

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

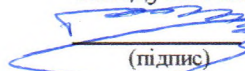
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 **С.А. Найда**
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 01 ” червня 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва)

(Електронні системи мультимедія та засоби Інтернету речей)

на тему: “ Особливості реалізації електронних систем 3D-принтера “

Виконав: студент ІІІ курсу, групи ДВ-п71
(шифр групи)

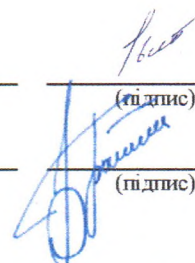
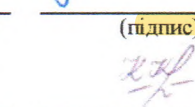
Важинський Євген Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

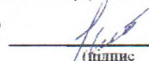
Керівник асистент Бакіко В.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Рецензент доцент каф. ЕПС, к.т.н., доц., Клен К. С.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)


(підпис)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

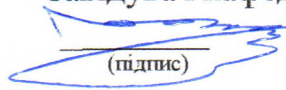
Факультет Електроніки

Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем

Спеціальність 171 Електроніка
(Електронні системи мультимедія та засоби Інтернету речей)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 С.А. Найда
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 01 » червня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту**

Важинському Євгену Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи: «Особливості реалізації електронних систем 3D-принтера»

керівник роботи Бакіко Вадим Миколайович, ас.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. № 1198-с

2 Термін подання студентом роботи 25 травня 2020 р.

3 Вихідні дані до роботи: 1) Нормативні документи що до 3D-друку; 2) Принципи роботи та структурна схема 3D-принтера; 3) Розробити електронну модель системи управління 3D-принтером; 4) Провести моделювання процесу роботи 3D-принтеру; 5) Проаналізувати сучасні системи 3D-друку; 6) Провести порівняльний аналіз електронних систем сучасних 3D-принтерів; 7) Провести моделювання електронних систем 3D-принтера; 8) Розробити засоби підвищення ефективності програмного забезпечення 3D-принтера.

4. Зміст роботи: 1) Аналітичний огляд сучасних 3D-принтерів; 2) Аналіз технології 3D-друку; 3) Моделювання електронних систем 3D-принтера 4) Розробка засобів підвищення ефективності програмного забезпечення.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: комплект презентації за матеріалами проведеного дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01 березня 2020 р

Календарний план

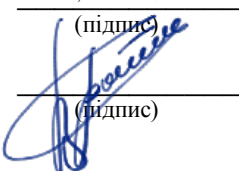
№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу: “Аналітичний огляд”	24.03.2020	виконано
2	Написання другого розділу: “Аналіз технологій 3D-друку”	20.04.2020	виконано
3	Написання третього розділу: “Моделювання електронних системи 3D-принтера”	10.05.2020	виконано
4	Написання четвертого розділу: “Розробка засобів підвищення ефективності програмного забезпечення”	20.05.2020	виконано
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	4.06.2020	виконано
6	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	6.06.2020	виконано

Студент

Керівник роботи



(підпис)



(підпис)

Є.О. Важинський
(ініціали, прізвище)

В.М. Бакіко В.М.
(ініціали, прізвище)

УДК 681.3.06

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 108 с., 7 табл., 77 рис., 3 дод., 10 джерел.

FUSED DEPOSETION MODELING, SELECTIVE HEAT SINTERING, RAPID PROTOTYPING, CURRENT LIMIT, ENDSTOP, EXTRUDE, REPRAPDISCOUNT SMART CONTROLLER, MARLIN.

Об'єктом дослідження є електронні системи 3D-принтеру.

Мета роботи: розробити рекомендації для практичної реалізації електронних систем 3D-принтеру.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз сучасних технологій 3D-друку. Досліджено сучасні електронні системи 3D-принтеру. Розроблено модель та підключення електронних систем принтера для тривимірного друку. Розроблені засоби підвищення ефективності програмного забезпечення 3D-принтеру. Виявлено переваги та недоліки принтеру. Розроблено програмне забезпечення для автономної роботи 3D-принтеру.

Робота містить докладний опис технології 3D-друку. Детально описаний принцип роботи електронної системи 3D-принтеру. Проведено порівняльний аналіз технологій 3D-друку. Запропоновано принцип підвищення ефективності програми управління 3D-принтера. Змодельовані електронні системи 3D-принтеру, та проаналізовано принцип його роботи.

Отримані результати можуть бути використані для побудови сучасних принтерів для тривимірного друку.

ABSTRACT

Thesis: 108 pages, 7 tables, 77 figures, 3 addition, 10 sources.

FUSED DEPOSITION MODELING, SELECTIVE HEAT SINTERING, RAPID PROTOTYPING, CURRENT LIMIT, ENDSTOP, EXTRUDE, REPRAPDISCOUNT SMART CONTROLLER, MARLIN.

The object of the study is the electronic systems of the 3D printer.

Purpose: to develop recommendations for the practical implementation of electronic systems for 3D printers.

To achieve this goal, an analysis of modern 3D printing technologies. Modern electronic systems of the 3D printer are investigated. A model and connection of electronic printer systems for three-dimensional printing have been developed. Developed tools to improve the efficiency of 3D printer software. The advantages and disadvantages of the printer are revealed. Software for autonomous operation of the 3D printer is developed.

The work contains a detailed description of 3D printing technology. The principle of operation of the electronic system of the 3D printer is described in detail. A comparative analysis of 3D printing technologies. The principle of increasing the efficiency of the 3D printer control program is proposed.

The obtained results can be used to build modern printers for three-dimensional printing.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ 3D-ПРИНТЕРІВ.....	14
1.1 Базисні принципи роботи 3D-принтера: терміни і характеристики	14
1.2 Переваги 3D-принтерів	16
1.3 Недоліки 3D-принтерів	18
1.4 Сфери застосування 3D-принтерів	19
2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ	21
2.1 FDM (Fused Deposition Modeling)	21
2.1.1 Процес FDM друку	21
2.1.2 Характеристики FDM принтерів	22
2.1.3 Основні витратні матеріали FDM	23
2.1.4 Пост-обробка.....	25
2.2 SLA (Stereo Lithography Apparatus)	25
2.2.1 Процес друку за технологією SLA	26
2.2.2 Схема роботи SLA принтера.....	27
2.2.3 Схема SLA принтера з орієнтацією зверху вниз.....	29
2.2.4 Схема SLA принтера з орієнтацією від низу до верху	30
2.2.5 Матеріали для SLA друку	31
2.2.6 Пост-обробка SLA 3D друку.....	32

2.3 SLS (Selective Laser Sintering)	33
2.3.1 Процес друку методом SLS.....	33
2.3.2 Матеріали для SLS-друку	35
2.3.3 Пост-обробка.....	36
2.4 Порівняльний аналіз технологій 3D-принтерів	36
3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ 3D-ПРИНТЕРА.....	43
3.1 Аналіз електронних систем принтера тривимірного друку	43
3.1.1 Вибір керуючої плати	43
3.1.1.1 Технічний опис керуючої плати Arduino Mega 2560	44
3.1.1.2 Входи і виходи керуючої плати	47
3.1.1.3 Зв'язок керуючої плати з ПК	48
3.1.1.4 Програмування мікроконтроллера	48
3.1.1.5 Фізичні характеристики та сумісність з платами розширення .	49
3.1.2 Плата розширення RAMPS 1.4	49
3.1.3 Аналіз і вибір крокового двигуна та драйвера управління для моделювання електронних систем 3D-принтера.....	52
3.1.3.1 Управління кроковим двигуном	55
3.1.3.2 Драйвер крокового двигуна DRV8825.....	57
3.1.3.3 Налаштування мікрокроку двигуна	59
3.1.3.4 Система охолодження DRV8825.....	60
3.1.3.5 Налаштування струму DRV8825.....	61
3.1.3.6 Підключення драйвера крокового двигуна DRV8825 до Arduino	62
3.1.4 Нагрівальний стіл	63
3.1.5 Термістори	64
3.1.6 Кінцеві вимикачі (endstop)	65

3.1.7 Екструдер	66
3.1.8 LCD дисплей	66
3.1.9 Блок живлення	67
3.2 Підключення блоків 3D принтера.....	68
3.2.1 Підключення керуючої плати до плати розширення	68
3.2.2 Підключення крокових двигунів	69
3.2.3 Підключення драйверів крокових двигунів	71
3.2.4 Кінцеві вимикачі	73
3.2.5 Підключення термисторів	75
3.2.6 Підключення нагрівального столу і нагріву хотенда	75
3.2.7 Підключення LCD дисплея	77
3.2.8 Підключення живлення	78
4 РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	80
4.1 Середовище розробки Arduino IDE	80
4.2 Підвищення ефективності та налаштування програмного забезпечення Marlin	81
4.2.1 Засоби налаштування швидкості передачі даних керуючої плати	81
4.2.2 Принцип вибору керуючої плати	82
4.2.3 Вказуємо назву 3D принтера	84
4.2.4 Датчик температури столу і екструдера.....	85
4.2.5 Засоби обмеження максимальної температури	87
4.2.6 Засоби обмеження мінімальної температури.....	89
4.2.7 Налаштування кінцевих вимикачів	89
4.2.8 Установка габаритів переміщення	90
4.2.9 Налаштування кроків переміщення по вісях	90
4.2.10 Розрахунок осі X і Y.....	91

4.2.11 Розрахунок осі Z (ходовий гвинт.....	91
4.2.12 Обмеження максимальної швидкості переміщення по осях.....	92
4.2.13 Налаштування прискорення переміщень по осях.....	92
4.2.14 Активація дисплея	93
4.3 Запис програмного забезпечення на керуючу плату 3D-принтера.....	94
ВИСНОВКИ	96
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	98
ДОДАТОК А (C++, створення програмних параметрів для електронних систем принтера).....	99
ДОДАТОК Б (C++, Налаштування роботи крокового двигуна).....	103
ДОДАТОК С (SUMMARY)	106

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

FDM	-	Fused Deposition Modeling
SLA	-	Stereo Lithography Apparatus
SLS	-	Selective Laser Sintering
RAMPS	-	RepRap Arduino Mega Pololu Shield
LCD	-	Liquid Crystal Display
IDE	-	Integrated Development Environment
NTC	-	Negative Temperature Coefficient
GND	-	Ground
FTDI	-	Future Technology Devices International
PEEK	-	Polyetheretherketone
TPE	-	Thermoplastic Elastomer
ABS	-	Acrylonitrile Butadiene Styrene

ВСТУП

У сучасному світі з його прискорюючими темпами розвитку з'явилася необхідність у швидкому та ефективному механізмі втілення конструкторських та інженерних ідей. Якщо в області розробки ідеї або загальної концепції технічного або технологічного рішення конструктори можуть використовувати наявне різноманіття засобів моделювання та візуалізації, то на етапі прототипування виникає проблема швидкої реалізації розробок і дослідження їх в реальному, а не віртуальному світі.

В даний час на етапі прототипування для проведення випробувань і подальшої доробки прототипу все ще застосовуються фрезерні, відливні, токарні та інші технології, часто малоефективні через великий час реалізації зразків і економічно затратні через необхідність використання дорогих верстатів і залучення високооплачуваних кваліфікованих кадрів, що різко знижує економічну ефективність проекту в цілому. У кращому випадку прототипи виконуються на сучасних ЧПУстанках, висока вартість яких також обмежує коло їх застосування, та рядовий конструктор, який не має доступ до такого обладнання, позбавляється можливості реалізації свого проекту.

Однак інтенсивний розвиток сучасних програмних систем проектування інженерних та інших спеціалізованих конструкцій, прикладом яких можуть служити Autodesk 3Ds Max, AutoCAD та інші, дозволяє втілювати конструкторські ідеї не тільки на рівні віртуальної моделі, але і на рівні створення готових рішень за допомогою технологій 3D-друку. На допомогу інженерам і конструкторам прийшли адитивні технології прототипування, в процесі реалізації яких модель синтезується шляхом пошарового наплавлення або спікання шарів (в залежності від технології). Перший Стереолітографічний принтер з'явився в 1986 році в основному для промислового використання, але вже в 1995 році завдяки зусиллям кількох

студентів Массачусетського технологічного інституту (в тому числі, Джима Бредта і Тома Андерсона) адитивна технологія синтезу об'ємних моделей стала доступною для домашнього використання. Незабаром переваги прототипування за допомогою 3D-принтерів були оцінені. На даний момент часу 3D -друк використовується в багатьох сферах виробництва і науки, відомо також багато технологій 3D-друку - від найпростіших до технологічно складних рішень, що дозволяють реалізувати будь-яку інженерну задумку в будь-якому фізичному вигляді і на будь-якому матеріалі. [3]

Історія розвитку 3D-технологій

Найдавніші технології 3D-друку вперше стали помітні в кінці 1980-х, тоді вони отримали назву технологій швидкого прототипування (RP). Це пояснюється тим, що спочатку процеси були задумані як швидкий і економічно вигідніший метод створення прототипів для розробки продукції. Перший патент на стереолітографічний апарат (SLA) був виданий в 1986 року. Цей патент належав Чарльзу (Чак) Халлу, який вперше винайшов свою машину SLA в 1983 році. Халл перейшов до співавторської корпорації 3D Systems - однієї з найбільших і найпродуктивніших організацій, що сьогодні працюють у секторі 3D-друку.

Перший комерційний 3D-принтер від 3D Systems, SLA-1, був представлений в 1987 році і після жорстких випробувань, перша з цих систем була продана в 1988 році. В 1987 році Карл Декард, який працював в Техаському університеті, подав патент в США на селективний процес лазерного спікання (SLS). Цей патент був виданий у 1989 році. 1989 рік також був роком того, що Скотт Крамп, співзасновник Stratasys Inc., подав патент на моделювання методом пошарового наплавлення (FDM).

Протягом 1990-х років впроваджувалося безліч нових технологій, які все ще були зосереджені повністю на промислових програмах. Вже на-початку

2000-х років відбулася революція 3D-друку: ринок розколовся на два напрямки - високотехнологічні дорогі системи і доступні широкій категорії споживачів пристрої. І ті, і інші стрімко розвиваються, активно проникаючи в усі сфери життя людини.

В сфері 3D друку одною з основних проблем є вартість 3D-принтера, тому в дипломній роботі буде розглянуто моделювання принтера для тривимірного друку для самостійної збірки, та налаштування програмного забезпечення для зпроектованого приладу.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ 3D-ПРИНТЕРІВ

У даній главі представлено аналітичний огляд 3D-принтерів та технологій 3D-друку. Проаналізовано принцип дії технології 3D-друку. Її переваги та недоліки.

1.1 Базисні принципи роботи 3D-принтера: терміни і характеристики

З появою 3D-принтерів прийшла і нова епоха, яка знаменується величезним потенціалом у сфері високих технологій. Використовуючи технології 3D друку, дизайнери, інженери, архітектори, лікарі тепер мають можливість втілювати в життя свої ідеї, багато з яких знайшли своє застосування в різних сферах науки і техніки.

Тривимірний принтер - це пристрій, що перетворює віртуальну модель в реальну. Щоб відтворити той чи інший виріб на 3D-принтері, розробляється його віртуальний шаблон, для створення якого існує спеціальне програмне забезпечення.

На наступному етапі відбувається обробка 3D-моделі програмою. Об'єкт «нарізається» пошарово по горизонталі, дані - перетворюються в код, який використовується принтером при створенні 3D-моделі. Код - це зашифровані команди, застосовуючи їх принтер наносить матеріал на потрібні ділянки, шар за шаром, вирощуючи виріб. Для відтворення різних виробів використовують такі технології як:

- Моделювання методом наплавлення (Fused Deposition Modeling, FDM)
- Стереолітографія (Laser Stereolithography, SLA)
- Селективне лазерне спікання (Selective Laser Sintering, SLS)
- Селективне лазерне плавлення (Selective Laser Melting, SLM)
- Цифрова світлодіодна проекція (Digital Light Processing, DLP)

- Пряме лазерне спікання металу (Direct Metal Laser Sintering, DMLS)
- Вибіркове теплове спікання (Selective Heat Sintering, SHS)
- Виготовлення об'єктів за допомогою ламінування (Laminated Object Manufacturing, LOM)
- Метод багатоструеневого моделювання (Multi Jet Modeling, MJM)
- Електронно-променева плавка (Electron-beam Melting, EBM)
- Кольоровий струменевий друк (Color Jet Printing, CJP)

На сьогоднішній день існують різні моделі 3D-принтерів, які різняться не тільки використовуваними матеріалами, принципами створення готових моделей, але є і об'єднуючий фактор - все принтери вирощують об'єкт пошарово в горизонтальному положенні.

Терміни 3D-друку:

Дозвіл друку - це одна з основних і найбільш важливих характеристик тривимірної друку. Ця функція вказує найменшу товщину шару матеріалу (в мікронах), з якої може працювати дане 3D-пристрій. Якщо об'єкт вирощується з мінімальних, тонких шарів матеріалу, він має більш високу якість. Такий виріб має гладку поверхню, всі дрібні деталі чіткі, без вад. Чим товщий нанесений шар матеріалу, тим грубіша готова деталь, в ній можуть бути тріщини, діри. Пристрій, що друкує тонкими нитками, задіє більше часу на вирощування моделі, а, значить, знос принтера відбувається швидше.

Дозвіл друку підпорядковується таким факторам:

- технології робочого процесу 3Dprinter (лазерні відтворюють найбільш якісні об'єкти);
- точності виконання роботи друкуючим пристроєм;
- матеріалу, з якого відтворюється об'єкт;
- правильним налаштуванням принтера.

Робочий об'єм - цей параметр вказує на розміри об'єкта, що може створити пристрій конкретної марки. Він описує зону досяжності, в якій

рухається головка, по горизонтальній площині осі X і Y і по висоті вертикальна - Z. При більшому розмірі деталі технічні характеристики принтера не дозволяють її відтворити. Розмір об'єкта виражається в числах по довжині, ширині і висоті, наприклад, паралелепіпед 25x25x25 мм. 3D-принтери, що працюють по нестандартному принципу (дельта-принтери), вимагають вказівки області друкування за типом циліндра (висота, його діаметр).

Конструкції підтримки - друкований механізм починає відтворення деталі знизу -вгору. Якщо об'єкт витягнуть в висоту, йому потрібна підтримка, тому що принтер не може відтворювати деталь просто в повітрі. За рахунок підтримуючої конструкції, принтер по заданих параметрах вирощує об'єкт потрібної конфігурації. Після створення виробу, підтримка видаляється.

Сам процес 3D друку нескладний. Друкуюча головка формує деталь, завдаючи наступний шар пластику або іншого матеріалу на попередній. Її рух відбувається тільки горизонтально (поздовжньо осей X / Y). Для створення об'єкта також потрібно платформа, вона може рухатися вгору / низ (вісь Z). На початковому етапі платформа знаходиться зверху, в цей час принтер починає формувати перші шари об'єкта. Після нанесення першого шару, платформа знижується. Далі, за допомогою головки, шар за шаром вирощується об'єкт по заданим розмірам.[5]

1.2 Переваги 3D-принтерів

Однією з основних переваг 3D друку - швидкість виробництва деталі. Складні по конфігурації моделі можна завантажити безпосередньо з CAD середовища і надрукувати всього за кілька годин.

У минулому виготовлення прототипу могло зайняти дні або навіть тижні. Тепер весь цей технологічний процес можна сміливо замінити роботою одного інженера, який надасть зразок через кілька годин.

На зображенні нижче показаний процес 3D друку (червоний) в порівнянні з традиційним технологічним процесом (чорний).

