окремим пристроєм, а виступають у вигляді блоку декількох пар контактів в одному корпусі. Вони монтуються різними способами: клеєм, болтами, гайками. Їх розміри коливаються в широких межах. На такі кінцеві вимикачі необхідно подавати напругу. Вони використовуються у вигляді обмежувачів руху різних агрегатів і механізмів.



Рисунок 2.17 – Індуктивні вимикачі [23]

2.16 Оптичні сенсори

Безконтактні кінцеві вимикачі забезпечуються оптичними сенсорними датчиками. Тому такі пристрої широко застосовуються в областях, де потрібна особлива точність. Оптичні вимикачі застосовуються для регулювання ходу рухомих частин, в автоматичних системах відкривання воріт. Вони спрацьовують в кінці ходу руху стулок воріт, або при появі сторонніх предметів перед рухається стулкою.



Рисунок 2.18 – Оптичні сенсори [23]

Оптичні кінцевики працюють за декількома принципами, поділяються на типи. Відображають датчики випромінюють і приймають світло, відбите від предмета, розташований в зоні датчика. При уловлюванні енергії світла, на виході з'являється певний логічний рівень. Дистанція від об'єкта до датчика залежить від габаритів предмета, якості поверхні, кольору і т.д.

2.17 Ємнісні вимикачі

Такий вид вимикачів застосовується в якості кінцевих вимикачів. Ємнісні датчики виявляють проводять струм і непровідні матеріали, які знаходяться в рідкому, порошкоподібному або твердому стані. Датчик спрацьовує при розташуванні матеріалу одна біля одної на налаштованому відстані [23].

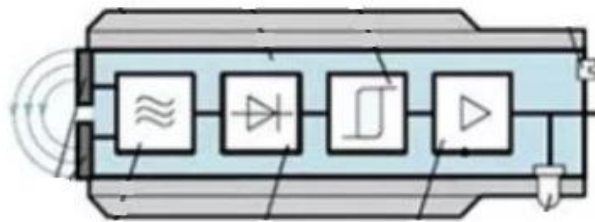


Рисунок 2.19 – Ємнісні вимикачі [23]

Принцип дії ємнісних кінцевих вимикачів полягає в наступному. Активна поверхня вимикача складається з 2 рухомий механізм стикається з коліщатком, яке штовхає стрижень вниз. В результаті контакти розмикаються, тим самим знеструмлюють електричну мережу, яка була до них підключена. Можна сказати, що кінцевий вимикач не дає далі рухатися механізму, або підключає будь який пристрій або сигналізацію.

Їх можна вважати пластинами конденсатора. Електроди знаходяться в колі зворотного зв'язку ВЧ генератора, який налаштований так, що коли об'єкта немає біля активної поверхні, він не працює. При появі біля активної поверхні об'єкта, виникає електричне поле, тим самим, змінюючи ємність зворотного зв'язку. При

цьому генератор виробляє коливання. Їх амплітуда стає більше, коли об'єкт наближається до поверхні.

Для того щоб встановити початкову точку відліку для руху крокового двигуна використовуються механічні кінцеві вимикачі. Ціна на механічні кінцеві вимикачі значно нижче ніж на оптичні, тому перевага була надано їм. Механічний кінцевий вимикач зображено на рис.2.20.

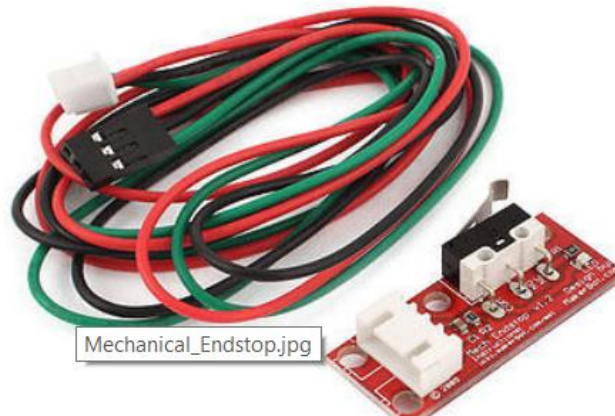


Рисунок 2.20 – Механічний кінцевий вимикач [23]

Виходячи з усіх розглянутих кінцевих вимикачів було прийнято рішення використовувати механічні кінцеві вимикачі у кількості 6 шт.

2.18 Види дисплеїв

3D-принтери використовують РК-панель для управління. Плата дисплея містить SD картрідер і енкодер для управління 3D-принтером. До найпоширеніших слід віднести:

2.19 Дисплей LCD 12864

Дисплей має 128 точок по горизонталі і 64 точки по вертикалі.

На платі є змінний резистор, яким здійснюється регулювання контрастності дисплея [14].



Рисунок 2.21 – Дисплей LCD 12864 [14]

Характеристики:

- панелі управління LCD 12864:
- рідкокристалічний;
- роздільна здатність дисплея: 128 на 64 точок;
- розміри екрану: 72 мм x 40 мм;
- регулятор контрастності;
- 20-контактний інтерфейс підключення;
- напруга живлення: від 3 В до 5 В;
- габарити модуля: 93,0 мм x 70,0 мм x 7,5 мм;
- вага: 74 м.

2.20 Дисплей RepRap Ramps

LCD 12864 модуль для Arduino має один інтерфейс для підключення дисплея до контролерів.

РК-дисплей 4 на 20 символів сумісний з RepRap Ramps являє собою інтелектуальну плату контролера, що дозволяє вибирати файл для друку і виконувати калібрування, не вимагаючи комп'ютерів.



Рисунок 2.22 – Дисплей RepRap Ramps [24]

Є 4 на 20 символний РК-екран, потенціометр для перемикання меню (він також використовується в якості кнопки), кнопка для зупинки, зумер для попередження, триммер для регулювання контрастності РК-дисплея екран і роз'єм SD-карти на платі [24].

2.21 Дисплей MKS TFT 32

MKS TFT 32 – це сучасний дисплей для різних модифікацій настільних 3D-принтерів. Ідеально сумісний з материнськими платами лінійки MKS, а також може працювати з іншими варіантами електроніки (крім Ramps 1.4). Одним з переваг дисплея MKS TFT 32 є робота на базі власного процесора. Його завдання полягає в обробці команд від зовнішніх модулів і передача їх на материнську плату в адаптованому вигляді [15].



Рисунок 2.23 – Дисплей MKS TFT 32 [15]

Переваги:

- підтримує 3D-друк з U-диска і SD-карти;
- просте оновлення програмного забезпечення;
- підтримує роботу по бездротовій мережі через MKS Wi-Fi модуль;
- працює з різним програмним забезпеченням (Marlin, Smoothieware, Repetier);
- підтримує функції контролю напруги і продовження друку, а також функцію контролю подачі 3D пластика;
- можливість установки для користувача функцій і калібрування інтерфейсу.

Виходячи з усіх розглянутих дисплеїв було прийнято рішення використовувати дисплей MKS TFT 32. Він ідеально сумісний з вибраною материнською платою [15].

2.22 Нагрівальна платформа

Необхідний елемент для 3D-друку виробів типами пластика, які вимагають підігріву столу. Для регулювання платформи використовуються спеціальні пружини. Шар алюмінію завтовшки в 3 мм сприяє рівномірному нагріванню платформи по всій її площі.

У більшості нагрівальних столів ширина доріжок приблизно 5 мм. Беремо пластину одностороннього текстоліту і випилюємо прямокутник за розміром робочого столу принтера.

На даний момент існують декілька типів нагрівальних столів, перший з них базується на основі друкованої плати виготовленої на склотекстоліті мідними або алюмінієвими провідниками при пропущенні через них йде струм нагріваючи саму плату.



Рисунок 2.24 – Нагрівальний стіл з склотекстоліту

У даного типу столу є як переваги: це низька собівартість, можливість самостійного виготовлення при цьому можна виготовити провідники різної товщини під різною напругою і т.д. Але і є недоліки: плата склотекстоліту залишається досить гнучкою, і в процесі друку може деформуватися, тобто необхідно додати якийсь жорсткий елемент, що не дозволить згинатися друкованій платі. Найбільш часто в якості нього використовують різні види скла, але використання такого скла збільшує час нагрівання робочого столу що збільшує теплоємність.

Наступний підхід – це виготовлення столів на базі конструкційних алюмінієвих елементів куточки профілю і т.д. Для нагріву яких використовуються або ніхромовий нитка, або потужні резистори.