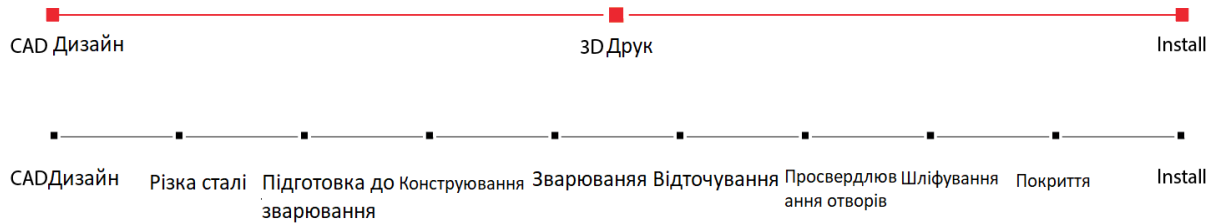


Рисунок 1.1 – Процес 3D друку в порівнянні з традиційним технологічним процесом

Вартість виробництва деталі можна розбити на 3 частини: вартість роботи обладнання, матеріалу і вартість фахівців.

Вартість роботи обладнання - Більшість настільних 3D принтерів використовують стільки ж електроенергії, скільки ноутбук або стаціонарний комп'ютер. Більш потужний, промислові принтери використовують більше енергії, але все одно робить їх ефективніше і менш ресурсоємними.

Вартість матеріалів - Вартість матеріалів для 3D друку різниться для різних технологій друку. Настільні FDM принтери використовують матеріали, які коштують близько \$ 25 за кг, в той час як для SLA друку необхідно віддати близько \$ 150 за л. Наявність різних матеріалів ускладнює процес порівняння з класичними технологіями виробництва. Наприклад, нейлонові суміші для SLS коштують близько \$ 70 за кг. Вартість матеріалу - основна складова виробництва методом 3D друку.

Вартість фахівців - Одне з основних переваг 3D друку - низька вартість фахівців. Процес повністю автоматизований. У порівнянні з традиційним виробництвом, під час якого треба задіяти висококваліфікованих, навчених операторів, вартість фахівців для 3D друку значно менша.

3D друк набагато вигідніше для невеликих обсягів. В основному, використовують для створення прототипів майбутніх виробів. Традиційні

методи виробництва вступають в силу, коли виробляються деталі великих розмірів або запускається велика партія деталей.

Вироби складної форми - У класичному виробничому процесі завжди є деякі обмеження, які треба враховувати. 3D друк знімає ці обмеження, так як деталь формується шар за шаром.

Різні сфери застосування - Так як немає обмеження на конфігурацією деталі, основний концепт 3D друку це виготовлення одного виробу для одного завдання. Ця ідея особливо добре прижилася в медицині. Зараз на 3D принтері друкують протези індивідуальної конфігурації, імпланти і зубні пломби.

Безвідходне виробництво - Класичні методи обробки припускають виготовлення деталі з заготівлі, розмір якої більше кінцевого виробу. В результаті формується стружка. Під час 3D друку витрачається тільки та кількість матеріалу, яка необхідна для виробництва. Крім того, багато матеріалів для 3D друку можна переробити і використовувати повторно.

1.3 Недоліки 3D-принтерів

- Низька продуктивність в порівнянні з традиційними литтям і штампуванням (через що 3D-друк не конкурентоспроможна в масовому виробництві).
- Технічні обмеження за розміром виробу.
- Економічні обмеження за обсягом виробленої партії (як правило, до 100 штук).
- Велика вартість промислових принтерів і витратних матеріалів, особливо для друку металом.
- Якість і міцність виробів поступаються фрезеруванні і лиття з пластмаси.

Компанії, що професійно займаються прототипуванням, зазвичай поєднують 3D друк з фрезеруванням (яке давно теж стало цифровим). А деякі поєднують 3D виробництво з литтям. Тривимірний друк краще підходить для виготовлення прототипів, а фрезерування - для виробництва невеликих і середніх серій. Фрезерування вигідне при випуску сотень виробів, але не справляється зі складною геометрією, як 3D друк.[8]

1.4 Сфери застосування 3D-принтерів

Будівництво - за допомогою 3D-друку становить серйозну конкуренцію традиційним підходам. Об'єднані Арабські Емірати, Тайланд, Китай вже сьогодні використовують сучасні мобільні принтери для друку будинків прямо на місці їх розташування. Метод друку той же, що і в інших сферах застосування, - пошарове Екструдкування (виробництво шляхом продавлювання в'язкого матеріалу через формуючі отвори). Як матеріал використовуються цемент, будівельне сміття, скловолокно та ін. Технологія працює за принципом будівельного крана, зводить стіни з суміші бетону і сполучних матеріалів.

Медицина - Однією з напрямків 3D-друку - медицина. У 2011 році відбувся тріумф в регенеративної медицини: принтер, заправлений біогелем, «надрукував» за 3 години людську нирку. Хоча до трансплантації органів ще далеко, вчені вже зараз розробляють технології для пересадки вирощених з допомогою 3D-друку кровоносних судин, органів черевної порожнини, шкіри. Сьогодні у всьому світі, успішно імплантуються надруковані на 3D-принтері елементи людського скелета - кістки, суглоби, зуби.

Побут - Принтери з технологією 3D-друку поступово освоюють сфери виробництва продуктів харчування, одягу, взуття, унікальних сувенірів, іграшок, меблів - всього того, що використовують люди в повсякденному житті.

Для друку побутової продукції широкого спектру людині знадобиться лише принтер і різні матеріали до нього.

Перспективи 3D-друку - технологія 3D-друку в недалекому майбутньому дозволить створювати елементи для будівництва дослідних баз на Місяці і Марсі. NASA вже успішно випробувала роздруковані на 3D-принтері титанові форсунки для ракетних двигунів. Перспектива освоєння найближчих планет потребує скорочення витрат на транспортування вантажу і матеріалів. Єдиним варіантом можливого освоєння планет експерти NASA назвали використання 3D-друку в космосі. Друкувати посадочні майданчики, монолітні будови і дороги на Місяці можна з місцевого ґрунту, а на Марсі - з базальту і реголіту.

Висновки до першого розділу

Під час розгляду матеріалів по технологіям 3D-друку, проаналізовано розвиток сучасних технологій тривимірного друку. Виявлено недоліки та переваги 3D-принтерів. Переваги технологій 3D-друку друку надають нові можливості для реалізації інженерних ідей та прототипування. Враховуючи широкий розвиток технологій тривимірного друку виникає необхідність аналізу їх роботи з метою виявлення шляхів для підвищення ефективності та усунення недоліків в роботі. Для проведення аналізу розглянемо найпоширеніші технології тривимірного друку, та зробимо порівняльний аналіз технологій тривимірного друку.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ

Адитивні технології – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Друк здійснюється спеціальним пристроєм — 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі. 3D-принтери, як правило, швидші, більш доступні і простіші у використанні, ніж інші технології адитивного виробництва. 3D-принтери пропонують розробникам продуктів можливість друку деталей і механізмів з декількох матеріалів та з різними механічними і фізичними властивостями за один процес складання. 3D друк дозволяє перетворювати, отримані в CAD-системах в готові вироби. [1]

2.1 FDM (Fused Deposition Modeling)

Друк методом пошарового накладання (FDM) являє собою процес адитивного виробництва, який реалізовується завдяки екструзії матеріалів. У FDM, об'єкт будується шляхом нанесення розплавленого матеріалу за заздалегідь встановленим алгоритмом, шар за шаром. Використовувані матеріали являють собою термопластичні полімери і мають форму нитки.

2.1.1 Процес FDM друку

Котушка з термопластичною ниткою завантажується в принтер. Як тільки сопло досягне необхідної температури, нитка подається в екструдер і в сопло, де вона плавиться.

Екструдер прикріплений до 3-осьовий системі, яка дозволяє йому переміщатися в напрямках X, Y і Z. Розплавлений матеріал видавлюється у

вигляді тонких ниток і наплавляється пошарово в заздалегідь визначених місцях, де потім охолоджується і твердне. Іноді охолодження матеріалу прискорюється завдяки використанню вентиляторів, прикріплених до екструдеру.

Для заповнення друкованої області, екструдеру потрібно кілька проходів. Коли шар закінчений, платформа переміщається вниз (або, як в деяких моделях принтерів - екструдер переміщається вгору), і наплавляється новий шар. Цей процес повторюється, поки 3D-модель не буде надрукована цілком.

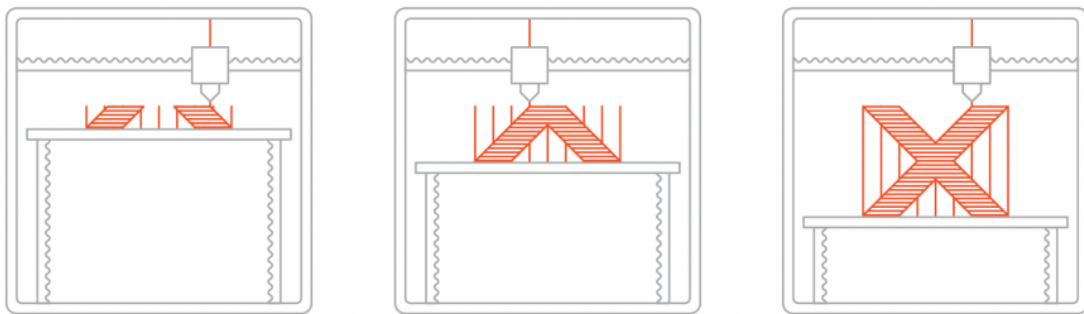


Рисунок 2.1 – Процес друку FDM технології

2.1.2 Характеристики FDM принтерів

Більшість систем FDM дозволяють регулювати кілька параметрів процесу друку. Такі як температура сопла, платформи, швидкість друку, висоту шару і швидкість вентиляторів охолодження.

Що важливо з точки зору моделювання, так це враховувати розмір столу і висоту шару самої деталі:

Стандартний розмір друкованої області настільного 3D-принтера зазвичай становить 200 x 200 x 200 мм, в той час як для промислових машин він може досягати 1000 x 1000 x 1000 мм. Якщо настільний 3D принтер краще

(наприклад, з міркувань економії), більшу модель можна розбити на більш дрібні частини і потім зібрати / склеїти.

Типова висота шару, яка використовується в FDM, варіюється від 50 до 400 мікрон і може бути визначена на етапі програмного слайсинга. Менша висота шару забезпечить більш гладку деталь і більш точно відобразить складну геометрію, в той час як велика висота шару, дає деталі роздрукувати швидше і з меншими витратами. Висота шару 150-200 мікрон є оптимальною по співвідношенню часу друку та її якості. [1]

2.1.3 Основні витратні матеріали FDM

Однією з сильних сторін FDM друку є широкий асортимент доступних матеріалів. Вони можуть варіюватися від звичайних пластиків (таких як PLA і ABS) до інженерних (таких як, TPU і PETG) і високоміцних матеріалів (таких як PEEK).

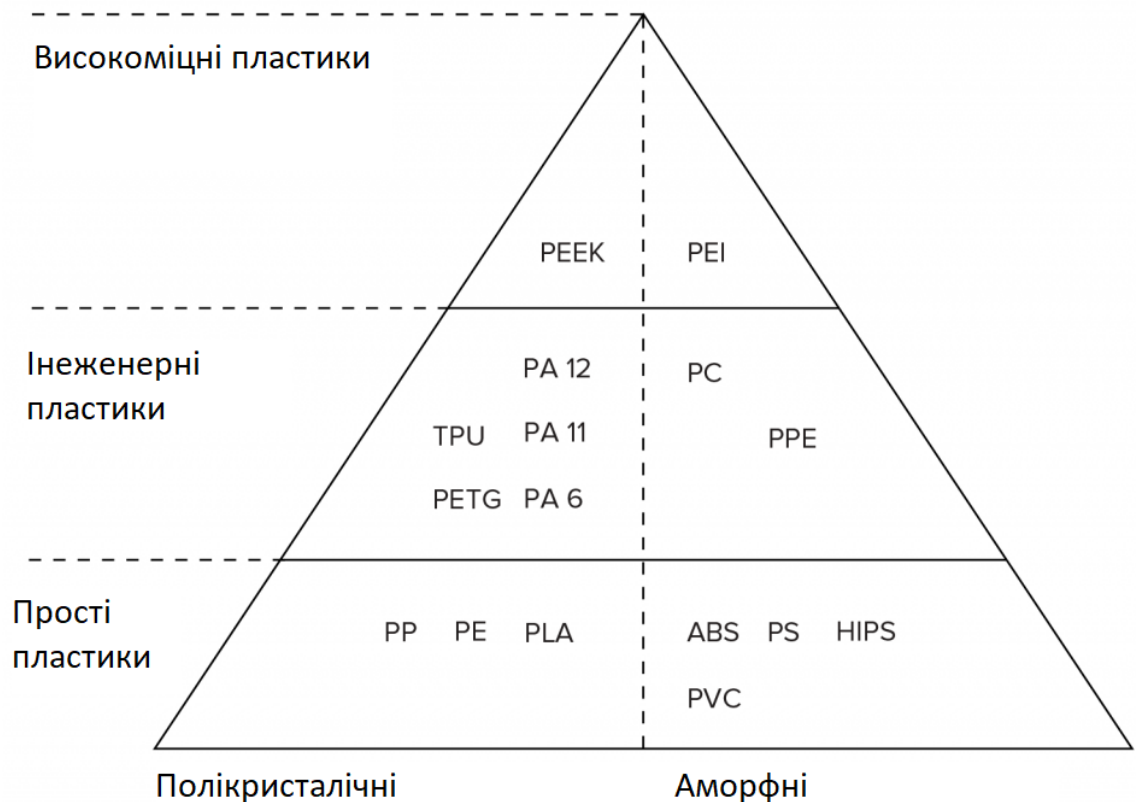


Рисунок 2.2 – Матеріали, найбільш доступні в FDM друку

Матеріал, що використовується безпосередньо впливає на механічні властивості і точність друку, а також на її ціну. Найбільш поширені матеріали FDM-друку наведені нижче. Так само розглянемо плюси і мінуси тих чи інших пластиків. Огляд основних відмінностей PLA і ABS, і докладний порівняння всіх поширених видів.

Таблиця 2.1 – Переваги та недоліки матеріалів для FDM-друку

Вид пластика	Переваги	Недоліки
ABS	Міцність, хороша термостійкість	Дає усадку при друку
PLA	Відмінна візуальна якість, легко друкувати, не шкідливий. Може контактувати з харчовими продуктами	Низька ударна міцність, недовговічність
Нейлон	Дуже висока міцність, відмінна зносостійкість і хімічна резистентність	Активно вбирає воду
PET-G	Не шкідливий. Може контактувати з харчовими продуктами, досить міцний	Потребує точних температурних налаштувань друку
TPU	Дуже гнучкий	Низький дозвіл друку
PEEK	Дуже міцний і легкий, відмінна вогнестійкість і хімічна резистентність	Висока ціна, потрібен спеціалізований 3D принтер, чий екструдер здатний досягти температур вище 300C

2.1.4 Пост-обробка

Деталі, отримані за технологією FDM можуть бути оброблені відповідно до високих стандартів. При використанні різних методів, таких як: шліфування, полірування, ґрунтовка, фарбування, холодне зварювання, ацетонова лазня (для згладжування поверхні і створення глянсової поверхні), епоксидне покриття і металізація.

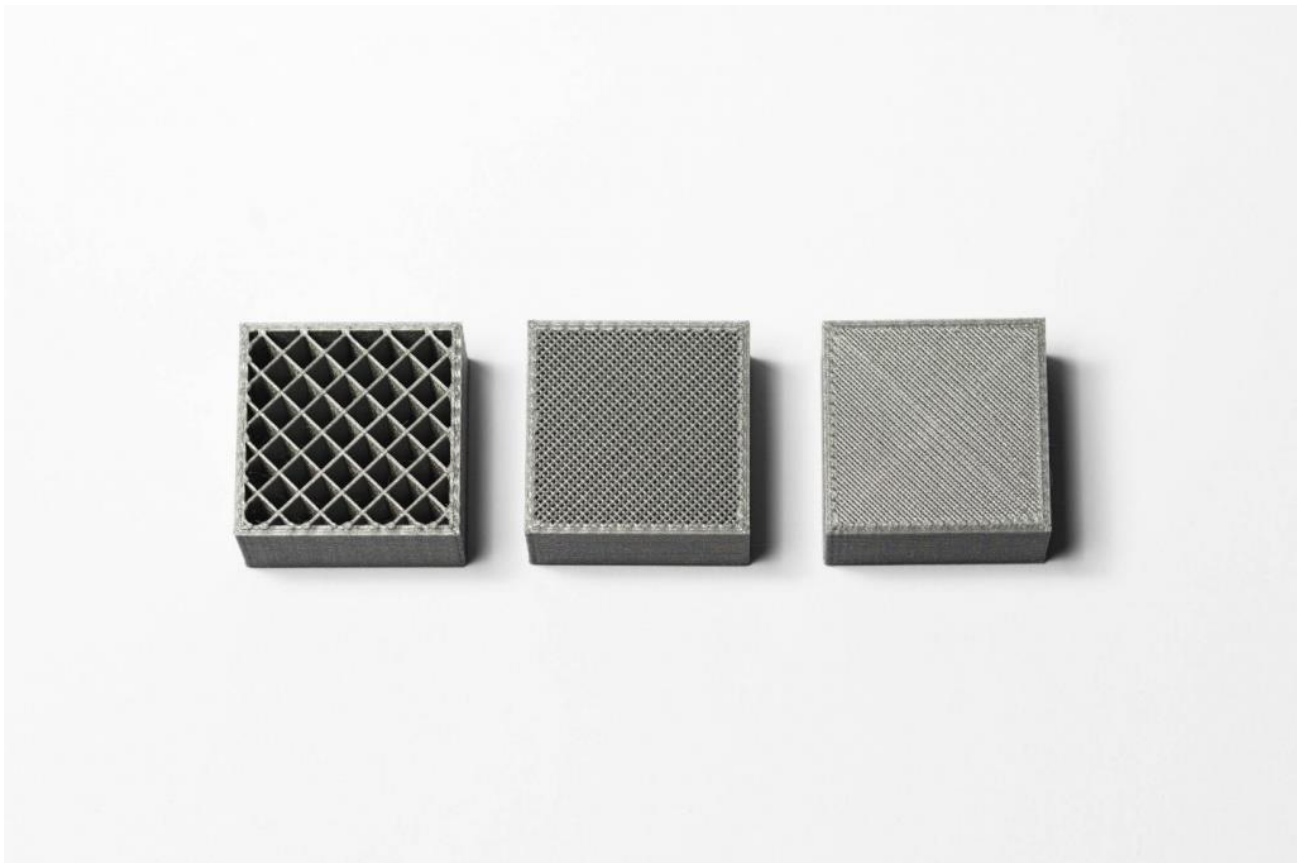


Рисунок 2.3 – 3D-об'єкт надрукований на 3D-принтері технології FDM

2.2 SLA (Stereo Lithography Apparatus)

Стереолітографія (SLA) - це процес адитивного виробництва, результат в якому досягається за допомогою полімеризації смоли. У SLA друку, об'єкт створюється шляхом селективного затвердіння полімерної смоли, шар за шаром, з використанням ультрафіолетового (УФ) лазерного променя.

Матеріали, використовувані в SLA друку, є світлочутливі термореактивні полімери, які випускаються в рідкій формі.

SLA відомий як перша технологія 3D-друку: її винахідник запатентував цю технологію ще в 1986 році. SLA надає можливість надрукувати деталі з дуже високою точністю або гладкою поверхнею. Найкращих результатів можна досягти, тільки в тому випадку, якщо оператор обладнання на якому відбувається процес друку, добре знайомий з технологією і деякими нюансами. Тобто має необхідну кваліфікацію.[3]

2.2.1 Процес друку за технологією SLA

- 1 У резервуарі з рідким фотополімером розміщується платформа, на одному рівні висоти від поверхні смоли.
- 2 Потім УФ-лазер за заздалегідь встановленим алгоритмом селективно отверждає необхідні ділянки фотополімерною смоли. Лазерний промінь фокусується на заданому шляху за допомогою набору дзеркал. Потім відбувається засвічення всієї площі поперечного перерізу моделі. Тому отримана деталь виходить повністю цілісна.
- 3 Коли один шар закінчений, платформа переміщається на безпечну відстань

Повторюється цей процес до тих пір, поки деталь не буде надрукована. Після друку деталь знаходиться в не зовсім отвержденном стані і вимагає подальшої обробки поста під УФ лампою. Після закінчення УФ засвічення деталь набуває дуже високі механічні і термічні властивості.