Тобто дані елементи розміщуються всередині профілів при пропущенні через струм відбувається нагрів. Дана конструкція має термічними властивостями. Але є і ряд недоліків.

Велика ймовірність виходу з ладу окремих елементів резисторів або перегорання ніхромової нитки, а для електричних і термічної ізоляції їх необхідно ізолювати від конструкційних профілів. У той же час дана конструкція має високу вартістю і вагою.

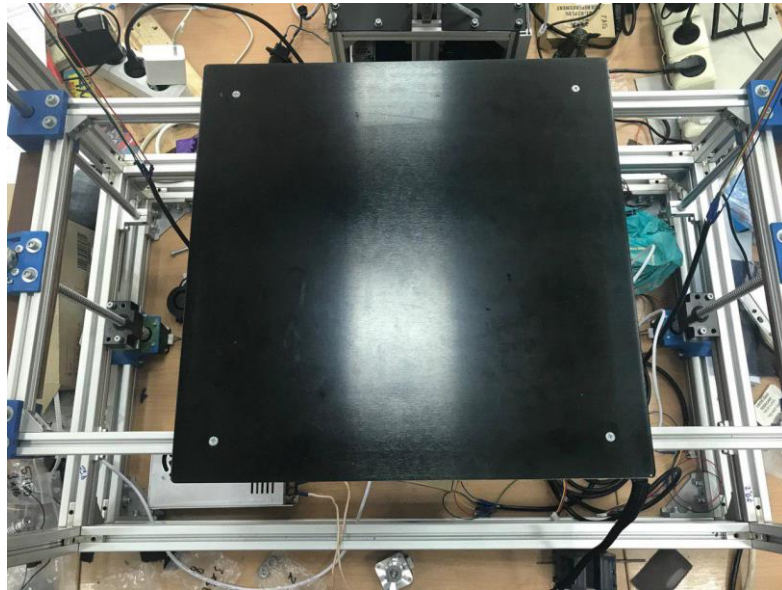


Рисунок 2.25 – Нагрівальний стіл на алюмінієвих елементах

І третій підхід так звані (композитні столи) які складаються з алюмінієвою пластини діелектричній основі і провідників, які знаходяться на діелектричній підставі. Чи не посередньо то що було використано в даній роботі. Дані конструктиви помножу досить жорсткими завдяки алюмінієвої складової конструкції і в той же час мають високу швидкість нагріву і надійністю.

2.23 Висновки другого розділу

В результаті виконання другого розділу магістерської атестаційної роботи була обрана плата керування 3D-принтера з кінематикою Dual-X Carriage. Плата RuRAMPS4D v1.3 повністю відповідає технічному завданню. Виконаний вибір інших електричних компонентів 3D-принтера, а саме: крокових двигунів, драйверів крокових двигунів, розглянуті види кінцевих вимикачів та вибраний найбільш відповідній кінцевий вимикач згідно з технічного завдання. Вибрана нагрівальна платформа, тож був вибраний екструдер, термістор, нагрівальний елемент, нагрівальний блок екструдера.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ 3D ПРИНТЕРА З КІНЕМАТИКОЮ DUAL-X CARRIAGE З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОКАЗНИКІВ 3D ДРУКУ

Адитивні технології полягають в поетапному, пошаровим створенні виробів на основі комп'ютерної 3D моделі. Вони класифікуються по застосовуваних матеріалів, по способам утворення шару і його фіксування. Для реалізації процесів друку використовується обладнання 3D пошарового синтезу без застосування технологічної оснастки. Практичне використання адитивних технологій знайшло застосування в промисловості при виготовленні складних виробів. Таке виробництво економічно обґрунтовано в одиничному і навіть дрібносерійному виробництві [16].

3.1 Аналіз електричних параметрів які впливають на якість 3D-друку

На якість 3D друку впливає безліч електронних компонентів які складають сам 3D-принтер. Висока точність викликає необхідність забезпечення технологічних параметрів таких як: температура, точність переміщення, відсутність биття двигунів і т.д. На яку в свою чергу сильно впливає електричні компоненти 3D-принтера.

3.2 Поділ і відділення шарів пластика

3D-друк працює шляхом створення об'єкта по одному шару за раз. Кожен наступний шар друкується поверх попереднього шару, і в підсумку це створює бажану тривимірну форму. Однак, щоб фінальна частина була міцною і надійною, необхідно переконатися, що кожен шар належним чином пов'язаний із шаром під ним.

Якщо шари не з'єднуються досить добре, кінцева частина може розділитися або відокремитися.

Висота шару занадто за велика. Більшість сопел для 3D-друку мають діаметр від 0,3 мм до 0,5 мм. Пластик протискується через цей крихітний отвір, створюючи дуже тонку екструзію. Ці маленькі насадки також створюють деякі обмеження на те, яку висоту шару можна використовувати.

Як правило, обрана висота шару на 20% менша, ніж діаметр сопла. Наприклад, якщо є сопло 0,4 мм, не можливо пройти занадто далеко від висоти шару 0,32 мм, бо кожен шар пластика не зможе правильно приклеїтися до шару під ним.

Для того щоб уникнути даної проблеми треба перевірити, чи злипаються шари пластику між собою. Також спробувати зменшити висоту шару, щоб побачити, чи допоможе він краще з'єднати шари. На рисунку 3.1 зображене відшарування шару пластика.

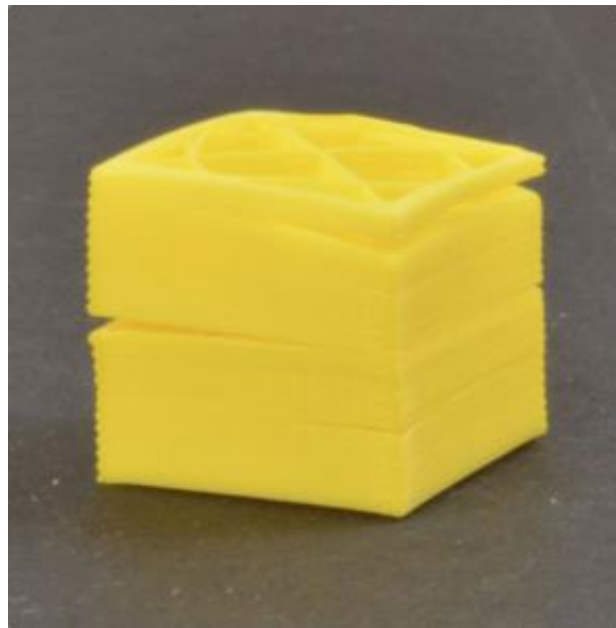


Рисунок 3.1 – Відшарування шару пластика [16]

3.3 Зрушення шару пластика і якість 3D-друку

Зсув шару пластика або зсув шарів при 3D-друку сильно впливає на якість 3D-печаті. Принтер просто намагається перемістити головку екструдера в певне місце і сподівається, що він туди потрапить. І в більшості випадків це працює

нормально. Тому що крокові двигуни, які керують принтером, досить потужні. Але немає ніяких значних навантажень, які б перешкоджали руху головки інструменту.

Однак, якщо щось піде не так, принтер не зможе виявити це. Апарат не має зворотного зв'язку, щоб виявити проблему друку. Тому він буде продовжувати друкувати, як ніби нічого не сталося. Якщо друкувати на дуже високій швидкості, двигуни 3D-принтера можуть не впоратися, як правило, почується клацання, коли мотор не досягне бажаної позиції. Щоб уникнути даної проблеми потрібно зменшити швидкість крокових двигунів, таким чином навантаження на двигуни зменшиться та зсув шарів пропаде.

Багато 3D-принтери також включають в себе серію ременів. Вони приводяться в рух шківками, прикріпленими до валу крокового двигуна з допомогою невеликого регулювальний гвинт.

Ці регулюючі гвинти прикріплюють шків до валу двигуна так, щоб два елементи оберталися разом. Однак, якщо регулювальний гвинт ослаблений, шків більше не буде обертатися разом з валом двигуна.

Це означає, що двигун може обертатися, але шків і ремені не рухаються. Коли це відбувається, головка інструмента не потрапляє в потрібне місце. І це може вплинути на вирівнювання всіх майбутніх шарів друку [16].

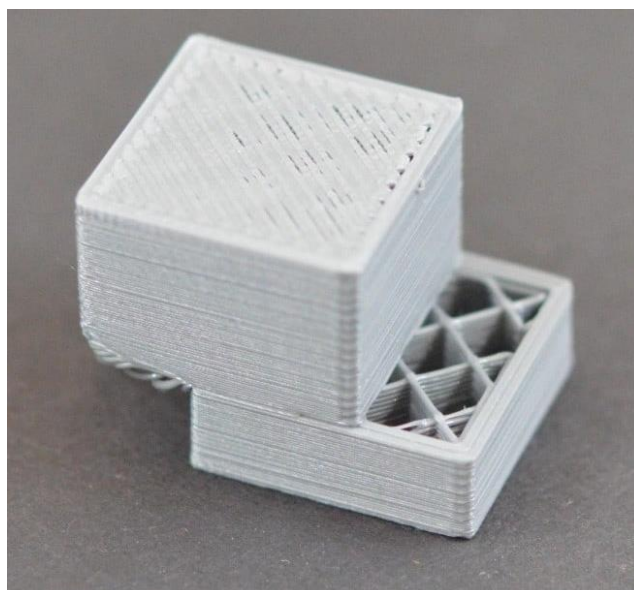


Рисунок 3.2 – Зсув шарів пластику [16]

Є також кілька інших загальних електричних проблем, що впливають на якість 3D-друку. Деякі можуть привести до того, що двигуни втратять своє становище. Наприклад, якщо двигунам не вистачає електричного струму, їм не вистачить потужності для обертання.

Також можливо, що електроніка приводу двигуна може перегрітися. Це призведе до того, що двигуни тимчасово припинять обертатися, поки електроніка не охолоне.

3.4 Перегрівання пластика

Перегрівання пластика – ще один дефект, котрий простежується на якості 3D-друку.

Пластик, що виходить з екструдера, може перебувати в діапазоні від 190 до 310 градусів Цельсія. Поки пластик ще гарячий, він податливий і легко може бути сформований в різні форми.

Однак, у міру охолодження, він швидко стає твердим і зберігає свою форму. Недостатнє охолодження і якість 3D-друку

Найбільш поширеною причиною перегріву є те, що пластик охолоджується недостатньо швидко. Коли це відбувається, гарячий пластик може вільно міняти форму, так як він повільно остигає. Щоб уникнути даної проблеми слід відрегулювати швидкість охолодження філаменту [16].

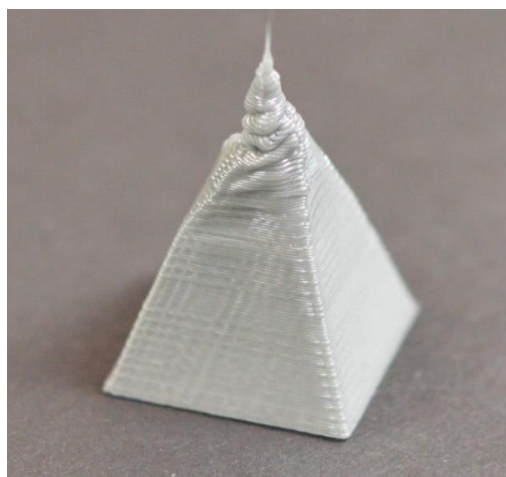


Рисунок 3.3 – Перегрівання пластика [16]

3.5 Припинилося видавлювання філаменту

Припинилося видавлювання нитки в середині процесу 3D-друку, хоча принтер видавлював пластик належним чином на початку друку. Зазвичай є тільки кілька речей, які могли б викликати цю проблему. Яка впливає на якість 3D-друку.

Під час друку двигун екструдера постійно обертається, намагаючись проштовхнути філамент в сопло, щоб принтер продовжував видавлювати пластик.

Якщо намагається друкувати занадто швидко або видавлювати занадто багато пластика, це може призвести до згорання нитки філаменту до того моменту коли філамент захопиться за провідну шестерню.

Одна з перших речей, які можна спробувати, це вручну проштовхнути філамент в екструдер. Мотор екструдера повинен працювати неймовірно ретельно під час друку. Він постійно обертається в зад і вперед, штовхаючи і витягаючи пластик в зад і вперед. Цей швидкий рух вимагає трохи струму. Якщо електроніка принтера не має достатнього охолодження, це може привести до перегріву електроніки драйвера двигуна.

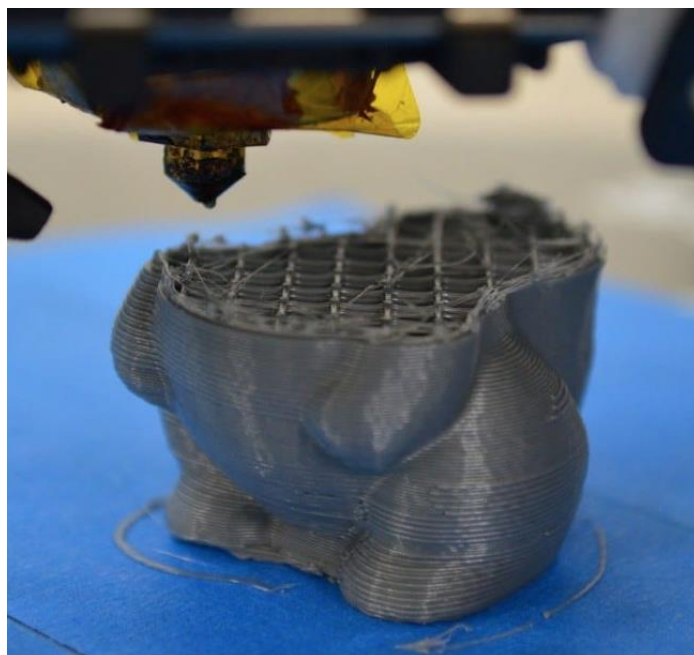


Рисунок 3.4 – Припинення подачі філаменту [16]

Ці драйвери двигунів зазвичай мають теплове відключення, яке призводить до того, що принтер перестав працювати, якщо температура стає занадто високою.

Якщо це станеться, двигуни осей X і Y будуть обертатися і переміщати головку екструдера, але двигун екструдера не буде рухатися взагалі. Єдиний спосіб вирішити цю проблему, вимкнути принтер і дати електроніці охолонути. Також можна додати додатковий охолоджуючий вентилятор для усунення проблеми.

3.6 Спотворення від вібрації

Спотворення від вібрації – це хвилястий малюнок, який може з'явитися на поверхні, через вібрації або коливання принтера. Як правило, можна помітити цю хвилю, коли екструдер раптово змінює напрямок, наприклад, біля гострого кута.

Наприклад, друкований 20-міліметровий куб. Кожен раз, коли екструдер перемикається на друк іншу грань куба, йому потрібно буде міняти напрямки. Інерція екструдера може створювати вібрації, коли відбуваються такі раптові зміни напрямку, які будуть видні на самому кубі [16].



Рисунок 3.5 – Спотворення від вібрації [16]

Занадто швидкий друк. Найбільш часта причина спотворення від вібрації. Те, що принтер намагається рухатися занадто швидко. Коли принтер раптово змінює напрямок, ці швидкі рухи створюють додаткову силу, яка може викликати затяжні вібрації.

Якщо принтер рухається занадто швидко, треба зменшити швидкість друку. Для цього треба «Змінити параметри процесу». Потрібно відрегулювати «Швидкість друку за замовчуванням» і «Швидкість переміщення осі X / Y».

Перший контролює швидкість будь-яких рухів, коли екструдер активно видавлює пластик, а другий контролює швидкість швидких рухів, коли пластик не видавлюється. Можливо, доведеться відрегулювати обидві настройки, щоб побачити ефект.

3.7 Зміна температури погіршує якість 3D-друку

Більшість 3D-принтерів використовують ПІД-регулятор для регулювання температури екструдера. Якщо цей ПІД-регулятор не налаштований належним чином, температура екструдера може з часом змінюватися.

Через особливості роботи ПІД-регуляторів це коливання часто носить циклічний характер, що означає, що температура буде змінюватися в залежності від форми синусоїдальної хвилі.

Коли температура стає вище, пластик може текти інакше, ніж коли він холодніше. Це призведе до того, що шари відбитка будуть видавлюватися по-різному, створюючи видимі виступи по краях 3D-деталі.