Рідка смола твердне за допомогою процесу, званого фотополімеризацією: під час затвердіння вуглецеві ланцюги мономера, з яких складається рідка смола, активуються під впливом ультрафіолетового лазера і стають твердими, створюючи міцні нерозривні зв'язки один з одним.

Процес фотополімеризації незворотній, і не існує способу перевести отримані деталі назад в рідкий стан. При нагріванні вони будуть горіти, а не плавитися. Це тому, що матеріали, які виробляються за технологією SLA, зроблені з термореактивних полімерів, на відміну від термопластів, які використовує FDM.

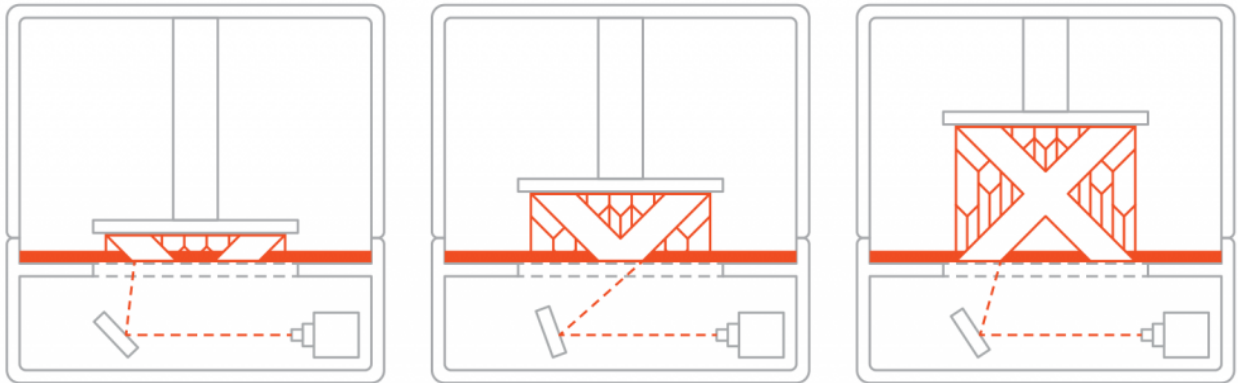


Рисунок 2.4 – Процес друку за технологією SLA

2.2.2 Схема роботи SLA принтера

У системах SLA більшість параметрів друку встановлюються виробником і не можуть бути змінені. Єдиними вхідними даними є висота шару і орієнтація деталі (останнє, визначає місце розташування підтримок).

Висота типового шару в SLA друку знаходиться в діапазоні від 25 до 100 мікрон.

Чим менше буде висота шару, тим більше точно буде видрукувана складна геометрія моделі, але разом з цим збільшиться час друку і ймовірність невдачі. Висота шару в 100 мікрон підходить для більшості поширених геометрій і є золотою серединою.

Ще один важливий параметр для оператора - розмір платформи. Він залежить від типу принтера SLA. Існує два основних типи: орієнтація зверху вниз і орієнтація від низу до верху.

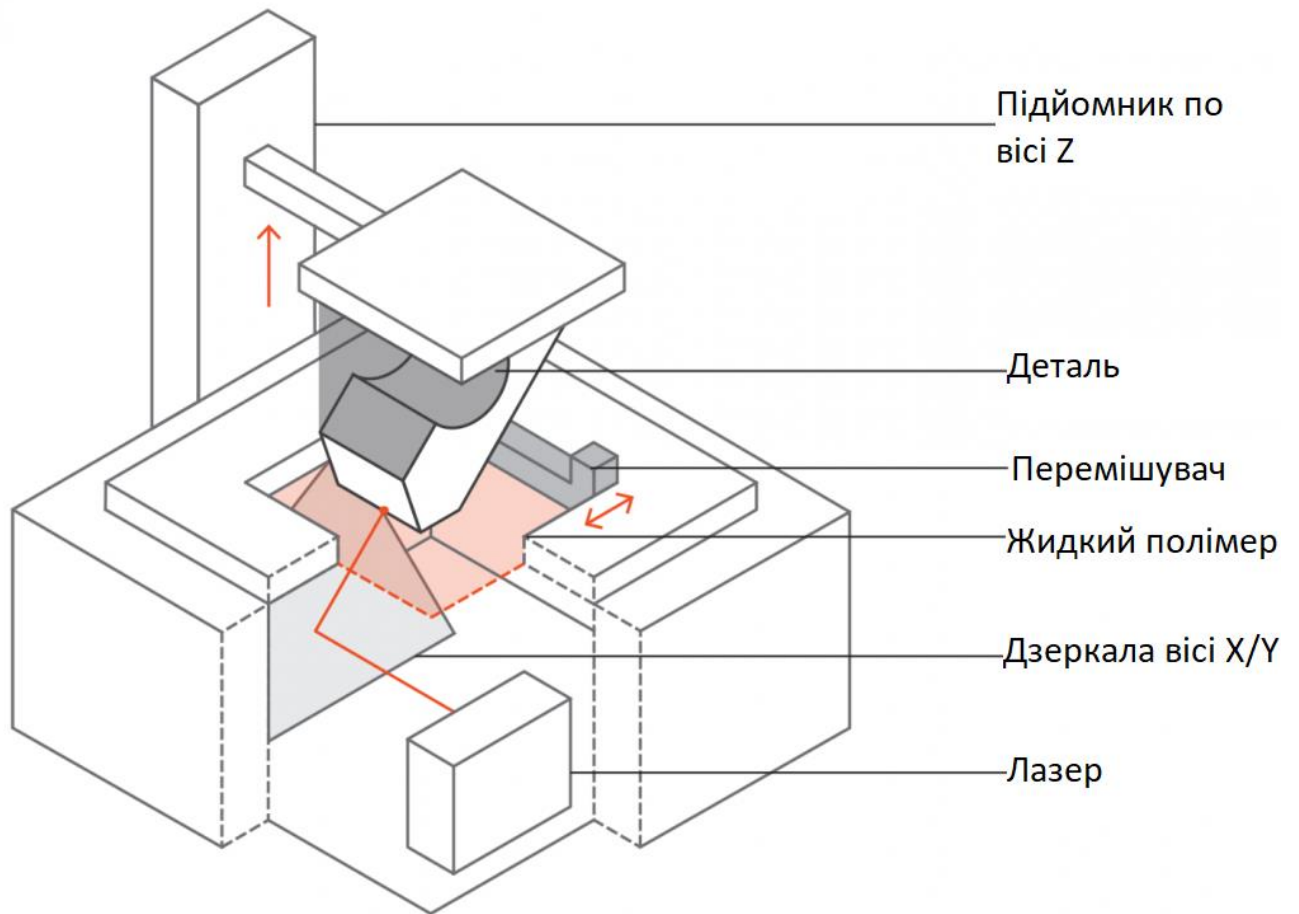


Рисунок 2.5 – Схема роботи SLA принтера

2.2.3 Схема SLA принтера з орієнтацією зверху вниз

При схемі «знизу вгору» на SLA принтерах, джерело світла розміщується під резервуаром зі смолою, і деталь будується знизу-догори.

Резервуар має прозоре дно з силіконовим покриттям, яке пропускає промінь світла, але перешкоджає прилипанню отвержденной смоли. Після кожного шару Затверділа смола відділяється від дна резервуара, коли платформа рухається вгору. Це називається етапом спікання.

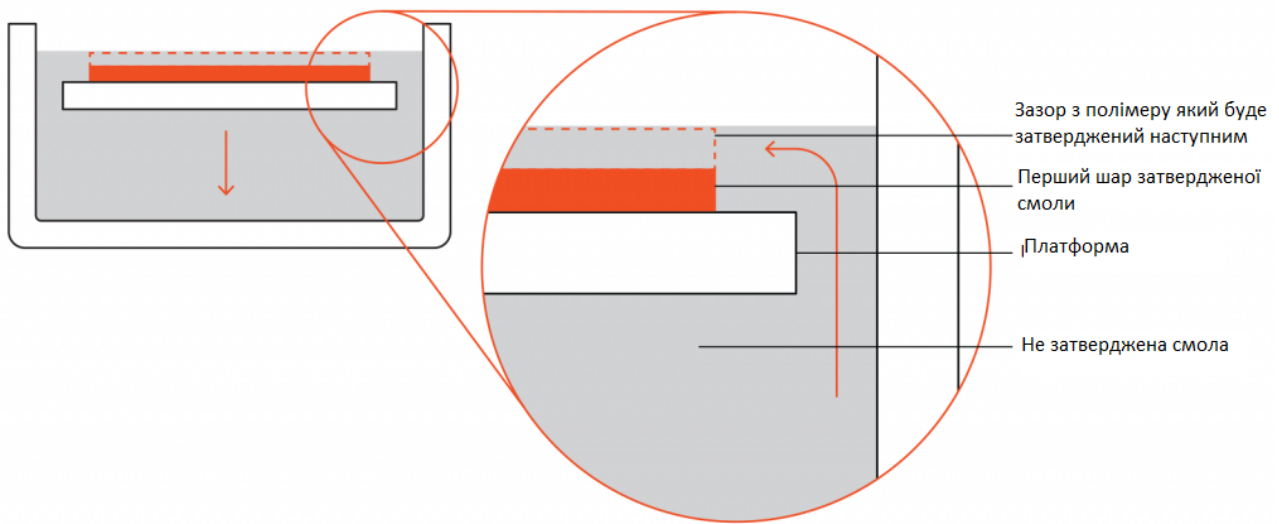


Рисунок 2.6 – Схема SLA принтера з орієнтацією зверху вниз

Таблиця 2.2 – Переваги та недоліки схема SLA принтера з орієнтацією зверху вниз.

Переваги	Недоліки
Більш низька вартість	Малий розмір платформи
Широка доступність на ринку	Замалий асортимент матеріалів
	Вимагає додаткової пост-обробки через обширне використання підтримок

2.2.4 Схема SLA принтера з орієнтацією від низу до верху

Орієнтація «знизу вгору» в основному використовується в настільних принтерах, таких як Formlabs. Орієнтація «зверху вниз» застосовується в промислових SLA принтерах.

Принтери SLA «знизу вгору» простіше у виготовленні і експлуатації, але розмір можливої друку буде менше, так як сили, прикладені до деталі на етапі спікання, можуть привести до збою друку.

Принтери же з орієнтацією «зверху вниз» можуть друкувати деталі дуже великих розмірів, без великої втрати в точності. Широкі можливості таких систем обходяться дорожче.

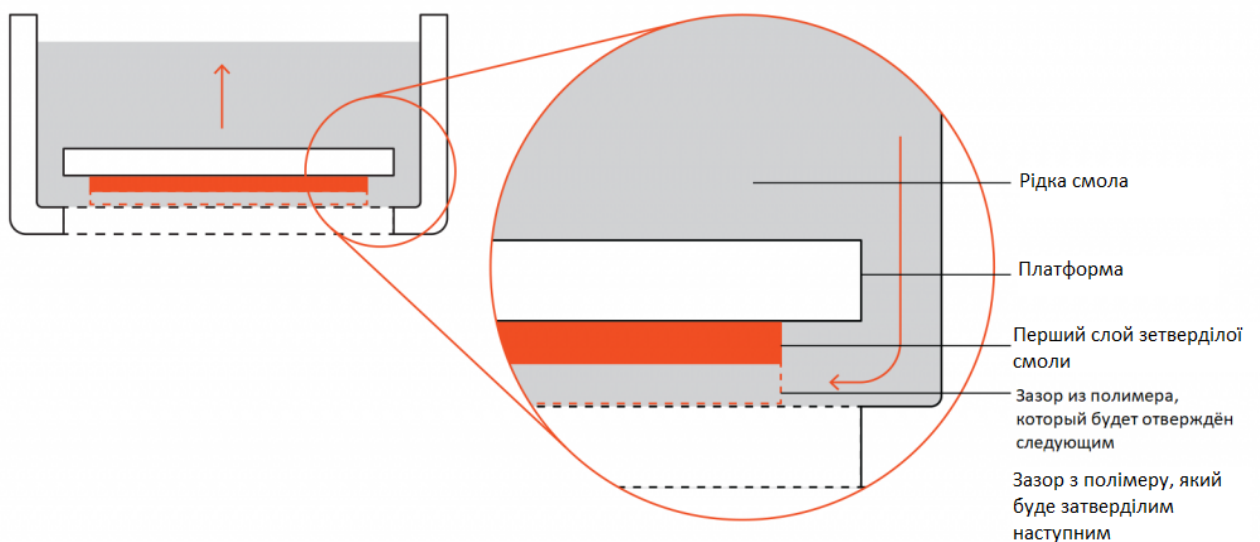


Рисунок 2.7 – Схема SLA принтера з орієнтацією від низу до верху

Таблиця 2.3 – Недоліки та переваги схеми SLA принтера з орієнтацією від низу до верху.

Переваги	Недоліки
Великий розмір платформи	Висока вартість
	Необхідність в кваліфікованому фахівцю-оператору
	Зміна матеріалу передбачає спорожнення всього бака

2.2.5 Матеріали для SLA друку

Матеріали для SLA друку випускаються в формі рідкої смоли. Ціна за літр смоли сильно варіюється - від 50 доларів за стандартний матеріал до 400 доларів за спеціальні матеріали, такі як ливарна або зубна смола.

Промислові системи пропонують більш широкий спектр матеріалів, ніж настільні SLA-принтери, які дають інженеру більш строгий контроль над механічними властивостями друкованої частини.

Матеріали SLA (термореактивні матеріали) є більш крихкими, ніж матеріали, виготовлені з використанням FDM або SLS (термопластів), і з цієї причини деталі SLA зазвичай не використовуються для функціональних прототипів, які будуть піддаватися значному навантаженню. Однак нові досягнення в розробці матеріалів можуть змінити це в найближчому майбутньому. [8]

Таблиця 2.4 – Недоліки та переваги матеріалів для SLA друку

Матеріал	Переваги	Недоліки
Стандартна смола	Гладка поверхня	Замала міцність деталі
Прозора смола	Прозорий матеріал	Вимагає подальшої обробки для презентабельного вигляду
Ливарна смола	Використовується для створення шаблонів прес форм	Виликий відсоток золи після вигорання
Жорстка або міцна смола	ABS-подібні або PP-подібні механічні властивості	Низький тепловий опір
Високотемпературна смола	Висока термостійкість	Висока ціна
Стоматологічна смола	- Біосумісна - Висока стійкість до стирання	Висока ціна
Резино-подібна смола	Резино-подібний матеріал	Низька точність при друку

2.2.6 Пост-обробка SLA 3D друку

Деталі надруковані по SLA технології, можуть бути оброблені якісно, з використанням різних методів, таких як шліфування та полірування, фарбування і обробка мінеральним маслом.



Рисунок 2.8 – Пост-обробка надрукованого SLA 3D-об'єкта

2.3 SLS (Selective Laser Sintering)

Селективне лазерне спікання (SLS) - це процес адитивного виробництва, що відноситься до широкого сімейства методів синтезу на підкладці. В технології SLS лазери вибірково спікають частки полімерного порошку, сплавляючи їх один з одним і тим самим створюючи шар за шаром. Матеріал для побудови 3D-об'єкта використовують гранульовані термопластичні полімери.

2.3.1 Процес друку методом SLS

- Камера з порошком, як і вся область друку нагрівається трохи нижче температури плавлення полімеру, після чого компенсаційне лезо розподіляє тонкий шар порошку по робочій платформі.
- CO₂-лазер сканує контур наступного шару і вибірково спікається частки порошку полімеру. Поперечний переріз компонента сканується (спікається) повністю, тому деталь виходить монолітною.
- Коли шар завершений, робоча платформа рухається вниз, і лезо знову покриває порошком поверхню.

- Процес повторюється до тих пір, поки вся деталь не буде готова.

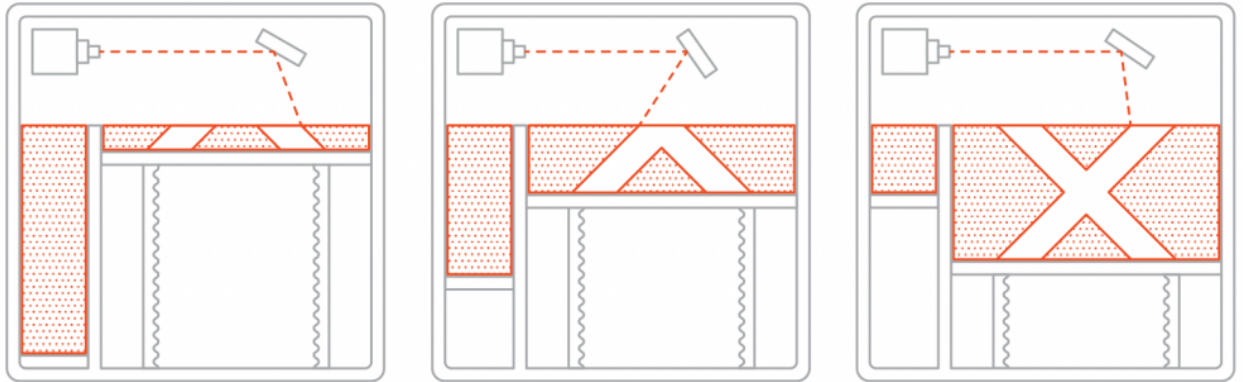


Рисунок 2.9 – Процес друку методом SLS

Після друку деталь повністю герметизується в не спеченому порошку, тому перед тим, як її діставати, камера і порошок повинні охолонути. Охолодження може займати значну кількість часу, аж до 12 годин. Потім виготовлена деталь очищається від залишків порошку стисненим повітрям. Не спечений порошок збирається для подальшого повторного використання.

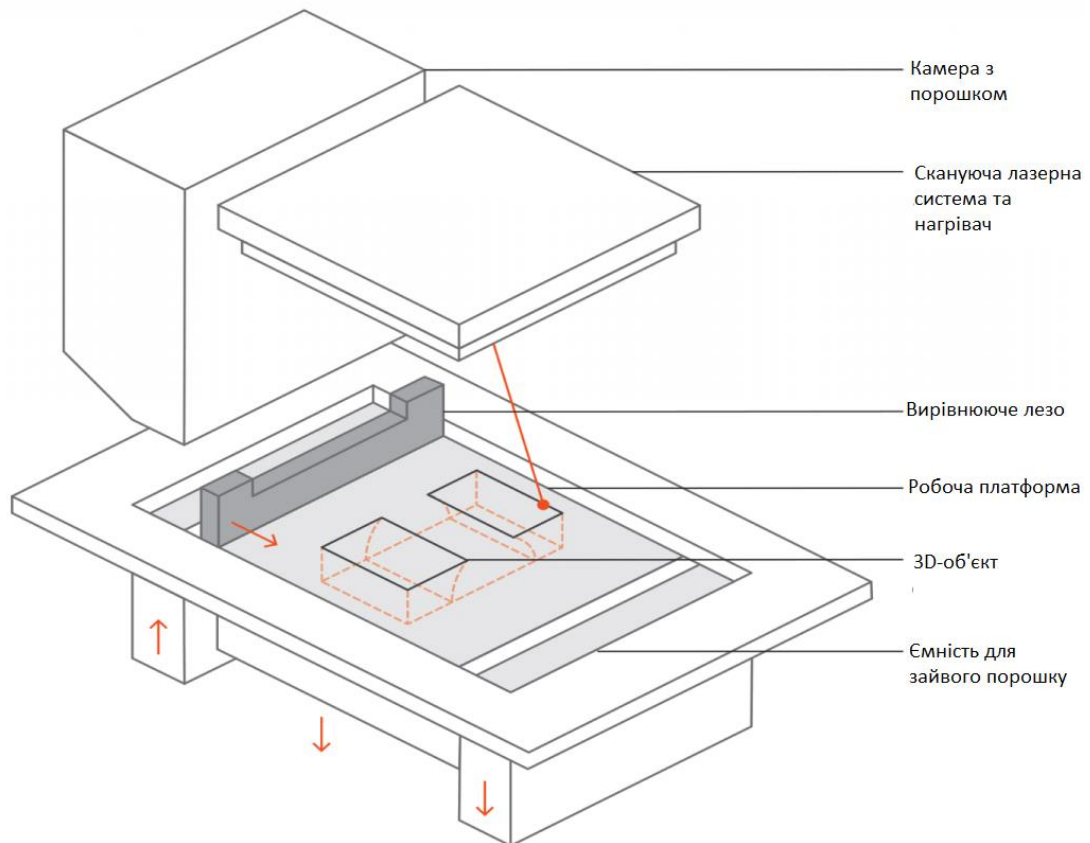


Рисунок 2.10 – Схема SLS 3D-принтера

2.3.2 Матеріали для SLS-друку

Найбільш широко використовуваним матеріалом для SLS є поліамід 12 (PA 12), також відомий як нейлон 12. На даний момент матеріалів з різними властивостями для SLS 3D-друку з кожним днем стає все більше, наприклад еластичні полімери представлені TPE порошком і його аналогами. Інші технічні термопласти, такі як PA11 і PEEK, так само доступні, але не так широко використовуються.

Порошок поліаміду може бути доповнений різними добавками (такими як вуглецеві волокна, скловолокно або алюміній) для поліпшення механічних і термічних властивостей друкованої деталі. Матеріали, доповнені добавками, зазвичай більш крихкі і мають більш високу анізотропність. [6]

Таблиця 2.5 – Характеристики метеріалів для SLS-друку

Матеріал	Характеристики
Поліамід (PA-12)	- Гарні механічні властивості - Висока хімічна стійкість - Матова поверхня
Поліамід (PA-11)	- Повністю анізотропна поведінка - Висока еластичність
Алюмінієвий нейлон	- Металевий зовнішній вигляд - Висока жорсткість
Скляний нейлон (PA-GF)	- Висока міцність та термостійкість - Анізотропна поведінка - Висока жорсткість
Нейлон з вуглеводним волокном(PA-FR)	- Гарне співвідношення ваги та міцності - Висока анізотропність

2.3.3 Пост-обработка

3D-принтер з SLS технологією виробляє деталі з порошкоподібної, зернистою поверхнею, яка легко забарвлюється. Зовнішній вигляд надрукованих деталей SLS може бути поліпшений до дуже високого стандарту з використанням різних методів подальшої обробки, таких як: полірування, класичне забарвлення, забарвлення розпиленням і лакування. Їх функціональність також може бути удосконалена шляхом нанесення водонепроникного покриття або металевого покриття.



Рисунок 2.11 – 3D-об'єкт надрукований на 3D-принтері технології SLS

2.4 Порівняльний аналіз технологій 3D-принтерів

В якості критеріїв для порівняння технологій 3D-друку доцільно використовувати такі показники: вартість пристроїв 3D-друку, точність друку,

використовувані для 3D-друку матеріали, максимальний розмір друкованої деталі, швидкість друку, необхідність в постобробці надрукованого виробу.

Проаналізувавши наукові роботи, присвячені огляду технологій 3D-друку, був зроблений висновок, що на сьогоднішній день найпоширенішими технологіями 3D-друку є FDM, SLA, і SLS.

FDM – (Fused Deposition Modeling, моделювання методом пошарового наплавлення) - дана технологія створює моделі шляхом пошарового нанесення розплавленого матеріалу. Сама технологія широко поширена на сьогоднішній день, завдяки низькій вартості друкуючих пристроїв і відносно невисокій вартості використовуваних матеріалів. Крім низької вартості, до плюсів даної технології можна віднести великий асортимент матеріалів для друку. Крім твердих пластиків, це також можуть бути гнучкі матеріали, наприклад нейлон, різних кольорів. Крім того, в рамках цієї технології не критично обмеження щодо максимального розміру друкованої деталі - існують принтери, здатні надрукувати деталь до 3,5 метрів в довжину.

Недоліки даної технології починаються з низькою швидкості друку, так як для друку кожного шару друкуюча головка принтера повинна послідовно нанести розплавлений матеріал на всю площину зрізу деталі. Найбільшим мінусом технології є точність, тобто відповідність надрукованій деталі її 3D-моделі. Дозвіл друку за даною технологією обмежена товщиною друкованого шару, яка може перебувати в межах від 0,028 до 0,3 мм. Крім того, друк цим методом може мати дефекти, наприклад, викривлення деталі внаслідок нерівномірного охолодження, і деформація шарів через недостатньо швидкого охолодження надрукованого матеріалу. В зв'язку з низькою точністю друку за цією технологією, видрукованої деталі майже завжди необхідна постобробка, а саме видалення підтримуючого матеріалу, і шліфування деталі.

SLS – (Selective Laser Sintering, вибіркове лазерне спікання) - технологія, заснована на послідовному спіканні порошкового матеріалу за допомогою

лазера високої потужності. До недавнього часу принтери, які друкують за технологією SLS, випускалися тільки для промислової сфери застосування, однак, у зв'язку з висококонкурентною ситуацією на ринку патентів цієї технології, в даний момент активно з'являються у продажу SLS-принтери для домашнього використання. Дозвіл друку обмежена тільки діаметром лазерного променя і розміром частинок спекаемого порошку, як правило, воно в межах від 10 до 100 мкм, в підпорах немає необхідності, так як в ролі підтримуваної конструкції виступає сам порошок, в якій знаходиться деталь. При проектуванні виробів єдиним обмеженням є неможливість створювати порожні деталі без отворів, так як в такому випадку видалення порошку з цієї порожнини стане неможливим.

Після завершення друку виробу може знадобитися шліфування поверхні, так як, хоча вона набагато більш гладка, ніж при FDM друку, присутність шорсткості, обумовлена розміром частинок самого запікаємо порошку. Порошок що залишився можна використовувати повторно.

Порошок для друку за цією технологією, в основному орієнтовані на досягнення таких якостей, як міцність і надійність, прикладами же еластичних матеріалів можуть послужити нейлон, а також матеріал TPU 92A-1 і DuraForm Flex. Правда, ці матеріали виробляються тільки в білому або чорному кольорі, тому при необхідності надати виробу інший колір, його доведеться пофарбувати.

SLA (Stereolithography, стереолітографія) - технологія виробництва виробів з рідких фотополімерних смол. Затвердіння смоли відбувається за рахунок опромінення ультрафіолетовим лазером.

Товщина шару при друку за цією технологією може досягати 1 мкм. Принтери з такою точністю зазвичай використовують в ювелірній справі і стоматології, ці принтери дозволяють надрукувати ідеально гладку поверхню, для постобробки необхідно лише промити виріб в розчиннику, щоб очистити його від рідкого фотополімеру. Великими недоліками цієї технології

є зовсім невелика область друку, 20 см по одній стороні максимум, і необхідність використовувати підтримуючі конструкції.

Швидкість друку становить 70 см / год. Така висока швидкість обумовлюється зведеним до мінімуму використанням механічних приводів. Рідкі полімери для друку виробляються також з різноманітними властивостями, як жорсткими, так і гнучкими, так само різних кольорів, які можна змішувати між собою, отримуючи велику кількість нових відтінків. Також не треба забувати, що деякі з полімерів можуть бути токсичними.[2]

Результат проведеного порівняльного аналізу можна представити у вигляді таблиці.

Таблиця 2.6 – Порівняльний аналіз технологій 3D-друку

Критерій	FDM	SLS	SLA
Вартість 3D-принтера, т.грн	7 - 300	100 - 25000	120 - 1000
Точність друку	Найвищий дозвіл друку, необхідні підпорки	Великий дозвіл друку, Відсутність підпорок	Низький дозвіл друку, необхідні підпорки, великі обмеження в геометрії, можливі дефекти при друку
Матеріали друку	Еластичні матеріали, велика кольорова палітра	Еластичні матеріали, Білого та чорного кольору	Еластичні матеріали, Велика кольорова палітра
Максимальний розмір друкуючого виробу	3,5 м	75 см	20 см
Швидкість	20 см ³ /г	10-50см/г	70 см/г
Обробка деталі	Необхідна ретельна обробка	Необхідне шліфування і фарбування	Необхідне видалення підпорок

Можна зробити висновок, що з представлених технологій 3D-друку, оптимальною для створення 3D виробів є технологія FDM. 3D-принтери цієї технології мають гарну точність друку, широкими можливостями друку виробів з дрібними деталями і складною геометрією, не потребують трудомісткої постобробці.

Технологія SLS також може застосовуватися для створення 3D виробів, через низьку вартість принтера і великого вибору матеріалів для друку, але можливості проектування 3D-моделі для друку в такому випадку будуть сильно обмежені, а також створення виробів займає дуже багато часу за рахунок повільного друку і тривалої обробки деталі.

SLA-технологія виглядає найменш вдалою для застосування в створенні 3D-виробів, так як, маючи досить високу вартість, має істотні обмеження у вигляді необхідності створювати підтримуючі конструкції, і малу область друку.[4]

Висновки до другого розділу

Під час аналізу технологій 3D-друку зроблено порівняння технологій тривимірного друку таких як Fused Deposition Modeling, Selective Laser Sintering та Stereo Lithography Apparatus.

Fused Deposition Modeling – процес адитивного виробництва, який реалізовується завдяки екструзії матеріалів. У FDM, об'єкт будується шляхом нанесення розплавленого матеріалу за заздалегідь встановленим алгоритмом, шар за шаром. У SLA друку, об'єкт створюється шляхом селективного затвердіння полімерної смоли, шар за шаром, з використанням ультрафіолетового (УФ) лазерного променя. В технології SLS лазери вибірково спікають частки полімерного порошку, сплавляючи їх один з одним і тим самим створюючи шар за шаром

Ці технології добре себе зарекомендували в сфері прототипування. FDM пропонує розробникам високий дозвіл друку та низьку вартість матеріалу для друку. SLA має сильні позиції на ринку 3D-друку, основні переваги це використання еластичних матеріалів та велика кольорова палітра для тривимірного друку. SLS дає можливість не використовувати підпорки для 3D-деталі, та виконує тривимірний друк з високим дозвілом.

Отже під час вибору технології тривимірного друку в першу чергу потрібно проаналізувати всі переваги та недоліки 3D-принтерів та затребуваність технології на ринку 3D-друку

В результаті проведення аналізу сучасних технологій 3D-друку та порівняння даних технологій, з метою розробки побудови та аналізу її роботи виберемо технологію FDM (Fused Deposition Modelin). Цей вибір обґрунтований тим, що технологія FDM є найбільш адаптована для розробки 3D-моделей в інженерних цілях на стадії прототипування, при мінімальних затратах на конструювання 3D-принтера, а саме така технологія є єдиною доступною при виконанні цієї дипломної роботи.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ 3D-ПРИНТЕРА

В даній главі представлено вибір та технічний огляд електронних систем 3D-принтера. Проведено моделювання систем 3D-принтера та принцип його роботи.

3.1 Аналіз електронних систем принтера тривимірного друку

Електронна система 3D-принтера складається з таких електронних частин як:

- Керуюча плата
- Плата розширення
- Кроковий двигун
- Драйвер крокового двигуна
- Нагрівальний стіл
- Термістор
- Кінцевий вимикач
- Екструдер
- LCD дисплей
- Блок живлення

В даному розділі змоделюємо електронну систему 3D-принтера. Розглянемо та оберемо кожен електронну частину для електронної системи 3D-принтера. Також розглянемо варіанти підключення електронних систем принтера для тривимірного друку.

3.1.1 Вибір керуючої плати

3D-принтер – це прилад з цифровим програмним управлінням, який використовує метод пошарового створення деталей. 3D-друк - це тип

виробництва деталей і, як правило, є інструментом швидкого прототипування. 3D-друк може бути виконаний різними способами та з використанням різних матеріалів, але в основі будь-якого з них лежить принцип пошарового створення (««виращування») твердого предмета. Необхідно забезпечити високу надійність, швидкість і точність обробки G-коду, а також необхідно вибрати надійну високошвидкісну материнську плату для обробки цих операцій. Основою для будь-якого 3D-принтера є плата управління.

Даний 3D принтер буде побудований на платах управління Arduino Mega 2560 та на платі розширення Ramps 1.4 [5]

3.1.1.1 Технічний опис керуючої плати Arduino Mega 2560

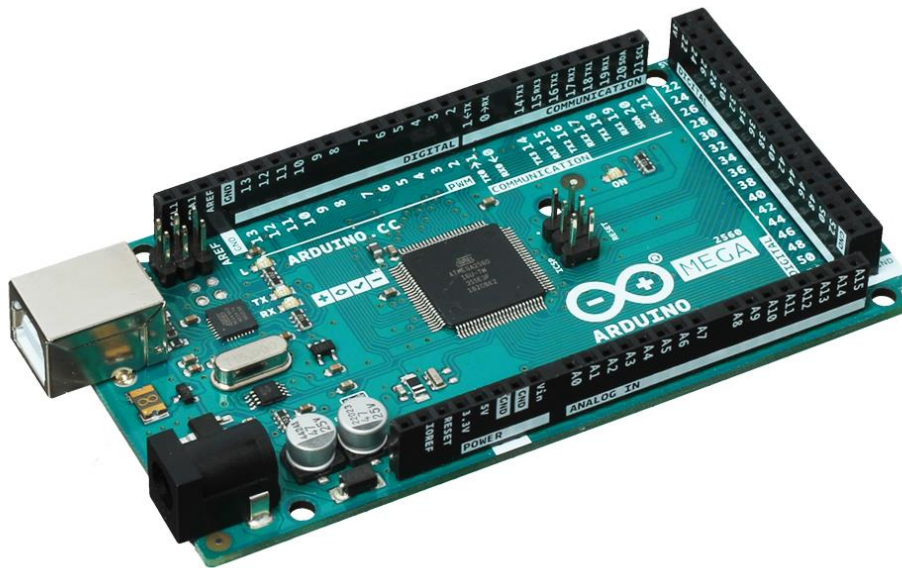


Рисунок 3.1 – Arduino Mega 2560

Керуюча плата має 54 порта введення виведення, 15 з яких можуть працювати, як джерело ШІМ сигналу, для плавного регулювання потужності, струму, швидкості, яскравості, та мають можливість регулювання за допомогою широтно-імпульсної модуляції Плата керування має 16 аналогових портів які

можуть обробляти сигнали з датчиків та використовуватися, як цифровий вихід.

Для зв'язку між різними пристроями передбачено цілих 4 UART інтерфейсу, в їх ролі виступають виводи 0, 1, 14-19. Один з портів спрямований на USB через мікроконтролер ATmega8U2 який досконаліший за попередню версію USB-TTL контролера, а його програмне забезпечення доступне для вільного користування. Для зв'язку з різними дисплеями та іншими пристроями передбачені SPI і I2C технології.

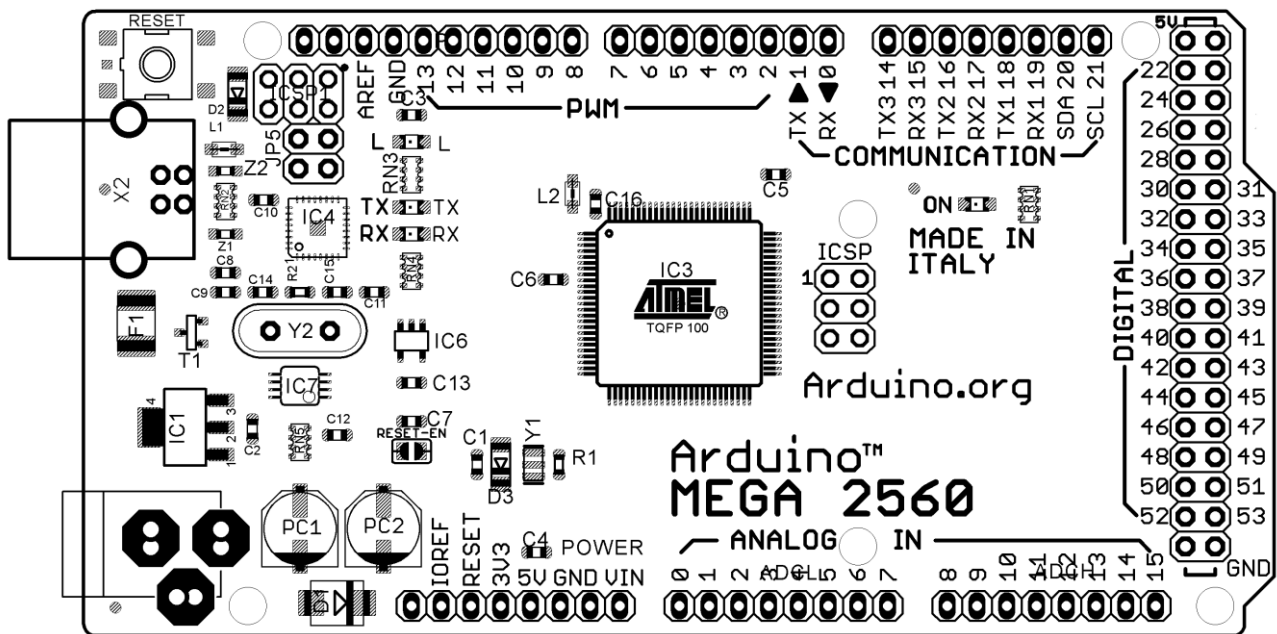


Рисунок 3.2 – Монтажна схема Arduino Mega 2560

Зовнішнє живлення подається через блок живлення. Перетворювач напруги або акумулятор підключається за допомогою роз'єму 2.1 мм. Батарея підключаються до виходів Gnd і Vin роз'єму живлення (POWER).

Платформа працює при зовнішньому живленні при напруги 6 В до 12 В. При напругі менше 5 В, платформа може працювати нестабільно. При подачі напруги вище 12В регулятор (напруги) може перегрітися і пошкодити плату.