Якщо з настройками параметрів втягування все добре, наступного за поширеністю причиною погіршення 3D-друку є надлишкова температура екструдера. PLA особливо чутливий до температури. Якщо вона занадто висока, пластик всередині сопла стає надмірно рідким і йому набагато легше впливати через сопло. Якщо ж температура занадто низька, пластик буде занадто твердим і його буде важко продавити через хотенд. Можна спробувати знизити

температуру екструдера на 5-10 градусів. Це може значно позначитися на якості готового об'єкта.

Правильно налаштований принтер повинен підтримувати температуру екструдера в межах +/- 2 градуси. Під час друку можете використовувати панель керування машини для контролю температури екструдера. Якщо вона змінюється більш ніж на 2 градуси, то тоді може знадобитися перекалібровка вашого ПД-регулятора.

3.8 Волоски або павутиння

Волоски (павутиння, «волохатість», «вуса») з'являються тоді, коли при друку 3D-моделі утворюються тонкі, небажані нитки пластика. Як правило, це пов'язано з тим, що такі нитки витягуються з сопла, коли екструдер переміщається на нову позицію. На щастя, у слайсері є кілька параметрів, які можна налаштувати, щоб позбутися від цієї невдачі. Самі стандартні налаштування, які борються з описуваною проблемою, називається зазвичай Retraction (втягування). Якщо вона включена, то екструдер, завершивши друк певної ділянки моделі, втягує філамент в сопло, що є хорошим способом позбавлення від «волосатості». Коли треба продовжити друк, філамент проштовхується назад в сопло, і пластик починає екструдований. Щоб подивитися, виставлено чи втягнення, потрібно клікнути на Edit Process Settings, а там вибрати вкладку Extruder. Ця опція повинна бути включена для кожного з наявних екструдерів. Нижче розглядаються важливі параметри втягування, а також деякі інші налаштування, які стануть в нагоді для того, щоб позбутися від павутини, зокрема, налаштування температури екструдера.

Дистанція втягування. Найважливіші налаштування у втягуванні – це дистанція. Вона визначає, скільки пластика втягується назад в сопло. Зазвичай, чим більше пластику втягується, тим менш імовірно, що сопло буде протікати під час переміщення. Для більшості без редукторних екструдерів досить дистанції втягування від 0,5 мм до 2,0 мм, хоча для деяких екструдерів Bowden

може знадобитися цілих 15 мм, тому що у них велика відстань між приводний шестернею і хотендом. Якщо є така проблема слід спробувати збільшити втягування на 1 мм.

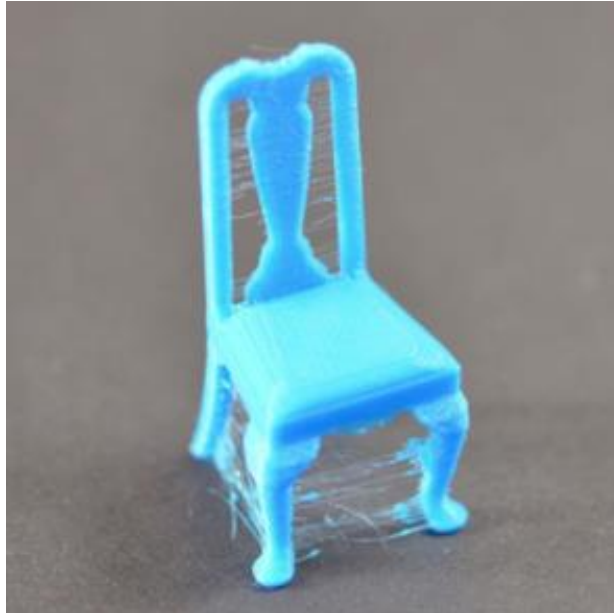


Рисунок 3.6 – Волоски або павутиння [16]

Швидкість втягування. Наступний параметр втягування, який потрібно перевірити, це швидкість, на якій філамент втягується в сопло. Якщо вона занадто мала, пластик буде повільно стікати вниз і може почати капати ще до того, як екструдер завершив переміщення на нову позицію. Якщо вона занадто висока, філамент може відірватися від гарячого пластику в соплі, або ж в результаті різкого руху приводний шестерня може «вигризти» частину пластикової нитки. Золота середина зазвичай знаходиться десь між 1200 і 6000 мм / хв (20-100 мм / с), тоді втягування проходить найкращим чином. Зазвичай в програмах друку пропонуються вже заздалегідь конфігуруванні профілі, які можна взяти за вихідні, і потроху варіювати значення параметрів, щоб краще підігнати їх, наприклад, до характеристик використовуваного матеріалу. Так що корисно по експериментувати і з різними значеннями швидкості втягування і подивитися, чи не зменшиться «волосатість».

Переміщення на великі відкриті відстані. Павутина з'являється тоді, коли екструдер переміщається на нову позицію, а пластик в цей час витікає через

сопло. Те, наскільки такого роду протікання може виявитися суттєвою, в значній мірі пов'язано з відстанню, на яке переміщається друкуюча головка. Невеликі відстані долаються досить швидко, так що пластик просто не встигає просочитися. А ось якщо відстані значні, ймовірність появи павутини набагато вище. У багатьох програм 3D-друку є виключно корисна особливість, яка дозволяє мінімізувати відстань переміщення сопла над порожнечою. Робиться це за рахунок того, що траєкторія змінюється з прямою і найкоротшою, на довшу, зате над поверхнею. У більшості випадків можна взагалі підібрати траєкторію, яка жодного разу не виявиться «містком». Тобто, для виникнення павутини просто не буде можливостей, тому що сопло завжди буде знаходитися над чимось [16].

3.9 Оптимізація електричних компонентів з метою підвищення показників якості 3D-друку

Перш ніж приступити до планування експерименту, необхідно переконатися в відтворюваності дослідів. Для цього роблять кілька серій паралельних дослідів в даній області зміни факторів, що впливають.

Під математичним описом процесу будемо розуміти систему рівнянь, що зв'язують функції відгуку з впливають факторами. У найпростішому випадку це може бути одне рівняння. Часто математичний опис називають математичною моделлю. Математичною моделлю в плануванні експерименту приймають рівняння, що зв'язує параметр оптимізації з факторами:

$$Y = (X_1, X_2, \dots X_n).$$

Таблиця 3.1 показує на скільки буде ділитися крок при установці певної кількості джамперів.

Наприклад, для установки кроку в 1/8 необхідно встановити: M1: YES, M2: YES, M3: NO. Якщо перекласти на просту мову, то на платі RAMPS і MKS GEN необхідно пари контактів MS1 і MS2 закрити джампером, а контакти MS3

залишити відкритими. В таблиці вказано розмір кроку аж до 1/128, хоча драйвер TB67S109 дозволяє дробити максимально до 1/32, а LV8729 до 1/128. Як же поводитиметься система, якщо встановити усі джамери (1/128), а драйвера в наявності TB67S109. Дуже просто – починаючи з максимального дроблення кроку драйвера, подальшого ефекту відбуватися не буде. Тобто для TB67S109 установка всіх джамперів буде діяти як 1/32, а для LV8729 установка всіх перемичок рівнозначна 1/32. Висновок простий: ставити потрібно усі джампери за замовчуванням.

Таблиця 3.1 – Ділення джамперів

M1	M2	M3	Розмір кроку LV8729	Розмір кроку TB67S109
NO	NO	NO	Full step	Full step
YES	NO	NO	1/2 step	1/2 step
NO	YES	NO	1/4 step	1/4 step
YES	YES	NO	1/8 step	1/8 step
NO	NO	YES	1/16 step	1/16 step
YES	NO	YES	1/32 step	1/32 step
NO	YES	YES	1/64 step	
YES	YES	YES	1/128 step	

Як бачимо з таблиці 3.2, факторами будуть напруга (V_{ref}), джамперів крокових двигунів LV8729 і TB67S109. І так проводимо три факторного експерименту для з'ясування залежності точності і якості від напруги і джамперів крокових двигунів.

Судячи з таблиці, максимальним значення опорної напруги буде 0,75V, мінімальним 0,10V. Це і будуть варіювання від 0,75 до 0,10V. Аналогічно і для решти чинників: для крокового двигуна LV8729 від 1/2 до 1/128, для TB67S109 від 1/2 до 1/32. Для зручності позначимо фактори літерними символами: для

напруги дамо символ Z , а для LV8729 – V , тоді для TB67S109 – C , точність обзначаємо – p .