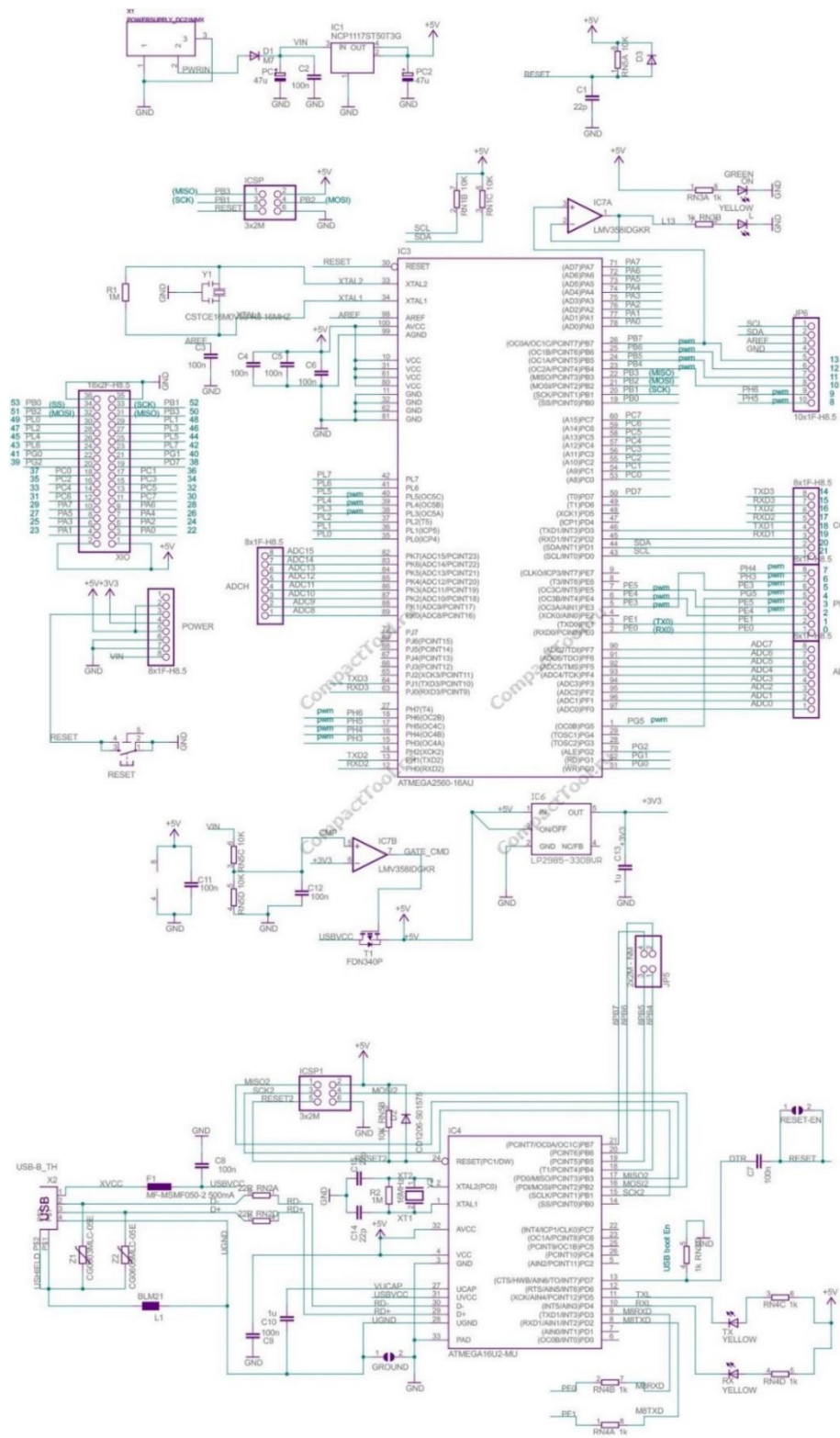


Рисунок 3.3 - Принципова схема Arduino Mega 2560

Atmega2560 - це дуже потужний чіп. У розпорядженні розробника 256 кб Flash-пам'яті (в Ардуіно 8 кб займає завантажувач), 8 кб SRAM і 1 кб EEPROM. Працює Ардуіно на частоті 16 МГц, як і молодші плати - UNO.

Живлення плати може здійснюватися як від круглого роз'єму живлення 2.1 мм з плюсом по центру, так і від USB порту, джерело вибирається автоматично.[7]

3.1.1.2 Входи і виходи керуючої плати

Кожен з 54 цифрових пінів на керуючій платі може працювати в режимі входу або виходу, використовуючи функції pinMode, digitalWrite і digitalRead. Виходи працюють при 5В. Кожен пін може віддати або прийняти максимум 40 мА і має внутрішній резистор 20-50 кОм (відключений за замовчуванням). Плюс до цього, деякі виводи мають спеціальні функції:

- Serial: 0 (RX) і 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) і 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) і 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) і 14 (TX) - Для відправки даних по послідовному порту з рівнями TTL-логіки використовується RX, для отримання - TX. Піни 0 і 1 також підключені до відповідних виводів мікросхеми перетворювача USB-to-TTL ATmega16U2.
- PWM: з 2 по 13 і з 44 по 46 - Забезпечують вихід 8-бітного ШІМ-сигналу, використовуючи функцію analogWrite.
- SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) - Ці Піни підтримують передачу даних по SPI, використовуючи бібліотеку SPI. Піни SPI також можуть бути виведені на блок ISCP, який на фізичному рівні сумісний з Uno, Duemilanove і Diecimila.
- LED: 13. Це вбудований в плату світлодіод, який підключений до 13 виводу. При значенні HIGH на виведенні, світлодіод включається, при LOW - вимикається.

- TWI (I2C): 20 (SDA) і 21 (SCL). Забезпечує з'єднання по протоколу I2C, використовуючи бібліотеку Wire.

3.1.1.3 Зв'язок керуючої плати з ПК

Керуюча плата Arduino здійснює зв'язок з комп'ютером, та платами розширення функціоналу. Мікроконтролер ATmega2560 має чотири передатчика даних UART для роботи послідовних інтерфейсів (з логічним рівнем TTL 5В). Функціонал мікросхеми ATmega8U2 на керуючій платі забезпечує зв'язок одного із передатчиків даних UART з USB-портом комп'ютера і при підключенні до ПК керуюча плата визначається як віртуальний COM-порт. Також в пакет програмного забезпечення Arduino входить програма SerialMonitor, яка зчитує та відправляє на керуючу плату текстові дані. При передачі даних на керуючу плату через мікросхему ATmega8U2 під час USB- підключення з комп'ютером будуть працювати індикаторні діоди RX і TX.

Бібліотека SoftwareSerial здійснює послідовну передачу даних на будь-яких цифрових виводах Arduino ADK.

В мікроконтролері ATmega2560 реалізована підтримка послідовних інтерфейсів TWI та SPI. В програмне забезпечення Arduino входить бібліотека Wire, що підтримує роботу з шиною TWI;

USB-хост, реалізований з підтримкою мікросхеми MAX3421E, дозволяє Arduino ADK взаємодіяти з будь-якими типами USB-пристроїв.

3.1.1.4 Програмування мікроконтроллера

Керуюча плата програмується за допомогою середовища розробки Arduino IDE. Мікроконтролер ATmega2560 має записаний завантажувач, що

спрощує процедуру запису нових програм без використання зовнішніх програматорів. Зв'язок здійснюється через оригінальний протокол STK500.

Також можливо не використовувати програматори і запрограмувати мікроконтролер через вивід блоку ICSP.

Контролер ATmega8U2 має власний DFU програматор, який може бути активований замиканням контактів що перезавантажує керуючу плату.

3.1.1.5 Фізичні характеристики та сумісність з платами розширення

Розміри керуючої плати Mega2560 становлять 10,2 і 5,3см (довжина і ширина). Силовий роз'єм і роз'єм USB виходять за межі цих розмірів. Три отвори в платі дозволяють закріпити керуючу плату на будь яку поверхню. Відстань між цифровими виводами 7 і 8 становить 0,4 см, між іншими виводами становить 0,25 см.

Керуюча плата Arduino Mega2560 сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Duemilanove або Diecimila, Uno

3.1.2 Плата розширення RAMPS 1.4

RAMPS - RepRap Arduino Mega Pololu Shield. RAMPS 1.4 це Шилд (надбудова) для Arduino MEGA 2560. Встановлюється поверх Arduino MEGA 2560 Все підключення, крім USB, здійснюються через неї. Живлення 12В на Arduino MEGA 2560 подається через RAMPS 1.4.

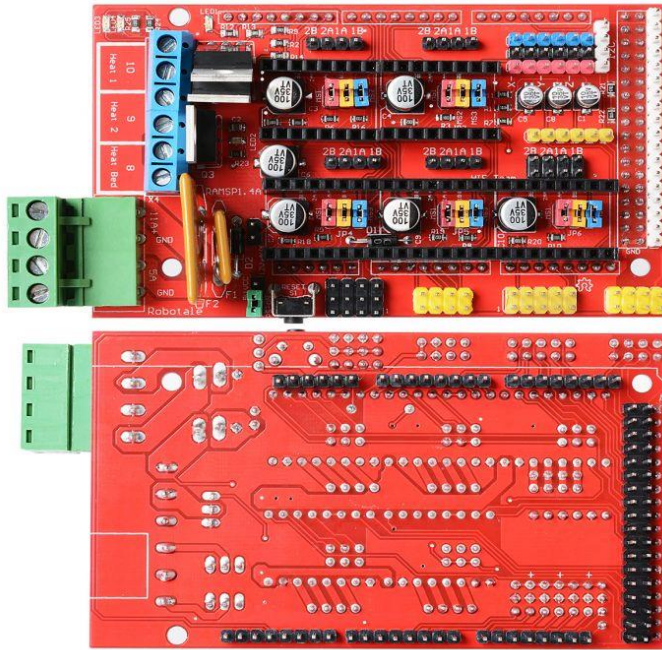


Рисунок 3.4 - Плата розширення RAMPS 1.4

Можна підключати два блоки живлення:

- 11A - на стіл,
- 5A - на все інше

Плюси, через запобіжники йдуть на клеми вентилятора (D9 5A), нагрівача хотенда (D10 5A) і столу (D8 11A). Управління здійснюється через мінус (GND)

живлення Arduino MEGA 2560 йде від RAMPS

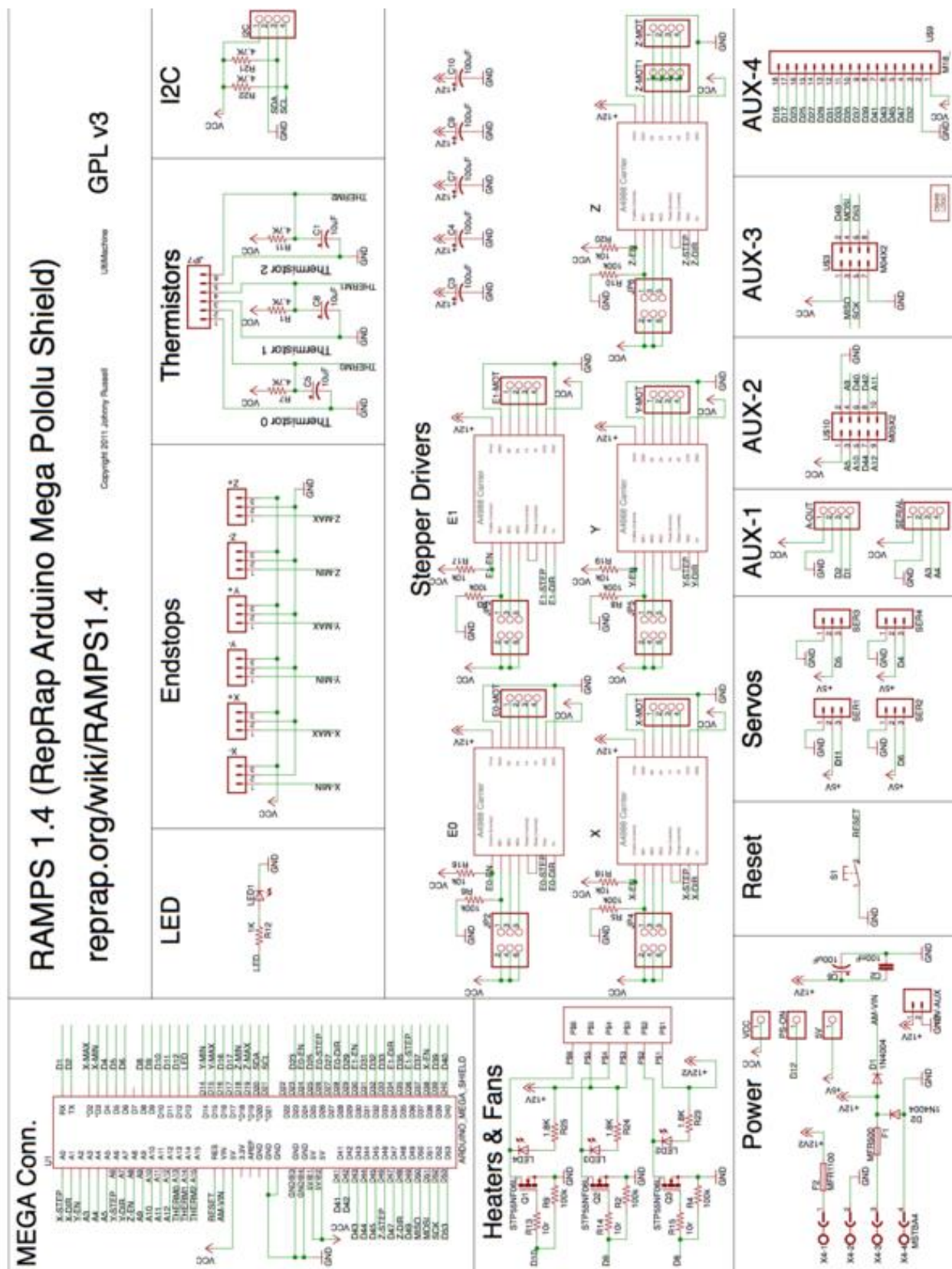


Рисунок 3.5 - Принципова схема RAMPS 1.4

3.1.3 Аналіз і вибір крокового двигуна та драйвера управління, для моделювання електронних систем 3D-принтера

Кроковий двигун - це мотор, що переміщає свій вал в залежності від заданих в програмі мікроконтролера кроку і напрямку. Великою перевагою крокових двигунів над двигунами постійного обертання є забезпечення точного кутового позиціонування ротора. Також в крокових двигунах є можливість швидкого старту, зупинки, реверсу.

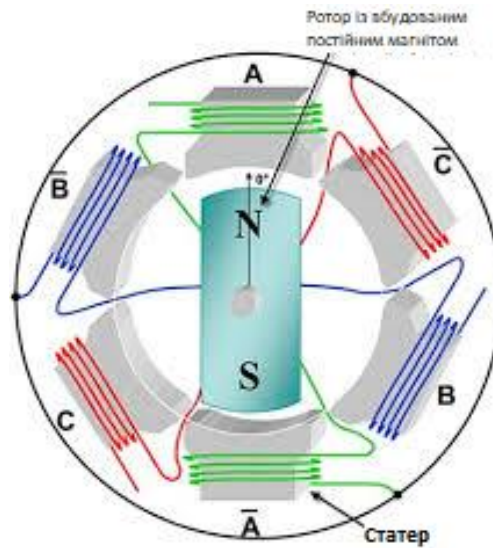


Рисунок 3.6 – Робота крокового двигуна

Кроковий двигун забезпечує обертання ротора на заданий кут при відповідному керуючому сигналі. Завдяки цьому можна контролювати стан вузлів механізмів і виходити в задану позицію. Робота двигуна здійснюється наступним чином - в центральному валу є ряд магнітів і кілька котушок. При подачі живлення створюється магнітне поле, яке впливає на магніти і змушує вал обертатися. Такі параметри як кут повороту (кроки), напрямок руху задаються в програмі для мікроконтролера.

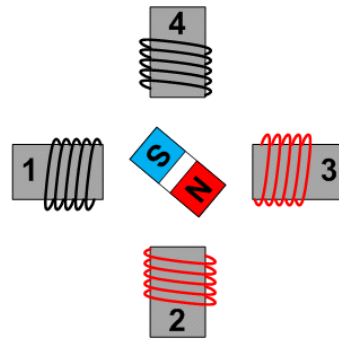
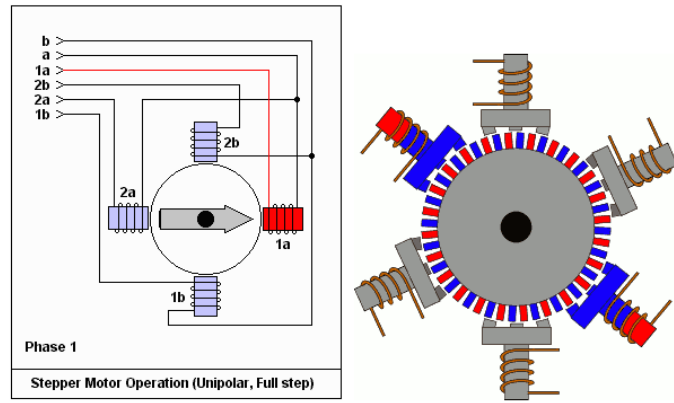


Рисунок 3.7 - Схема роботи крокового двигуна, фаза 1

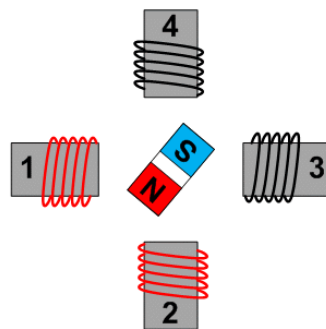
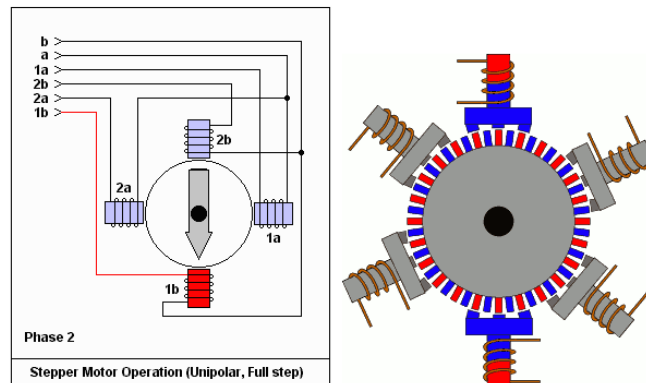


Рисунок 3.8 - Схема роботи крокового двигуна, фаза 2

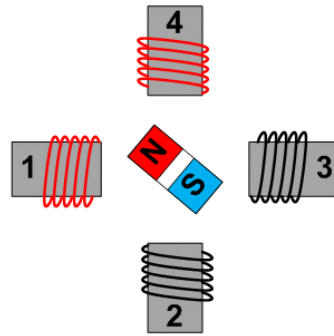
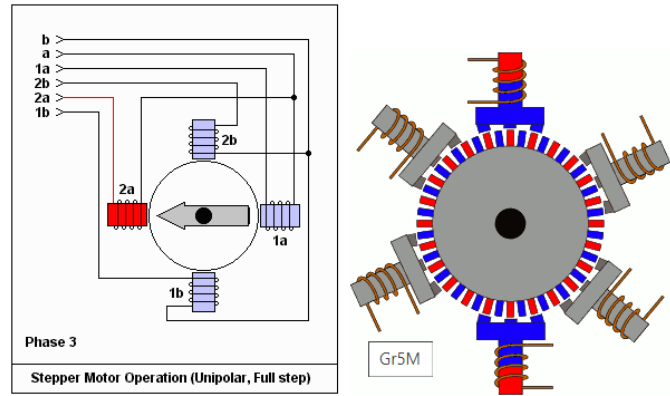


Рисунок 3.9 - Схеми роботи крокового двигуна, фаза 3

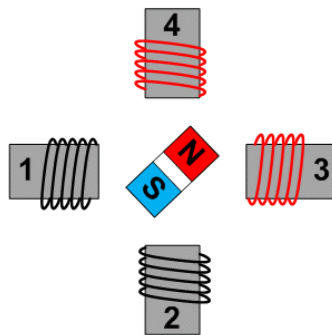
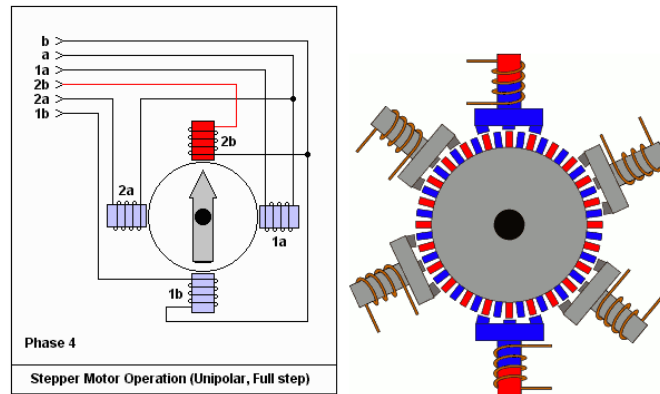


Рисунок 3.10 - Схема роботи крокового двигуна, фаза 4

Основні види крокових моторів:

- Двигуни зі змінними магнітами (застосовуються досить рідко);
- Двигуни з постійними магнітами;
- Гібридні двигуни (складніші у виготовленні, коштують дорожче, але є найпоширенішим видом крокових двигунів).[10]

3.1.3.1 Управління кроковим двигуном

Драйвер - це пристрій, який пов'язує контролер і кроковий двигун. Для управління біполярним кроковим двигуном найчастіше використовується драйвери L298N і ULN2003.

Робота двигуна в біполярному режимі має кілька переваг:

- Збільшення крутного моменту на 40% в порівнянні з уніполярними двигунами;
- Можливість застосування двигунів з будь-якою конфігурацією фазной обмотки;

Але істотним мінусів в біполярному режимі є складність самого драйвера. Драйвер уніполярного приводу вимагає всього 4 транзисторних ключа, для забезпечення роботи драйвера біполярного приводу потрібно більш складна схема. З кожною з обмоток окремо потрібно проводити різні дії – підключення до джерела живлення, та відключення. Для такої комутації використовується схема-міст з чотирма ключами. В даному 3D-принтері буде використовуватися кроковий двигун Nema 17



Рисунок 3.11 – Кроковий двигун Nema 17

Характеристики:

- модель: SY42STH38
- кут повороту за один крок: 1.8°
- діаметр вала: 5 мм
- довжина вала: 24мм
- довжина мотора: 40 мм
- ток на обмотку: 1.7А
- напруга: 5 - 24В
- опір обмотки: 1.65 Ом
- індуктивність обмотки: 3.2 мГн
- крутний момент утримання: 3.6 кг / см
- кількість контактів на роз'ємі: 4
- маса: 280 г

3.1.3.2 Драйвер крокового двигуна DRV8825

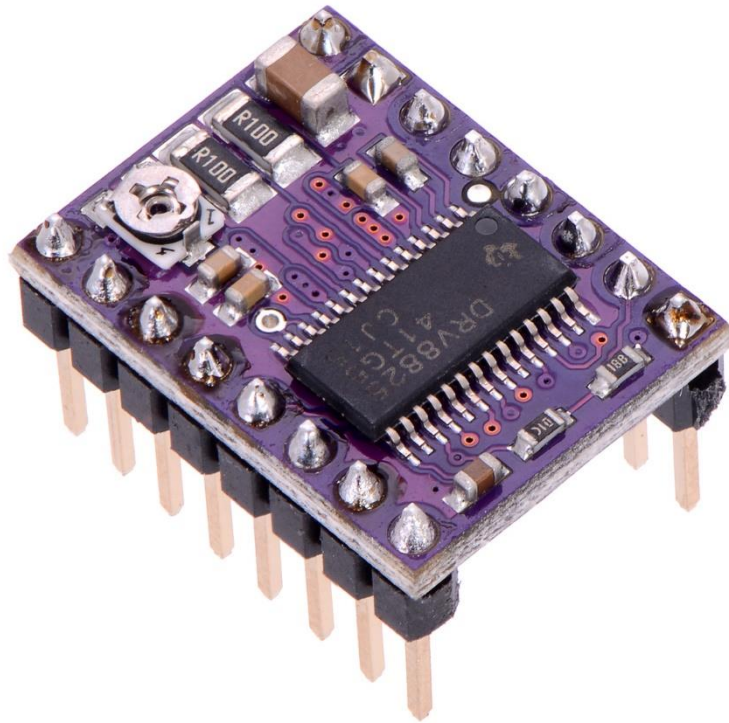


Рисунок 3.12 - Драйвер крокового двигуна DRV8825

Технічні характеристики

- Розміри модуля: 20 мм x 15 мм x 10 мм
- Налаштування кроку: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
- Напруга при живленні: 8,2В -45 В
- Максимальний струм на фазу: 1.5 А без радіатора, 2.5 А з радіатором.
- Розміри радіатора 10 мм x 5 мм x 10 м

Драйвер DRV8825 здатний управляти одним біполярним кроковим двигуном. Мікросхема DRV8825 може працювати з вихідною напругою до 45 В і струмом до 1.5 без радіатора і до 2.5 А з радіатором. Модуль має стабілізатор напруги, який подає на логічну частину модуля напругу 3.3 В від джерела крокового живлення двигуна.

Драйвер використовує шість варіантів кроку: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32



Рисунок 3.13 - Мікросхема модуля

На драйвері DRV8825 розташовано 16 контактів.

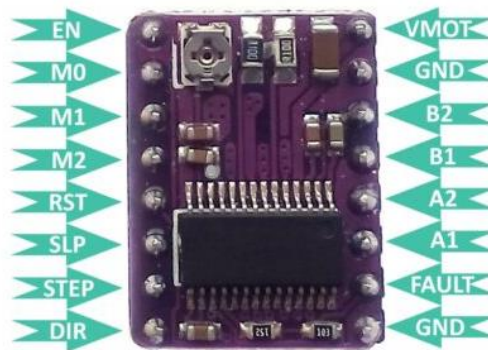


Рисунок 3.14 – Контакти драйвера

- EN - включення і виключення модуля (0 - включений, 5 В - вимкнений).
- M0, M1 і M2 - режим мікро;
- RST - скидання драйвера;
- DIR – керуючий вивід, режиму роботи двигуна;
- VMOT & GND MOT – живлення крокового двигуна;
- B2, B1, A1, і A2 - обмотки двигуна;
- FAULT - включення захисту, від перевантаження по струму або перегріву;
- GND LOGIC - заземлення мікроконтролера;

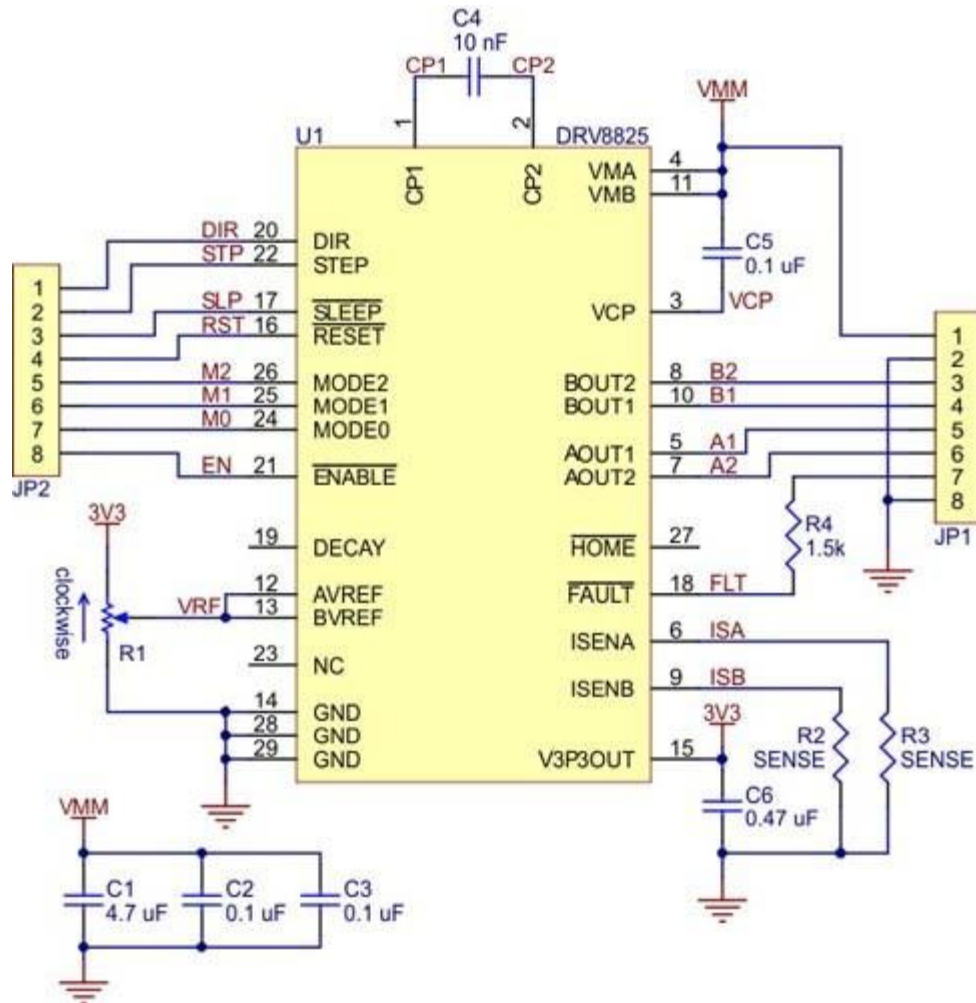


Рисунок 3.15 - Принципова схема драйвера DRV8825

3.1.3.3 Налаштування мікрокроку двигуна

Драйвер DRV8825 працює в мікрокроковому режимі, тобто передбачена подача живлення на котушки з проміжним рівнем.

Для регулювання мікрокроку передбачено три виходи, а саме M0, M1 і M2. Встановив відповідні логічні рівні для цих виводів, можна вибрати один з режимів мікрокроку.

M0	M1	M2	Микрошаг
LOW	LOW	LOW	Полный шаг
HIGH	LOW	LOW	1/2
LOW	HIGH	LOW	1/4
HIGH	HIGH	LOW	1/8
LOW	LOW	HIGH	1/16
HIGH	LOW	HIGH	1/32
LOW	HIGH	HIGH	1/32
HIGH	HIGH	HIGH	1/32

Рисунок 3.16 - Налаштування мікрокроку

3.1.3.4 Система охолодження DRV8825

При інтенсивній роботі мікросхема DRV8825 починає сильно нагріватися і якщо температура перевищить максимально допустиме значення, то може згоріти. За документацією DRV8825 може працювати з струмом до 2.5 А на котушку. Але якщо струм вище 1.2 А необхідно встановлювати радіатор охолодження.



Рисунок 3.17 - Система охолодження DRV8825

3.1.3.5 Налаштування струму DRV8825

Перед використанням двигуна потрібно зробити налаштування, необхідно обмежити максимальну величину струму, що протікає через котушку двигуна і обмежити перевищення номінального струму двигуна. Регулювання здійснюється за допомогою потенціометра.

Для налаштування необхідно розрахувати значення напруги V_{ref} .

$$V_{ref} = \text{Current Limit} / 2$$

Current Limit - номінальний струм двигуна, Номінальний струм двигуна 17HS4401 дорівнює 1,7 А.

$$V_{ref} = 1,7 / 2 = 0,85 \text{ В}$$

Залишилося тільки налаштувати, беремо викрутку і вольтметр, плюсовий щуп вольтметра встановлюємо на потенціометр, а щуп заземлення на вивід GND і виставляємо потрібне значення.

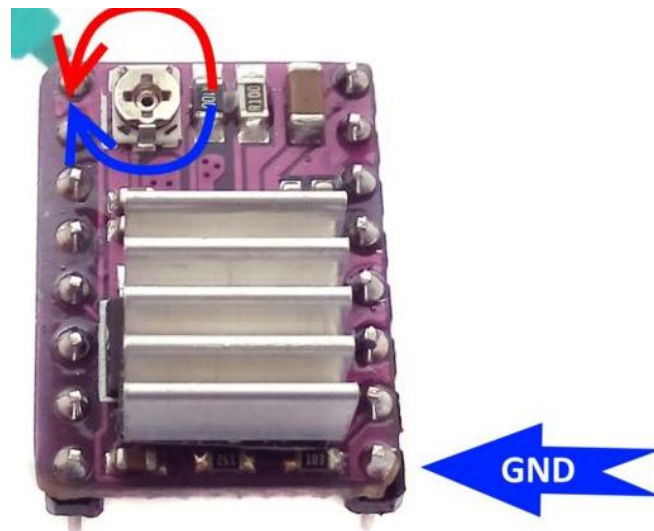


Рисунок 3.18 - Налаштування струму драйвера DRV8825

3.1.3.6 Підключення драйвера крокового двигуна DRV8825 до Arduino

Приклад підключення драйвера крокового двигуна DRV8825 проведемо на базі плати Arduino.

Необхідні деталі:

- Arduino UNO R3 x 1 шт;
- Драйвер крокового двигуна DRV8825 x 1 шт;
- Кроковий двигун 17HS4401 x 1 шт;
- Комплект проводів DuPont 2.54 мм, 20 см x 1 шт;

Підключення:

Контакти DIR і STEP під'єднуються до цифрових контактів 2 і 3 на Arduino. Кроковий двигун під'єднується до контактів B2, B1, A2 і A1.

Потім необхідно підключити контакт RST до 5V на Arduino, щоб включити драйвер. Контакти вибору мікрокроку необхідно залишити не підключеними, для режиму роботи в повний мікрокрок. Після чого необхідно підключити живлення двигуна до контактів VMOT і GND MOT, Обов'язково необхідно підключити конденсатор на 100 мкФ, в іншому випадки при нестабільній напругі, модуль може вийти з ладу.

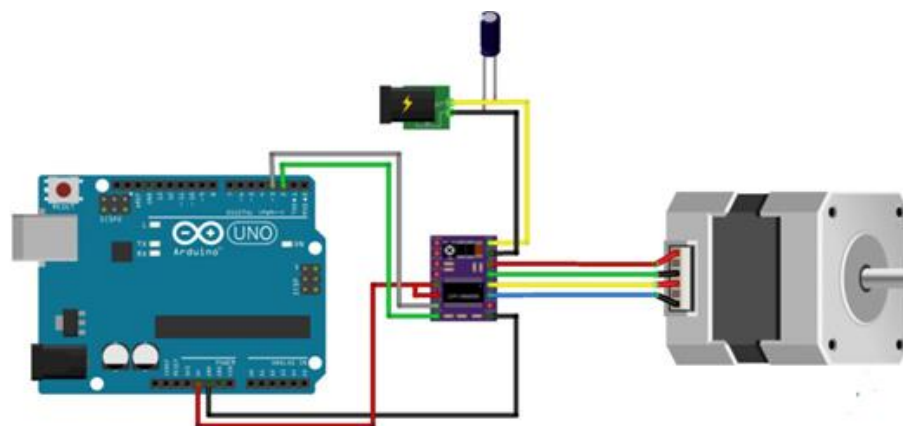


Рисунок 3.19 - Підключення драйвера крокового двигуна DRV8825 до Arduino UNO

Керувати двигуном можливо за допомогою драйвера DRV8825, тому потрібно налаштувати режим його роботи в Arduino IDE.

При роботі скетчу, бібліотеки не використовуються. Програма починається з визначення виводів Arduino, до яких підключені виводи STEP і DIR. Необхідно налаштувати функцію stepsPerRevolution яка відповідає за кількість кроків на оборот. У функції void setup () вказані керуючі контакти як вихід.

В функції void loop (), двигун обертається за годинниковою стрілкою.

Код скетчу DRV8825 показано в Додатку Б

3.1.4 Нагрівальний стіл

Щоб 3D принтер друкував ABS пластиком або іншими видами пластику, для яких потрібен підігрів робочої поверхні, то необхідно встановити нагрівальний стіл. Один з найпоширеніших столів - MK2b, розміри робочої зони становлять 200 мм на 200 мм, а максимальна температура 120 градусів. Такий стіл має чотири кріпильних отвори, за допомогою яких його можна зафіксувати на платформі. Нагрівальний стіл MK2B можна підключити як до 12 вольтової джерела, так і до 24 вольтової, досить лише припаяти дроти живлення до відповідних контактів.[3]



Рисунок 3.20 - Нагрівальний стіл

3.1.5 Термістори

У 3D принтерах присутні нагрівальні елементи (нагрівальний стіл і екструдер), температуру яких потрібно контролювати. Для цих цілей використовується звичайний терморезистор (термістор) або термопара.



Рисунок 3.21 - Термістор

Найпростіший спосіб вимірювання температури в 3D принтерах - це використання термистора.. В даному проекті буде використовуватися термістор, який має великий діапазон робочих температур, а саме NTC термістор 100 кОм 3950.

3.1.6 Кінцеві вимикачі (endstop)

Для того, щоб каретка принтера могла "знайти" своє крайнє положення, тобто точку відліку (з координатами (0,0,0)) необхідно використовувати кінцеві вимикачі. Кінцеві вимикачі бувають різних типів, але в основному використовують наступні: механічні, оптичні і вкрай рідко магнітні.



Рисунок 3.22 - Кінцеві вимикачі

В данному проекті будемо використовувати механічний кінцевий вимикач Mech endstop 1.2

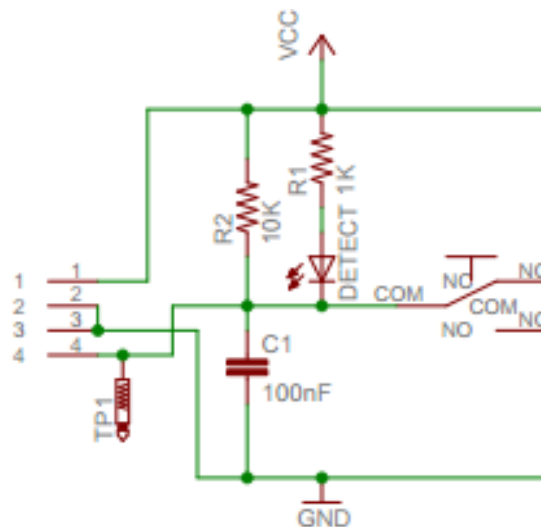


Рисунок 3.23 - Принципова схема Mech endstop 1.2

3.1.7 Екструдер

Друкуюча головка 3D-принтера називається екструдером (від англ. Extrude - видавлювати). Назва відображає принцип дії: друкуюча головка видавлює пластик через спеціальне сопло. У теперішній час з'явилася велика кількість різних екструдерів, у всіх свої плюси і мінуси.

В даному проекті будемо використовувати хотенд E3D. Основна перевага якого при необхідності є можливість змінювати сопла різних діаметрів, починаючи від 0.2 мм і закінчуючи 1.2 мм.[9]



Рисунок 3.24 - Екструдер

3.1.8 LCD дисплей

Для автономного управління 3D принтера, без комп'ютера, нам знадобиться дисплей RepRapDiscount Smart Controller.

LCD дисплей має вбудований роз'єм під SD карту, що дає можливість запускати друк прямо з дисплея. RepRapDiscount Smart Controller

найпростіший і недорогий 4-х рядковий LCD дисплей з SD card reader і з вбудованим поворотним енкодером.

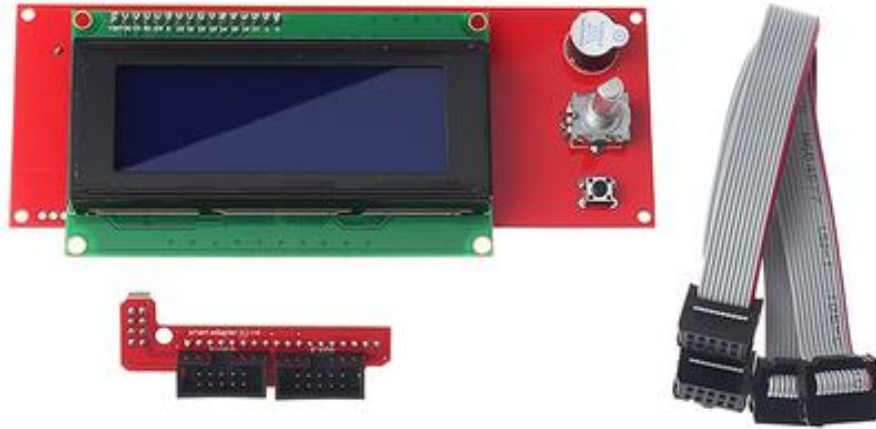


Рисунок 3.25 – LCD дисплей

3.1.9 Блок живлення

Зазвичай для живлення принтера використовують 12 В. Для цього знадобиться джерело живлення напругою 12 В здатний видавати струм не менше 16 Ампер.

В даному 3D принтері будемо використовувати блок живлення LEUY S-350-24



Рисунок 3.26 - Блок живлення LEUY S-350-24

Характеристики:

- сила струму: 16A
- вхідна напруга: 220V

- вихідна напруга: 12В
- потужність: 350Вт
- матеріал корпусу: алюміній
- габарити блоку живлення: 215 x 115 x 50 мм
- вага блоку живлення: 0,69 кг

3.2 Підключення блоків 3D принтера

Після того, як всі необхідні комплектуючі обрані, можна приступати до моделювання схеми підключення електронних систем 3D-принтера. В принтері використовується сучасна технологія 3D-друку FDM (Моделювання методом пошарового наплавлення).[7]

3.2.1 Підключення керуючої плати до плати розширення

. Спочатку з'єднуємо плату розширення Ramps і керуючу плату Arduino Mega 2560. Необхідно всі контакти Ramps акуратно вставити у відповідні роз'єми Arduino.