Таблиця 3.2 – Прийняті позначення

Фактори	Опорна напруга (V_{ref})	Джампер для крокового двигуна LV8729	Джампер для крокового двигуна я TB67S109	Точність друку
Прийняте позначення	Z	v	c	p
Позначення В МФЕ	X1	X2	X3	y
Верхня межа (1)	0.75	1/128	1/32	–
Основний рівень (0)	0.40	1/16	1/8	–
Нижній рівень (-1)	0.10	1/2	1/2	–

Для тестового друку було вирішено обрати «калібрований куб». Цей куб являє собою просту, швидку і легку модель для тестування. Його основна мета, допомогти набирати розмірність 3D-принтера, налаштовуючи його кроки по міліметрам. Але також можна перевірити температуру, екструзію і вібрацію. Куб має розміри 20 мм x 20 мм x 20 мм. На рис.3.7 зображена модель калібруючого куба.

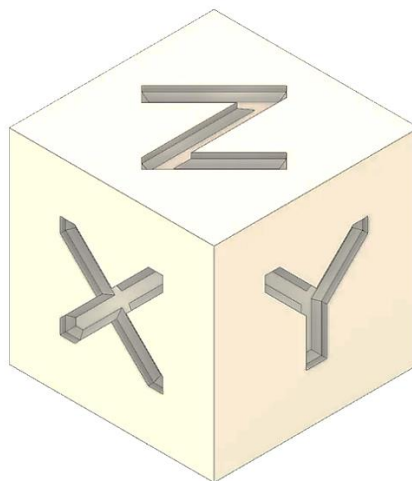


Рисунок 3.7 – Модель калібруючого куба

Складемо матрицю (таблицю) проведення трифакторного експерименту

Z	V	C	X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	X1*X2*X3	X1*X1	X2*X2	X3*X3	Y
0,10	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,27	0,27	0,27	0,10
0,40	4,00	32,00	-1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	-1,00	0,27	0,27	0,27	0,20
0,10	8,00	2,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	-1,00	0,27	0,27	0,27	0,30
0,75	16,00	32,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	0,27	0,27	0,27	0,40
0,40	32,00	2,00	1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	0,27	0,27	0,27	0,50
0,75	64,00	32,00	-1,00	1,00	-1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	0,27	0,27	0,27	0,60
0,40	128,00	2,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	0,27	0,27	0,27	0,70
0,10	2,00	32,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	0,27	0,27	0,27	0,80
0,20	4,00	2,00	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	-0,73	-0,73	0,90
0,90	8,00	4,00	-1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	-0,73	-0,73	1,00
0,40	16,00	8,00	0,00	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,73	0,75	-0,73	1,10
0,40	32,00	16,00	0,00	-1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,73	0,75	-0,73	1,20
0,75	64,00	32,00	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,73	-0,73	0,75	1,30
0,40	128,00	2,00	0,00	0,00	-1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,73	-0,73	0,75	1,40
0,10	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,73	-0,73	-0,73	1,50

Рисунок 3.8 – Таблиця трифакторного експерименту

Для розрахунку критерію Стюдента було виконано:

Знайдено середнє арифметичне – це сума всіх значень в розподілі поділене на їх кількість. Розраховується за формулою:

$$M_x = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (3.1)$$

де X_i – сума всіх значень;

n – кількість вимірювань.

Знайдено стандартні відхилення – позитивне значення квадратного кореня з дисперсії.

Оскільки дисперсія вимірюється в значеннях квадратів вихідних одиниць у дослідників виникають труднощі в її інтерпретації. Для зручності інтерпретації мінливості даних використовують стандартне відхилення, мінливість якої виражається в значеннях вихідних одиниць. Розраховується за формулою:

$$\delta_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - M_x)^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

де x_i – величина окремого значення вибірки;

M_x – середнє арифметичне вибірки;

n – розмір вибірки.

Знайдено емпіричне значення за формулою t-критерію Стюдента для незалежних вибірок, за формулою:

$$t_e = \frac{|M_1 - M_2 - M_3|}{\sqrt{\frac{\delta_1^2 \delta_2^2 \delta_3^2}{N_1 N_2 N_3}}}, \quad (3.3)$$

де M_1, M_2, M_3 – середнє арифметичне першої другий третій вибірки;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – стандартне відхилення першої другий третій вибірки;

N_1, N_2, N_3 – обсяг першої другий третій вибірки.

Знаходимо ступінь свободи, за формулою:

$$df = nF_1 + nF_2 + nF_3 - N, \quad (3.4)$$

де nF_1 та nF_2 – кількість вимірювань для кожного параметра;

N – кількість параметрів.

Тоді отримуємо:

$$df = 15 + 15 + 15 - 3 = 42.$$

Виходячи зі ступеня свободи, визначаємо критичні значення досліджуваних параметрів t-критерію Стюдента рівня значимість, при коефіцієнті значимість ($P=0,05$)[25][26]. Отримуємо ймовірність 4,010. Усі розрахунки приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунки

Параметр	Z	X	C
середнє арифметичне	0,41	34	13,6
стандартні відхилення	0,269	43,385	13,942
N	15	15	15
t-критерію Стьюдента	4,010		

Опираючись на отриманні результати t-критерію Стьюдента, можливо зробити висновок, що в межах діапазону напруги від 0.1 В до 0.3 В спостерігається зміщення каліброваного куба. Це пов'язано з недостатньою напругою на драйвери крокового двигуна. На рис.3.9 зображені калібровані куби зі зміщенням.



Рисунок 3.9 – Куби зі зміщенням

В межах напруги від 0.4 В до 1.0 В спостерігається не співвідношення розмірності, це спостереження можливо побачити і на досліджуваних зразках, рис.3.10.



Рисунок 3.10 – Результати досліджень на зразках

В межах напруги від 1.1 В до 1.5 В якість виробу падає. Зі зменшенням дробіння кроку якість виробу падає вже значно сильніше, це можливо побачити і на досліджуваних зразках, рис.3.11.

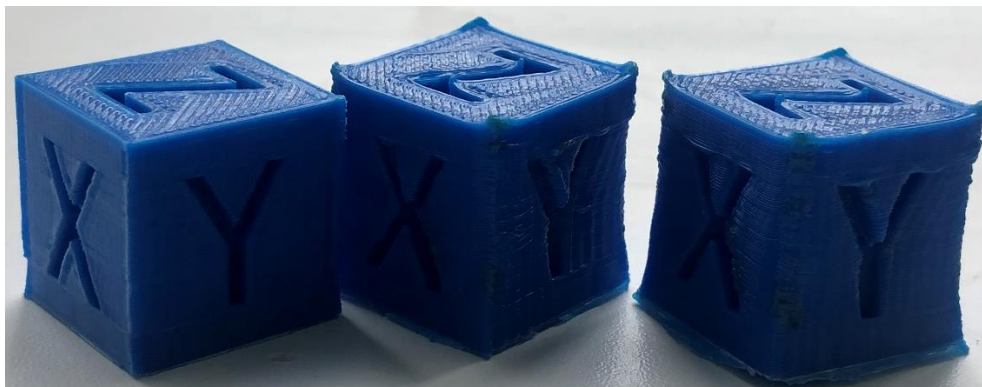
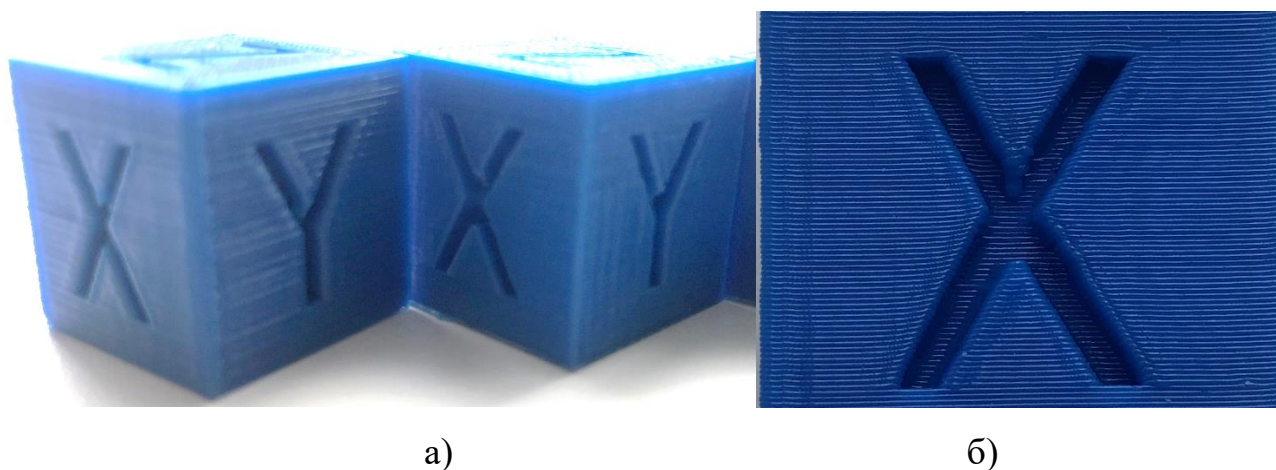


Рисунок 3.11 – Результати досліджень на зразках

В межах діапазону напруги від 0.7 В до 0.9 В спостерігаються правильні пропорції та чіткі рівні лінії. Зі збільшенням дробіння кроку спостерігається точне та рівномірне розподілення пластику на шару друку. Це можливо побачити і на досліджуваних зразках, рис.3.12.