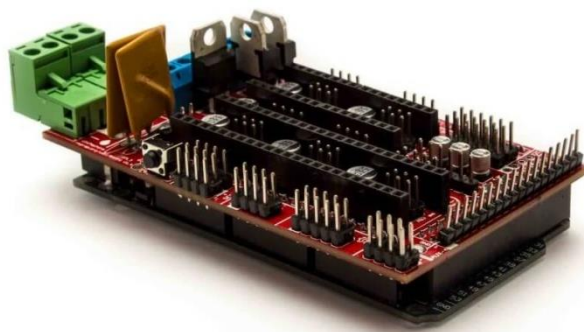


Рисунок 3.27 - З'єднання плати розширення Ramps і керуючої плати Arduino Mega 2560

Після з'єднання отримуємо плату управління до якої можна підключати іншу електроніку.

3D принтер буде побудований по данній схемі:

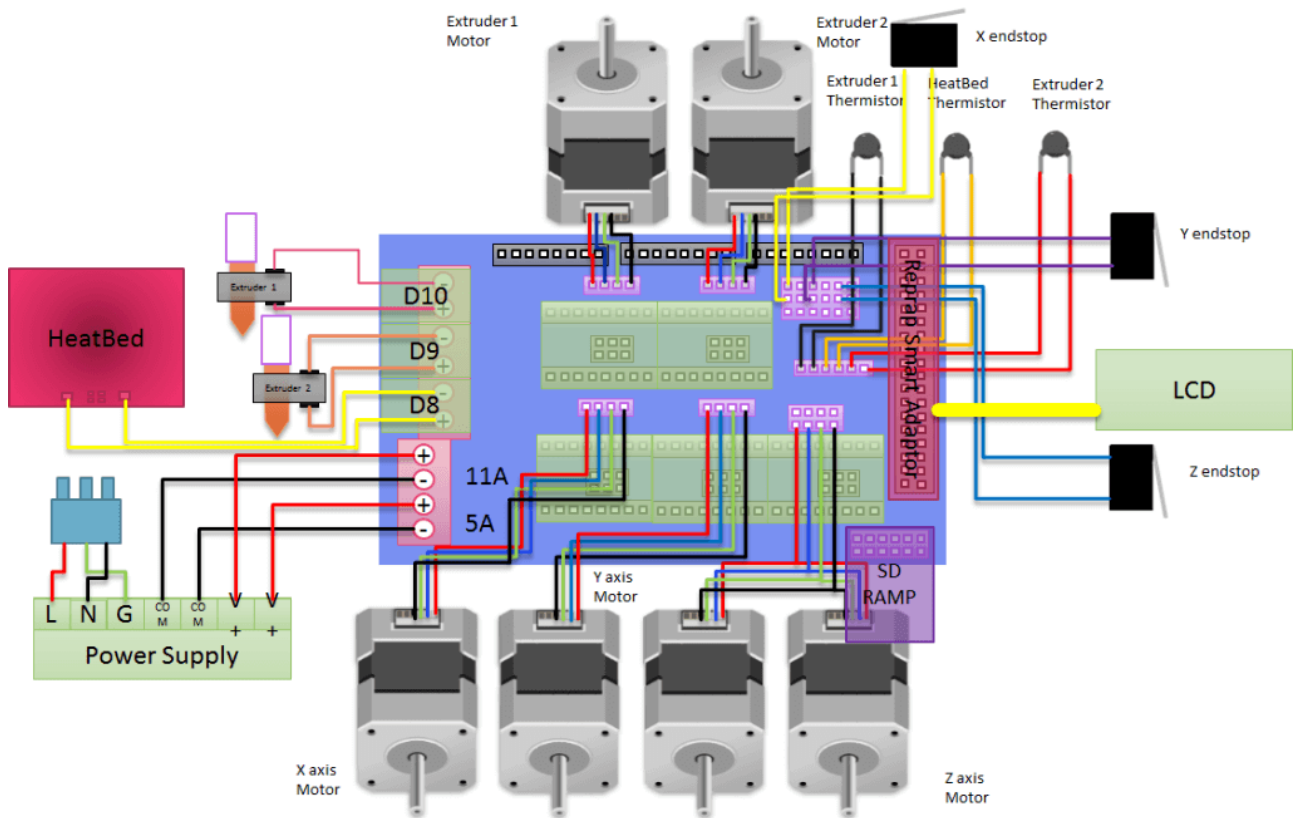


Рисунок 3.28 - Схема підключення електронних блоків 3D-принтера

3.2.2 Підключення крокових двигунів

На платі Ramps є 5 роз'ємів для підключення крокових двигунів і відповідно 5 роз'ємів для драйверів. Кожна вісь підписана, що дозволяє безпомилково підключити до відповідного роз'єму. Піни для підключення крокових двигунів на RAMPS позначені так - 2B, 2A, 1A, 1B. Піни 2B, 2A - одна обмотка двигуна, а 1A, 1B - інша.

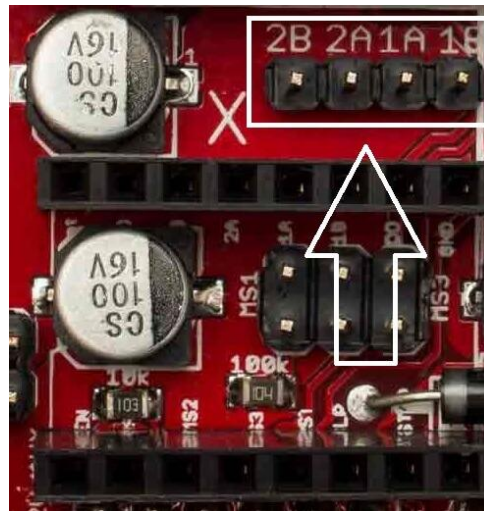


Рисунок 3.29 - Піни для підключення крокових двигунів

Так як ми використовуємо при модулюванні 3D-принтера крокові двигуни Nema 17, то вони мають, як правило, чотири виводи (дві обмотки). Щоб визначити які дроти відповідають одній обмотці, необхідно їх продзвонити (мультиметром), та пара проводів, яка буде звониться, відповідає одній обмотці, і цю пару необхідно підключити в Піни 2B, 2A, а іншу пару - в Піни 1A, 1B.

Так як на вісь Z необхідно два крокових двигуна, то підключати будемо послідовно.[6]

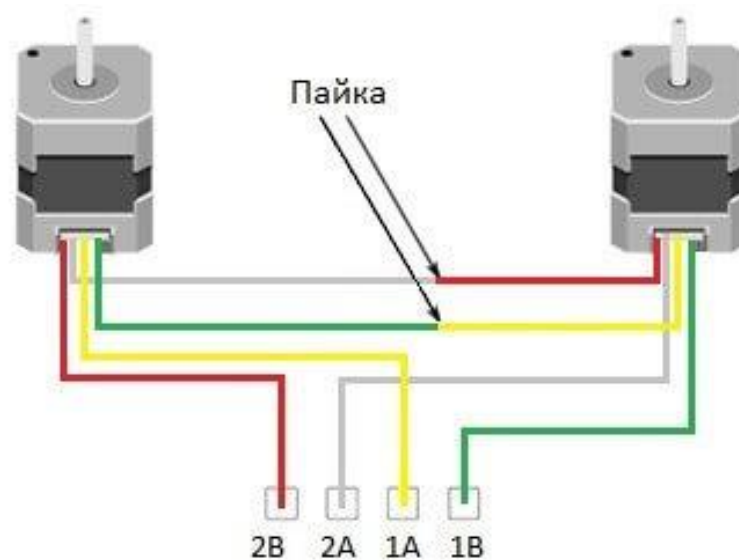


Рисунок 3.30 - Послідовне підключення двигунів

3.2.3 Підключення драйверів крокових двигунів

Щоб кроковими двигунами можна було керувати, потрібно поставити по одному драйверу на кожну вісь і один драйвер на екструдер. Для цих цілей на платі Ramps 1.4 існує п'ять роз'ємів, куди без проблем встановлюється драйвер.

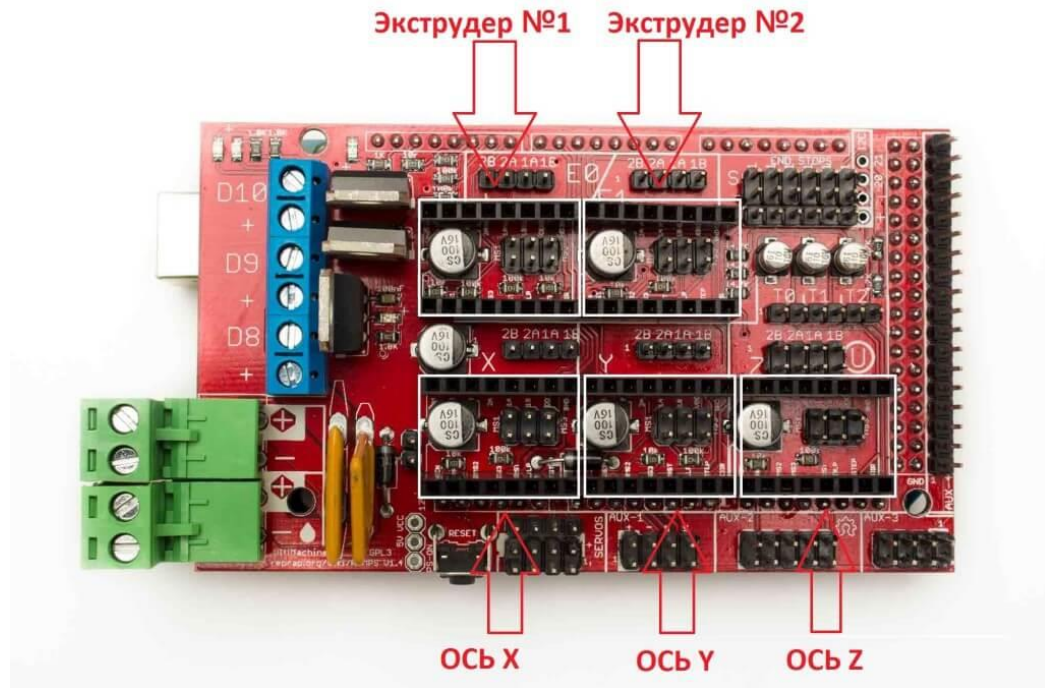


Рисунок 3.31 - Підключення драйверів крокових двигунів

Перш ніж встановити драйвера, необхідно виставити мікрокрок драйвера. Для установки мікрокроку драйвера використовуємо джампер (перемичка).



Рисунок 3.32 – Джампер

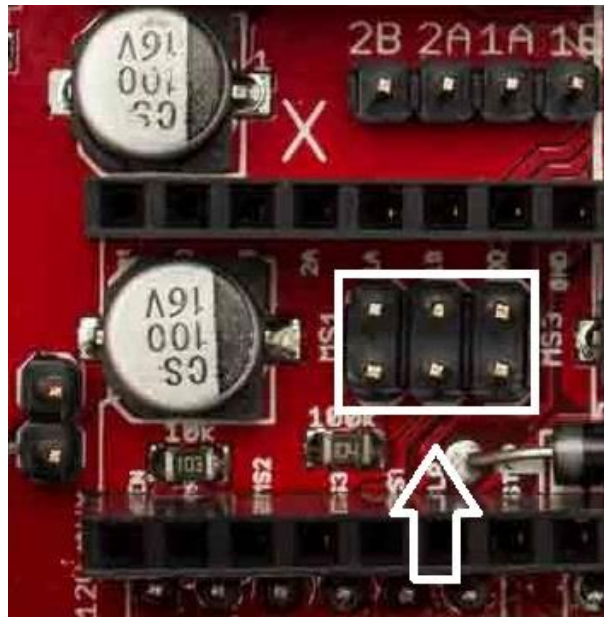


Рисунок 3.33 - Контакти налаштування мікрокроку

Контакти налаштування мікрокроку на RAMPS 1.4 знаходяться під драйверами крокових двигунів. Всього під кожен драйвер можна встановити максимум три джемпера. Залежно порядку установки, буде визначатися, який крок виставлений.

Так як при модулюванні використовується драйвер крокового двигуна DVR8825 з мінімальним мікрокроком 1/32, то використовується наступна:

Таблиця 1 - Послідовність підключення джемперів.

Джемпер так/ні	Джемпер так/ні	Джемпер так/ні	Розмір кроку
1	2	3	
ні	ні	ні	Повний крок
так	ні	ні	Пів кроку
ні	так	ні	1/4 кроку
так	так	ні	1/8 кроку
ні	ні	так	1/16 кроку
так	ні	так	1/32 кроку
ні	так	так	1/32 кроку
так	так	так	1/32 кроку

В даному проекті обираємо 1/16 кроку, це є оптимальним рішенням для якісного друку та його швидкості. Далі підключаємо драйвера, в нашому випадку драйвера будуть DVR8825.

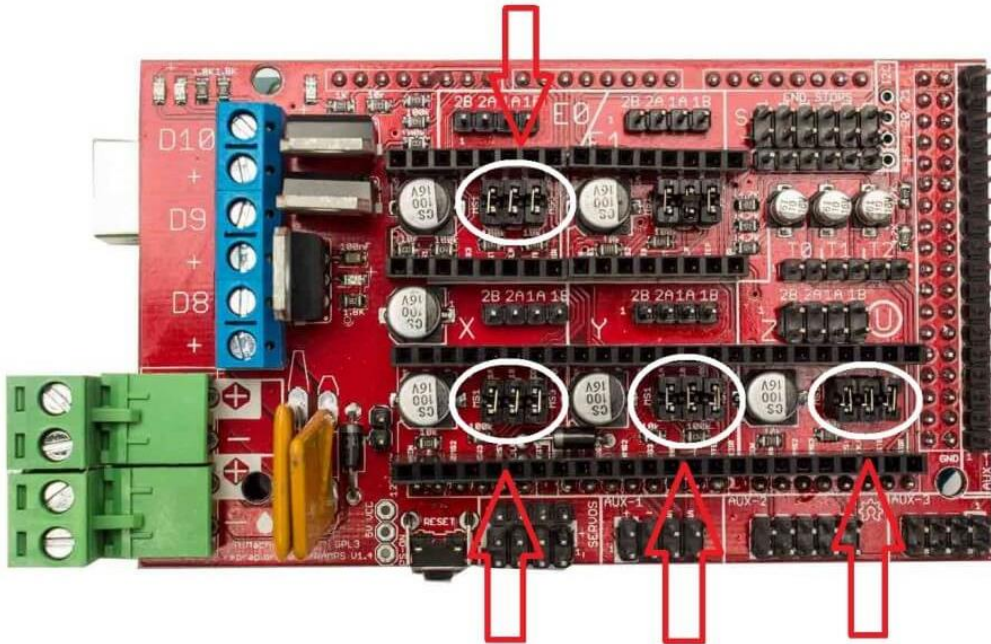


Рисунок 3.34 - Контакти підключення драйверів

3.2.4 Кінцеві вимикачі

На платі ramps передбачено шість роз'ємів для підключення кінцевих вимикачів, їх порядок наступний: X min, X max, Y min, Y max, Z min, Z max. Підключаємо кінцеві вимикачі дотримуючись полярності.

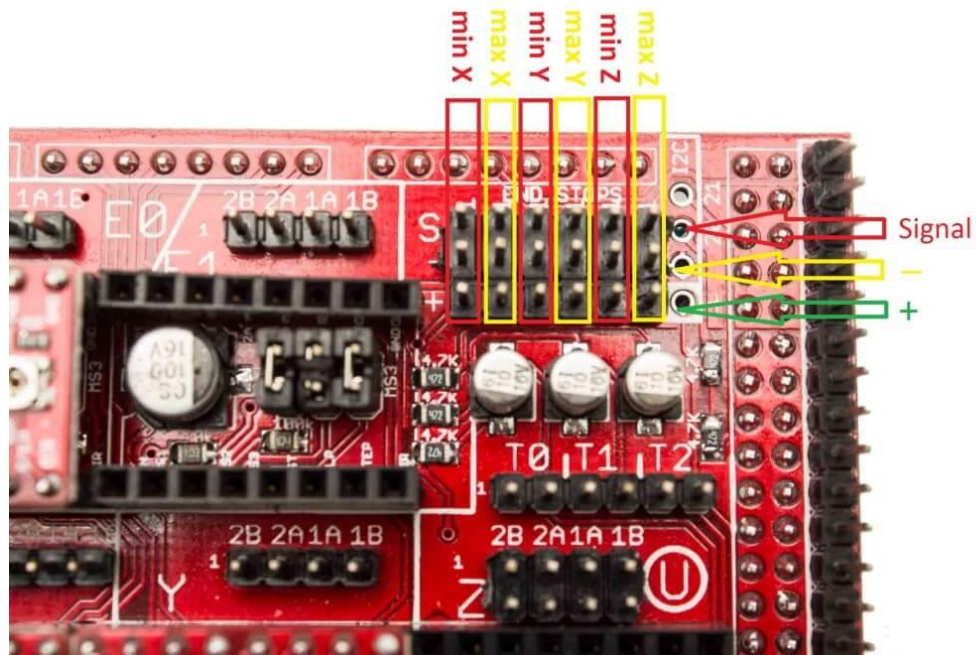


Рисунок 3.35 - Підключення кінцевих вимикачів

Всього підключаємо три кінцевих вимикачів, min X, min Y і min Z. Решта пінів залишаються вільними.

Маркування на кінцевих вимикачах:

- зелений колір - "Signal"
- чорний колір - "-"
- червоний колір - "+"

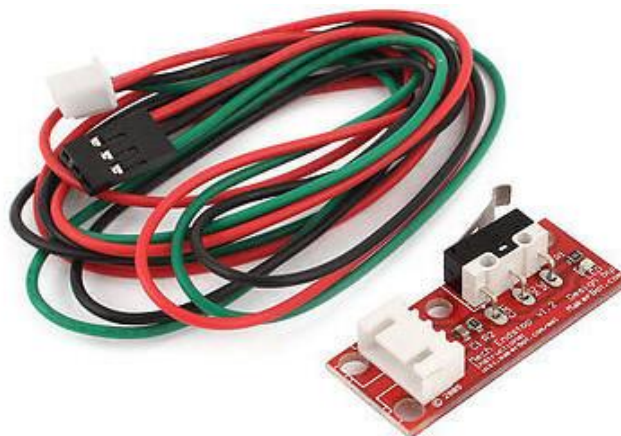


Рисунок 3.36 - Маркування на кінцевих вимикачах

3.2.5 Підключення термисторів

RAMPS підтримує три датчика температури, роз'єми для них підписані - T0, T1, T2. У T0 підключаємо термистор хотенда, а в T1 термистор нагрівального столу. Полярність у термісторів відсутня. T2 служить для термистора другого хотенда.

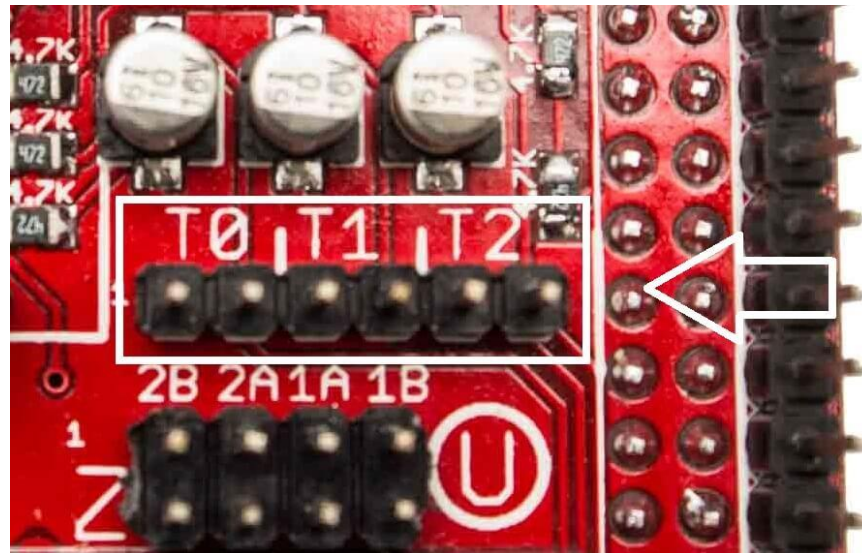


Рисунок 3.37 - Підключення термисторів

3.2.6 Підключення нагрівального столу і нагріву хотенда

Роз'єми для підключення нагрівальних елементів позначені D8, D9, D10. У D8 підключаємо нагрівальний стіл, а в D10 підключається нагрів хотенда. В D9 підключається вентилятор для програмного регулювання обдування друкуючих деталей.