а) результати досліджень надрукованих кубів в діапазоні напруги від 0.7В до 0.8В; б) якість друку однієї з меж куба

Рисунок 3.12 – Результати досліджень

3.10 Висновки третього розділу

За візуальним оглядом надрукованих зразків, можливо зробити наступні висновки.

За точністю друку

– в діапазоні напруги від 0.1 В до 0.3 В спостерігається зміщення сторони куба;

– в діапазоні напруги від 0.4 В до 1.0 В спостерігається не співвідношення розмірності;

– в діапазоні напруги від 1.1 В до 1.5 В якість виробу падає;

– в діапазоні напруги від 0.7 В до 0.9 В спостерігаються правильні пропорції та чіткі рівні лінії.

За якістю друку

– в діапазоні напруги від 0.1 В до 0.3 В спостерігаються не рівномірні шари пластику;

– в діапазоні напруги від 0.4 В до 1.0 В спостерігається зсув шарів пластику;

– в діапазоні напруги від 1.1 В до 1.5 В спостерігається перегрівання пластику через велику напругу;

– в діапазоні напруги від 0.7 В до 0.9 В на виробі спостерігаються чіткі рівні шари пластику.

Виходячи з даного дослідження можливо зробити наступні висновки:

– при 3D-друку з кінематикою Dual-X Carriage, головним параметром який найбільше впливає на якість 3D-друку є напруга на драйвери крокового двигуна.

– також при 3D-друку на якість виробу впливає дробіння кроку, крокового двигуна, але на якість друку впливає незначно.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Правові та нормативні основи охорони праці в Україні

Законодавство України про охорону праці є системою взаємозв'язаних нормативних актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Законодавство про охорону праці складається із загальних законів: Конституції України, Законів "Про охорону праці", Кодексу законів про працю України та інших нормативних актів.

В ст.43 Конституції України записано: "Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується", "Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом", "Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється". Роботодавець зобов'язаний забезпечити нешкідливі умови праці Держава створює умови для повної зайнятості працездатного населення, рівні можливості для громадян у виборі професії та роду трудової діяльності, здійснює програми підготовки та перепідготовки робітників

У тексті ст.46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом.

Закон "Про охорону праці" – є одним із найважливіших законодавчих актів Цей закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок охорони праці в Україні.

Дія Закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах про працю України визначає правові засади і гарантії здійснення громадянами України права розпоряджатися своїми здібностями до продуктивної і творчої праці, регулює трудові відносини працівників усіх підприємств, установ незалежно від форми власності, виду діяльності і галузевої належності Цей закон здійснює правове регулювання охорони праці Норми щодо охорони праці містяться в розділі "Охорона праці" та статтях "Трудовий договір", "Робочий час", "Час відпочинку", "Праця жінок", "Праця молоді", "Професійні спілки", "Нагляд і контроль за додержанням законодавства про працю".

4.2 Техніка безпеки

Безпека праці на виробництві містить такі складові:

- безпеку виробничого обладнання;
- безпеку технологічних процесів;
- організацію безпечного виконання робіт.

Необхідно знати вимоги безпеки до виробничого обладнання. Основним нормативним документом, який визначає загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання (за винятком обладнання, яке є джерелом іонізуючого випромінювання), є ДСТУ 12.2.003-91.

Безпека виробничого обладнання базується на таких принципах:

- добору принципів дії джерел енергії та параметрів робочих процесів;
- мінімізації споживаної та накопичуваної енергії;
- застосування вмонтованих у конструкцію засобів захисту та інформації про можливі небезпечні ситуації;
- застосування засобів автоматизації і дистанційного керування та контролю;

– дотримання ергономічних вимог та обмеженні фізичних і нервово-психологічних навантажень на працівників.

Матеріали конструкції виробничого обладнання не повинні бути чинником можливої небезпечної та шкідливої дії на організм працівників, а навантаження, що виникають в процесі його роботи, в окремих елементах не повинні сягати небезпечних значень. Якщо остання вимога не може бути реалізована в конструкції обладнання, необхідно передбачити відповідні засоби захисту, наприклад, огороження.

Робота виробничого обладнання супроводжується утворенням небезпечних зон.

Небезпечна зона – це простір біля обладнання, у якому постійно діють чи періодично утворюються небезпечні та/чи шкідливі виробничі фактори. Прикладами небезпечної зони може бути простір, у якому переміщуються окремі елементи обладнання; простір між шківом та набігаючою віткою паса у пасових передачах; простір біля неізольованих струмовідних частин. У разі потрапляння усього тіла або частини тіла працівника у небезпечну зону можливе виникнення нещасного випадку.

Небезпечні зони виробничого обладнання, як потенційні джерела травмонебезпеки, повинні бути огорожені, тепло чи електроізольовані або розміщені у місцях, де виключений контакт з ними працівників.

Конструкції зажимних, вантажозахоплювальних, вантажопідіймальних та інших пристроїв повинні унеможлилювати виникнення небезпеки у разі раптового відключення енергії, а також самовільну зміну стану при відновленні енергоживлення.

Виробниче обладнання, робота якого супроводжується виділенням шкідливих речовин чи мікроорганізмів або пожежо чи вибухонебезпечних речовин, повинно включати вмонтовані пристрої для локалізації цих виділень. За відсутності таких пристроїв у конструкції обладнання мають передбачатися місця для підключення автономних пристроїв локалізації таких виділень.

Якщо виробниче обладнання є джерелом вібрації, шуму, ультра та інфразвуку, виробничих випромінювань (електромагнітних, оптичного діапазону чи інших), воно повинно бути виконано так, щоб вплив цих шкідливих виробничих факторів не перевищував допустимих меж, установлених відповідними нормативними документами.

Виробниче обладнання має забезпечуватися місцевим освітленням, якщо його відсутність може спричинити перенапруження органів зору або інші небезпеки.

Складовою безпеки виробничого обладнання є конструкція робочого місця, його розміри, взаємне розміщення органів управління, засобів відображення інформації, допоміжного обладнання тощо. При цьому розміри робочого місця і його елементів мають забезпечувати виконання операцій в зручних робочих позах, переважно в сидячому положенні.

Пуск виробничого обладнання в роботу, а також повторний пуск після його зупинки незалежно від її причини має бути можливим тільки шляхом маніпулювання органами пуску. Органи аварійної зупинки після спрацьовування мають залишатись у положенні зупинки до їх повернення у вихідне положення працівниками.

Повне або часткове припинення енергопостачання з наступним його відновленням, а також пошкодження мережі управління енергопостачанням не повинно призводити до виникнення небезпечних ситуацій.

Засоби захисту, які входять у конструкцію виробничого обладнання, повинні:

- забезпечувати можливість контролю їх функціонування;
- виконувати своє призначення безперервно у процесі роботи обладнання;
- діяти до повної нормалізації відповідного небезпечного чи шкідливого фактора, що спричинив спрацьовування захисту;
- зберігати функціонування під час та після виходу з ладу інших засобів захисту.

Для забезпечення захисту людей від ураження електричним струмом використовуються окремо або в поєднанні один з одним такі технічні способи та засоби як: захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, захисне відімкнення, ізоляція провідників із струмом, огорожувальні пристрої, попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки, засоби захисту та запобіжні пристрої. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих струмопровідних частин, що можуть опинитися під напругою. Заземлення здійснюється за допомогою природних, штучних або змішаних заземлювачів. Заземлення бувають виносні і контурні. В першому випадку заземлювачі розміщують на деякому віддаленні від обладнання, що заземлюється. Вони захищають за рахунок малого їх опору (максимальне значення опору заземлення 4 Ом). При контурному заземленні заземлювачі розміщують по контуру навколо заземленого обладнання на невеликій відстані один від одного.

Подвійна ізоляція електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Найбільш просто подвійна ізоляція здійснюється шляхом покриття металевих корпусів і рукояток електроустаткування шаром електроізоляційного матеріалу і застосуванням ізолюючих ручок.

Поверхневий шар ізоляції схильний до механічних впливів і пошкоджень.

При руйнуванні цього шару відкривається доступ до металевих частин, які можуть опинитися під напругою.

Пошкодження і навіть повне руйнування другого шару ізоляції не перешкоджає продовженню роботи і не подає, таким чином, сигналу про втрату захисту.

Тому такий спосіб виконання подвійної ізоляції не забезпечує надійного захисту і може бути рекомендований лише в рідкісних випадках для обладнання, що не піддається ударної навантаженні.

Більш досконалий спосіб виготовлення корпусу з ізолюючого матеріалу.

Такий корпус несе на собі всі струмопровідні частини, металеві неструмоведучих частини і механічну частину.

При руйнуванні корпусу звільняється доступ до металевих струмоведучих і неструмоведучих частин, але електрообладнання працювати не може, так як порушено взаємне розташування його частин.

Захисне заземлення – заземлення точки або точок у системі чи в процесі монтажу системи або в обладнанні, з метою забезпечення електробезпеки.

Захисне заземлення реалізується у вигляді спеціального електричного сполучення із землею або її еквівалентом струмовідних елементів обладнання, які не повинні перебувати під напругою, але в процесі експлуатації можуть опинитися під напругою, наприклад, у разі пошкодження ізоляції, дефектів дугогасних пристроїв, комутаційних апаратів, в аварійних випадках тощо.

Захисне заземлення є простим, ефективним і поширеним способом захисту людини від ураження електричним струмом при дотику до металевих поверхонь, які виявились під напругою. Це забезпечується зниженням різниці потенціалів між обладнанням, що виявилось під напругою, і землею до безпечної величини. Використовується в трифазній трипровідній мережі з напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю і вище від 1000 В – з довільним режимом нейтралі.

Конструктивними елементами захисного заземлення є: заземлювачі (металеві провідники, що знаходяться в землі) і заземлювальні провідники (з'єднують обладнання, що заземлюється із заземлювачем).

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Залежно від призначення електрозахисні засоби підрозділяються на ізолюювальні, огорожувальні та запобіжні.

До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки, і тому ними

дозволяється доторкатись до струмопровідних частин, що знаходяться під напругою:

– при роботах у електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, струмовимірювальні кліщі;

– при роботах в електроустановках з напругою вище 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги.

4.3 Техніка безпеки при виконанні паяльних робіт

До виконання робіт з паяння паяльником допускаються працівники віком не молодше 18 років, які пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці, які освоїли безпечні методи і прийоми виконання робіт, методи і прийоми правильного поводження з пристроями, інструментами та вантажами.

Працівники, що виконують пайку паяльником, повинні мати II групу з електробезпеки.

У разі виникнення в процесі пайки паяльником яких-небудь питань, пов'язаних з її безпечним виконанням, працівник повинен звернутися до свого безпосереднього або вищестоящего керівника.

Працівникам, зайнятим пайкою паяльником, необхідно дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку організації.

При пайці паяльником на працівника можуть впливати наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

– підвищена загазованість повітря робочої зони парами шкідливих хімічних речовин;

– підвищена температура поверхні виробу, обладнання, інструменту і розплавів припоїв;

– підвищена температура повітря робочої зони;

– пожежонебезпека;

– бризки припоїв і флюсів;

– підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло працівника.

Працівники, зайняті паянням паяльником, повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту.

Роботи із шкідливими і пожежовибухонебезпечними речовинами при нанесенні припоїв, флюсів, паяльних паст, сполучників і розчинників повинні проводитися за наявності робочої загальної та місцевої витяжної вентиляції. Системи місцевих відсмоктувачів повинні включатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення. Робота вентиляційних установок повинна контролюватися за допомогою світлової та звукової сигналізації, яка автоматично включається при зупинці вентиляції.

Повітрязахоплювачі місцевих відсмоктувачів повинні кріпитися на гнучких або телескопічних повітропровідних трубах, здатних переміщатися в процесі пайки паяльником до місця пайки. При цьому повинна бути забезпечена надійна фіксація положення повітрязахоплювачів.

Паяльник повинен проходити перевірку і випробування у терміни та в обсягах, встановлених технічною документацією на нього.

Клас паяльника повинен відповідати категорії приміщення та умовам виробництва.

4.4 Розрахунок штучного освітлення

Основна відмінність умов праці у вечірній час від денного полягає в тому, що у вечірній час відсутня достатня освітленість поля зору працюючого рівномірно розподіленим світловим потоком. Тому необхідно створити таке штучне висвітлення, при якому сумарний світловий потік від всіх установлених у робочій зоні світильників розподілявся рівномірно.

Завданням розрахунку освітленості є визначення числа й потужності світильників, необхідних для забезпечення заданого значення освітленості.

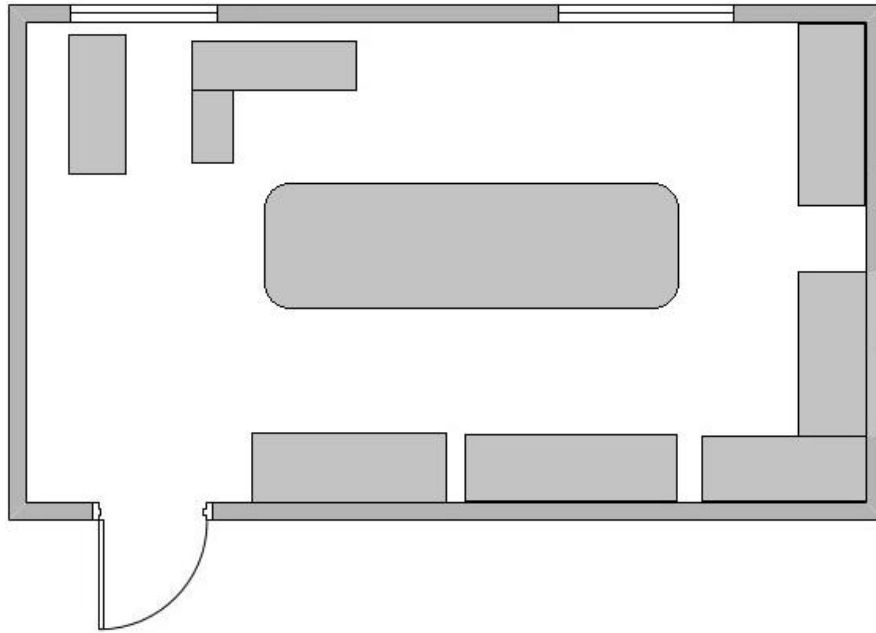


Рисунок 4.1 – Схема приміщення

На рисунку 4.1 схематично зображено приміщення у якому розташований 3D-принтер. Розрахунок проводиться методом світлового потоку [27].

Величина світлового потоку однієї лампи дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (4.1)$$

де: $E_{\text{н}}$ – нормована освітленість, лк ($E_{\text{н}} = 25$ по [56]);

S – освітлювана площа, м²;

K_3 – коефіцієнт запасу (приймаємо 1,3);

Z – поправочний коефіцієнт, залежить від типу лампи (приймаємо $Z = 1,15$);

N – число світильників; проектуємо $N = 6$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, визначається по індексі, приміщення і коефіцієнту відбиття стелі, стін і підлоги ($\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{з}}$, $\rho_{\text{р}}$).

Індекс приміщення:

$$i = ab/h(a + b), \quad (4.2)$$

де: a – довжина приміщення, $a = 7,5$ м;

b – ширина приміщення, $b = 6$ м;

h – висота приміщення $h = 5$ м.

Підставивши значення, одержимо:

$$\Phi = 25 \cdot 225 \cdot 1,3 \cdot 1,15 / 0,5976 \times 9 = 15\,635 \text{ лм}$$

Вибираємо лампу люмінесцентна типу G13 потужністю 18 Вт і світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 1\,080$ лм.

Визначимо розрахункову величину освітленості, що формується при використанні ламп типу G13.

$$E_{\text{р}} = E_{\text{н}} \cdot \Phi_{\text{л}} / \Phi, \quad (4.3)$$

$$E_{\text{р}} = 25 \cdot 1\,080 / 15\,635 = 2,64 = 1,7 \text{ лм}$$

Отримана величина E задовольняє умовам поставленого завдання.

4.5. Висновки четвертого розділу

В четвертому розділі розглянуті питання охорони праці. Розглянуті правові та нормативні основи охорони праці в Україні. Розглянуті питання техніки безпеки при виконанні паяльних робіт. Розраховане штучне освітлення приміщення.

ВИСНОВКИ

З отриманих значень, можливо зробити висновок, що головним параметром для точності 3D-друку є напруга на драйвер крокового двигуна.

За результатами проведених досліджень можливо оцінити отриманні данні за такими критеріями:

- за t-критерієм Стьюдента рівням значимості;
- за візуальними виглядом виробу;
- за точністю виробу.

Опираючись на отриманні результати t-критерію Стьюдента можливо зробити висновок, що в межах діапазону напруги від 0.2 В до 0.7 В якість друку падає, з'являється зміщення виробу. З підвищенням напруги в діапазоні з 1.1 до 1.5 якість виробу падає вже значно сильніше, збільшення дробіння кроку на цей процес впливає незначно. В діапазоні напруги від 0.7 В до 0.9 В спостерігаються правильні пропорції та чіткі лінії друку.

Дана залежність, спостерігається на всіх зразках, та має чіткі риси відмінності, що дає право стверджувати що випадкова помилка при проведенні досліджень мінімальна та дослідження достовірні.

За візуальним оглядом надрукованих зразків, можливо зробити наступні висновки.

За точністю друку:

- в діапазоні напруги від 0.1 В до 0.3 В спостерігається зміщення сторони куба;
- в діапазоні напруги від 0.4 В до 1.0 В спостерігається не співвідношення розмірності;
- в діапазоні напруги від 1.1 В до 1.5 В якість виробу падає;
- в діапазоні напруги від 0.7 В до 0.9 В спостерігаються правильні пропорції та чіткі рівні лінії.

За якістю друку:

– в діапазоні напруги від 0.1 В до 0.3 В спостерігаються не рівномірні шари пластику;

– в діапазоні напруги від 0.4 В до 1.0 В спостерігається зсув шарів пластику;

– в діапазоні напруги від 1.1 В до 1.5 В спостерігається перегрівання пластику через велику напругу;

– в діапазоні напруги від 0.7 В до 0.9 В на виробі спостерігаються чіткі рівні шари пластику.

Виходячи з даного дослідження можливо зробити наступні висновки:

– при 3D-друку з кінематикою Dual-X Carriage, головним параметром який найбільше впливає на якість 3D-друку є напруга на драйвери крокового двигуна.

– також при 3D-друку на якість виробу впливає дробіння кроку, крокового двигуна, але на якість друку впливає незначно.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст] / І.Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320с.
2. ДСТУ 3008-15. Документація, звіти у сфері науки і техніки, структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
3. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
4. Плата RepRap BIQU Rumba, ATMEGA2560, 3D-принтер [Електронний ресурс]// Режим доступу:<https://freedelivery.com.ua/dlya-3d-printerov-199/plata-reprap-biqu-rumba-atmega2560-3d-printer.html/>. – 06.08.2018 г. – Назва з екрану.
5. RUMBA [Електронний ресурс] //Режим доступу <https://reprap.org/wiki/RUMBA/> . – 29.11.2018 г. – Назва з екрану.
6. Плата управління RAMPS 1.6 для 3Д принтера [Електронний ресурс]// Режимдоступу:https://diyshop.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=545/.–29.01.2018 г. – Назва з екрану.
- 7.Обзор RuRAMPS4D v1.3 – Российский Shield (плата обвязки) для 3D принтеров. [Електронний ресурс]// Режим доступу : <https://3dtoday.ru/blogs/vadik1000/overview-ruramps4d-v13-russian-shield-charge-piping-for-3d-printers/>. – 10.08.2018 г. – Назва з екрану.
8. Плата управління MKS Gen V1.4 Arduino+RAMPS для 3D-принтера. [Електронний ресурс]// Режим доступу : <https://freedelivery.com.ua/dlya-3d-printerov-199/plata-upravlenija-mks-gen-v1-4-arduinoramps-dlja-3d-printera.html/>. – 28.12.2018 г. – Назва з екрану.

9. Хотенд [Электронный ресурс]// Режим доступа :<https://3dreams.com.ua/>.– 18.07.2018 г. – Назва з екрану.

10. Шаговые электродвигатели. Виды и работа. Особенности [Электронный ресурс]// Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/shagovye-elektrodvigateli/>. – 12.01.2019 г. – Назва з екрану.

11. Драйвер шагового двигателя TMC2130 V1.1 [Электронный ресурс]// Режим доступа : <https://arduino.ua/prod2856-draiver-shagovogo-dvigatelya-tmc2130/>. – 29.01.2019 г. – Назва з екрану.

12. Драйвер шагового двигателя DRV8825 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://prom.ua/p567656986-drajver-shagovogo-dvigatelya.html/>. 06.06.2017 г. – Назва з екрану.

13. Технологии 3D-печати: преимущества и недостатки [Электронный ресурс]// Режим доступа :<https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologii-3d-pechati-preimuschestva-i-nedostatki/>.– 09.10.2018 г. – Назва з екрану.

14. ДИСПЛЕЙ 3D ПРИНТЕРА LCD 12864 [Электронный ресурс]// Режим доступа : <https://3dua.com.ua/product/displej-3d-printera-lcd-12864/>.– 20.08.2017 г. – Назва з екрану.

15. СЕНСОРНЫЙ ДИСПЛЕЙ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРА MKS TFT 32 [Электронный ресурс]// Режим доступа : <https://3ddevice.com.ua/product/mks-tft-32-sensorny-displei/>.– 10.02.2019 г. – Назва з екрану.

16. Проблемы качества 3D-печати [Электронный курс]]// Режим доступа : <https://3dpt.ru/page/faq#description-23/>.– 17.08.2019 г. – Назва з екрану.

17. BIGTREETECH SKR V1.1 3d принтер контроллер плата ARM 32 бит [Электронный ресурс]// Режим доступа : <http://nodirectionthemovie.com/products/bigtreetech-skr-v1-1-3d/>.– 08.05.2019 г. – Назва з екрану.

18. Драйвер шагового двигателя A4988 [Электронный курс] // Режим доступа : <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drajver-shagovogo-dvigatelya-a4988/>.– 19.04.2020 г. – Назва з екрану.\

19. Термобарьер экструдера 1.75 E3D v6, 3D-принтер [Электронный курс] // Режим доступа : <https://rozetka.com.ua/118531849/p118531849/>. – 10.11.2018 г. – Назва з екрану.

20. Нагрівальний блок екструдера E3D V5 3D-принтера [Электронный курс] // Режим доступа : <https://zakupus.com.ua/ua/p1220496972-nagrevatelnyj-blok-ekstrudera.html/>. – 24.08.2019 г. – Назва з екрану.

21. Нагревательный элемент для экструдера 3D принтера 12В и 24В [Электронный курс] // Режим доступа : <https://xn--3--8kcog3dxa2b9b.xn--j1amh/product/>.12.03.2020 г. – Назва з екрану.

22. Термистор 100К Ом NTC 3950 для 3D принтера с кабелем [Электронный курс] // Режим доступа : <https://xn--3--8kcog3dxa2b9b.xn--j1amh/product/>.19.09.2020 г. – Назва з екрану.

23. Концевые выключатели. Виды и устройство. Работа и применение [Электронный курс] // Режим доступа : <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/kontsevye-vykliuchateli/>.19.09.2020 г. – Назва з екрану.

24. Дисплей 2004 для RepRap RAMPS 1.4 [Электронный курс] // Режим доступа : <https://www.google.com/search?q/>.19.09.2020 г. – Назва з екрану.

25. Славутский Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента. Учебное пособие: Изд-во ЧГУ, Чебоксары, 2006, 200 с.

26. Джашеев К.А.-М., Джашеева З.А.-М. Монограммный метод анализа результатов многофакторного эксперимента // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 8 – С. 19-28.

27. РОЗРАХУНОК ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ [Электронный курс] // Режим доступа : <https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/praktikum/80.html> /.15.10.2015 г. – Назва з екрану.