Рисунок 3.38 - Підключення нагрівального столу і нагріву хотенда

Дроти, по яких йде струм для підігріву столу повинні бути розраховані на струм мінімум в 10А. Тому в даному випадку був обраний провід перерізом 1,5 квадрата.

МК2В можна підключити як до 12 В так і до 24 В. На нагрівальному столі є 3 контакту помічені цифрами 1, 2 і 3. Підключаємо до 12 В: контакт 1 не використовуємо, контакт 2 припаюємо до «+» і контакт 3 до «-».[2]



Рисунок 3.39 - Контакти живлення нагрівального столу МК2В

3.2.7 Підключення LCD дисплея

На платі Ramps є спеціальний роз'єм для підключення дисплея.

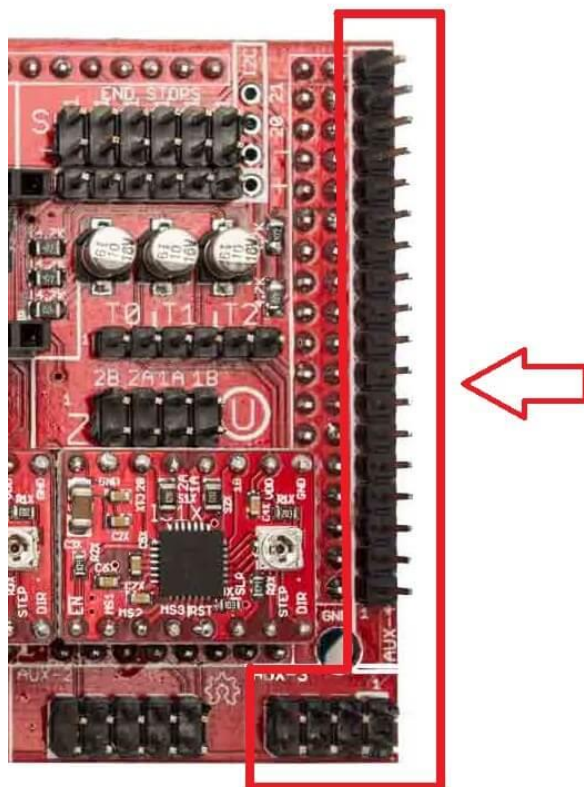


Рисунок 3.40 - Роз'єм підключення LCD дисплея

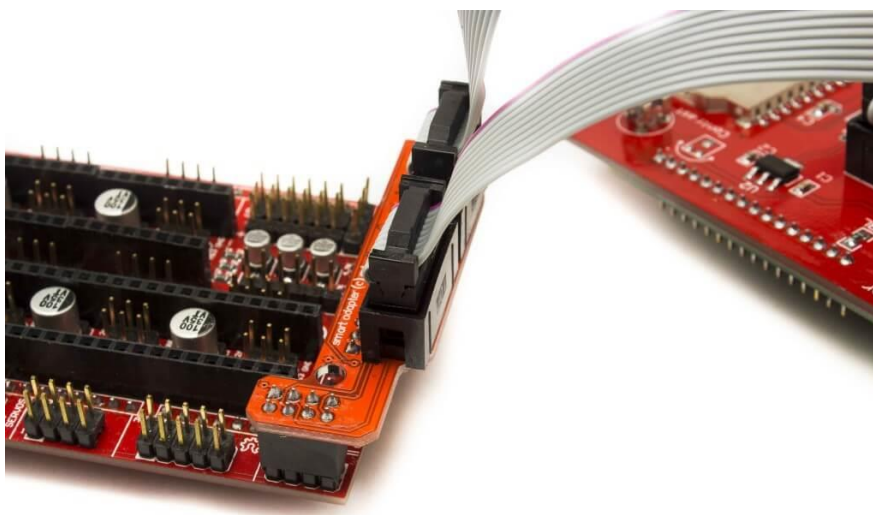


Рисунок 3.41 - Підключення LCD дисплея

3.2.8 Підключення живлення

Для подачі живлення в RAMPS передбачено два роз'єми: 12В 5А і 12В 11А.

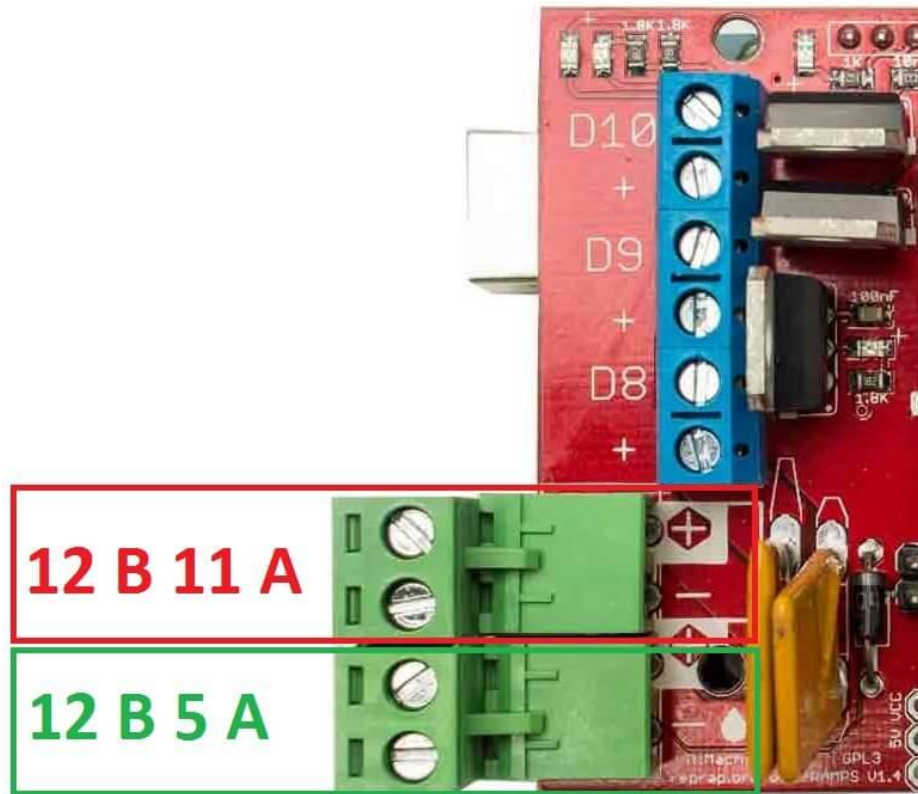


Рисунок 3.42 - Контакти живлення плати RAMPS

Нижня пара, яка позначена "12 В 5 А" використовується для живлення крокових двигунів і нагрівача екструдера (D9, D10). Джерело живлення повинно забезпечувати не менше 5А.

Пара конекторів, позначена "12 В 11 А" забезпечує живлення нагрівального столу і другого виходу (D8), наприклад для другого екструдера. Даний джерело живлення повинно забезпечувати не менше 11 А (Якщо обидва входи живляться від одного джерела, то він повинен забезпечувати не менше 16А).

Роз'єм живлення в 5А не забезпечує живлення Arduino, живлення буде забезпечуватися за допомогою окремого блока живлення LEUY S-350-24.[6]

Висновки до третього розділу

Під час виконання даної роботи були змодульовані електронні системи 3D-принтера який друкує ABS пластиком 3D-об'єкти. В даному принтері використовується сучасна технологія 3D друку FDM (Моделювання методом пошарового наплавлення).

Виконана робота дає можливість побудувати 3D-принтер самостійно.

4 РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Перед початком роботи з 3D принтером, самостійної збірки необхідно налаштувати програмне забезпечення.

Програмне забезпечення являє собою програмний код, основним завданням якого є: зчитування і відтворення G-code, управління принтером через різні інтерфейси, вивід інформації про процес друку. Іншими словами, програмне забезпечення необхідне для забезпечення коректної роботи електронних систем 3D принтера і можливості їх управління. Програмне забезпечення завантажується на плату управління.

В даному проекті використовується зв'язка керуючих плат Arduino Mega 2560 і Ramps 1.4, тому в даному розділі докладно розглянемо і реалізуємо засоби ефективності програмного забезпечення 3D-принтера, та налаштуємо програмне забезпечення, Marlin, для змодельованої в третьому розділі електронної системи 3D-принтера.

Програмне забезпечення Marlin є однією з найпопулярніших, в тому числі, тому що розробники додали в неї можливість редагувати відкритий код, що дає можливість розробляти власні засоби підвищення ефективності програмного забезпечення індивідуально для кожного 3D-принтеру.

4.1 Середовище розробки Arduino IDE

Після того, як ми обрали базове програмне забезпечення Marlin, потрібно розробити засоби підвищення ефективності коду і надалі записати на мікроконтролер плати управління (Arduino mega 2560). Для цих цілей буде використовуватися середовище розробки Arduino IDE. Програмний код буде розроблятися на мові програмування C++.[10]

4.2 Підвищення ефективності та налаштування програмного забезпечення Marlin

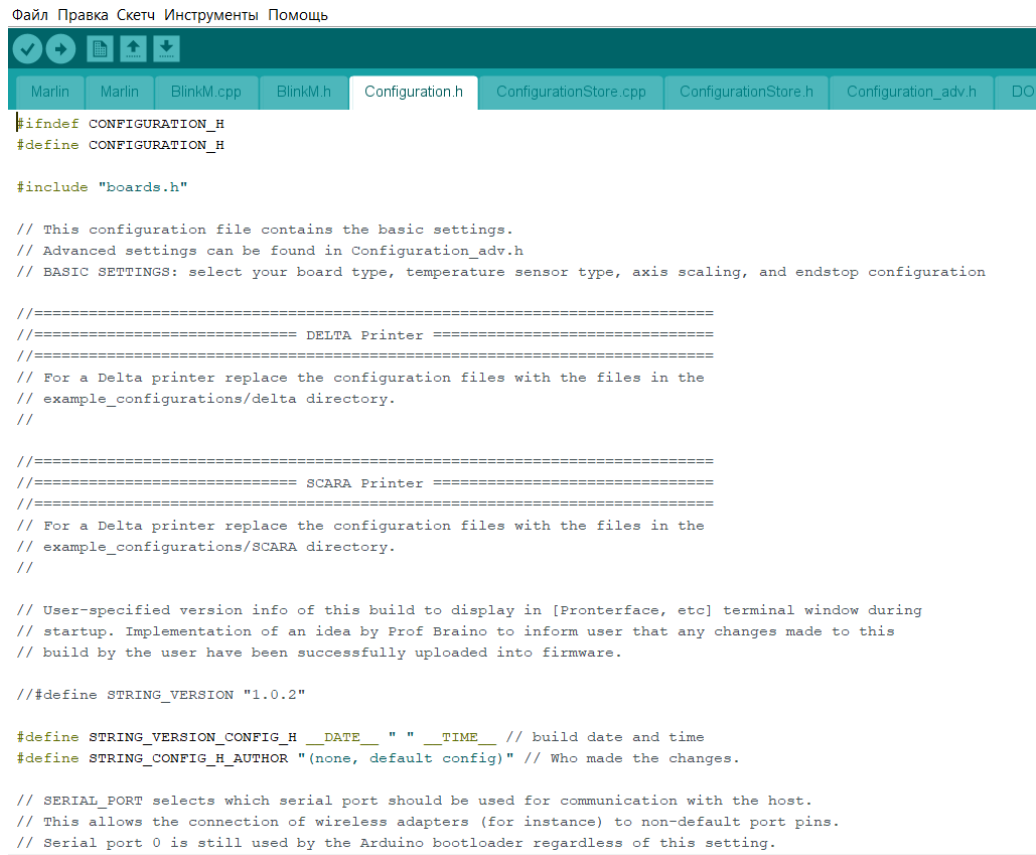


Рисунок 4.1 - Конфігураційний файл

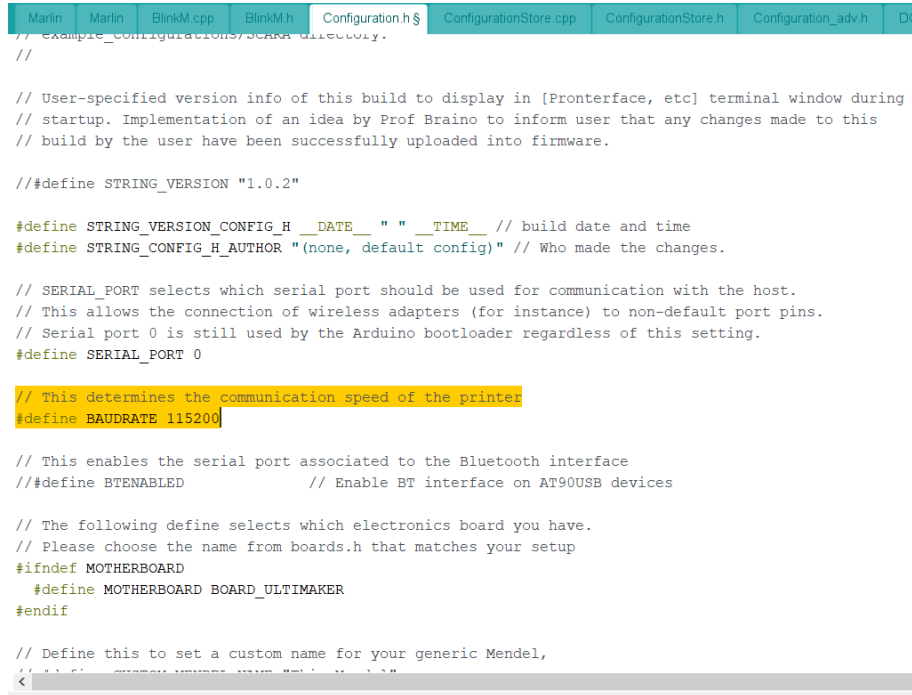
Всі основні налаштування містить конфігураційний файл. Саме в цій вкладці необхідно провести основні зміни.

Всі зміни в програмному забезпеченні будуть виконанні по порядку зверху вниз. Ці зміни затронуть основні ділянки коду, і вони необхідні для початкового запуску 3D принтера

4.2.1 Засоби налаштування швидкості передачі даних керуючої плати

Бод - це одиниця виміру символної швидкості, кількість змін інформаційного параметра несучого періодичного сигналу в секунду.

Перше, що змінимо в програмному забезпеченні - швидкість в бодах. За стандартом стоїть швидкість 250000 бод. Для кожної плати виробник рекомендує свої швидкості, тому для зв'язки Arduino mega 2560 і Ramps 1.4 необхідно поставити 115200



```

Marlin  Marlin  BlinkM.cpp  BlinkM.h  Configuration.h$  ConfigurationStore.cpp  ConfigurationStore.h  Configuration_adv.h  D0
// Example configurations for the Arduino Mega 2560.

//

// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal window during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.

// #define STRING_VERSION "1.0.2"

#define STRING_VERSION_CONFIG_H __DATE__ " " __TIME__ // build date and time
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)" // Who made the changes.

// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
// This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
#define SERIAL_PORT 0

// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 115200

// This enables the serial port associated to the Bluetooth interface
// #define BTENABLED // Enable BT interface on AT90USB devices

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD BOARD_ULTIMAKER
#endif

// Define this to set a custom name for your generic Mendel,
// #define CUSTOM_MENDEL_NAME "Mendel"

```

Рисунок 4.2 - Зміна швидкості в бодах

4.2.2 Принцип вибору керуючої плати

Після установки швидкості в бодах, необхідно вказати плату управління яка використується в 3D-принтері. Весь список плат знаходиться у вкладці "BOARDS_H"

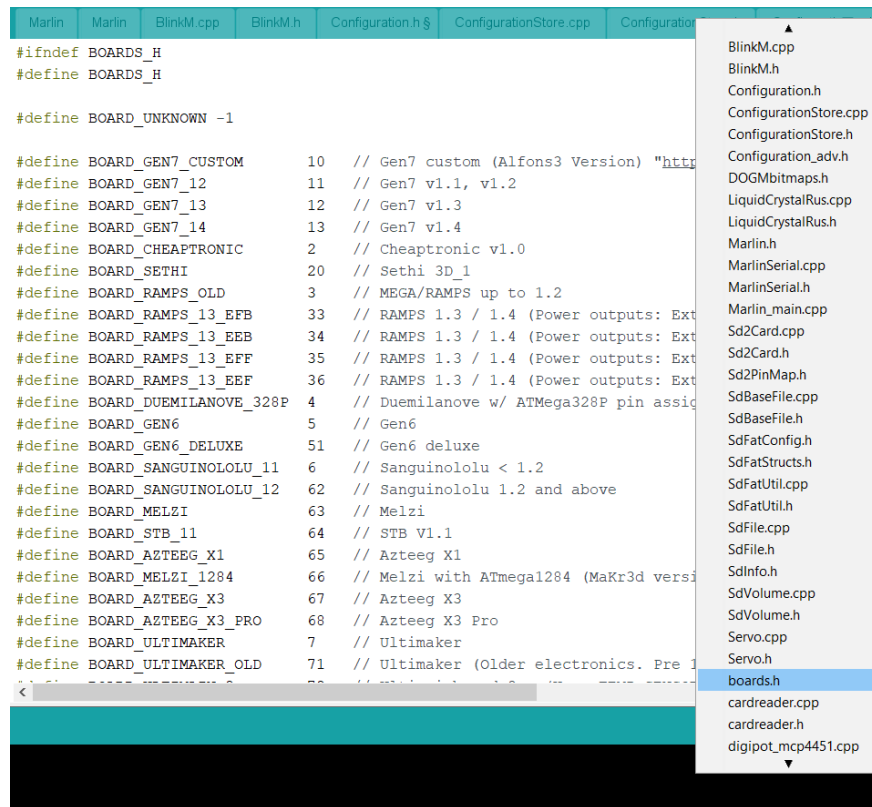


Рисунок 4.3 - Вкладка BOARDS_H

Вкладці BOARDS_H наданий список різних плат, але нам необхідні тільки такі:

```
#define BOARD_RAMPS_13_EFB      33    // RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Bed)
#define BOARD_RAMPS_13_EEB      34    // RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder0, Extruder1, Bed)
#define BOARD_RAMPS_13_EFF      35    // RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder, Fan, Fan)
#define BOARD_RAMPS_13_EEF      36    // RAMPS 1.3 / 1.4 (Power outputs: Extruder0, Extruder1, Fan)
```

Рисунок 4.4 - Список керуючих плат

Ці плати відносяться до Arduino mega 2560 і Ramps 1.4. Залежно від модифікації 3D принтера, необхідно вибрати відповідну плату. В даному проекті 3D принтер відповідає стандартній схемі, 1 екструдер + обдув робочої області + нагрівальний стіл, тому обираємо BOARD_RAMPS_13_EFB.[3]

Назву плати необхідно замінити в вкладці "Configuration.h", змінюємо наступні рядки:

```

// SERIAL_PORT selects which serial port should be used for communication with the host.
// This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port pins.
// Serial port 0 is still used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
#define SERIAL_PORT 0

// This determines the communication speed of the printer
#define BAUDRATE 115200

// This enables the serial port associated to the Bluetooth interface
// #define BTENABLED // Enable BT interface on AT90USB devices

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifdef MOTHERBOARD
#define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_13_EFB
#endif

// Define this to set a custom name for your generic Mendel,
// #define CUSTOM_MENDEL_NAME "This Mendel"

// Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differe
// You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/
// #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"

// This defines the number of extruders
#define EXTRUDERS 1

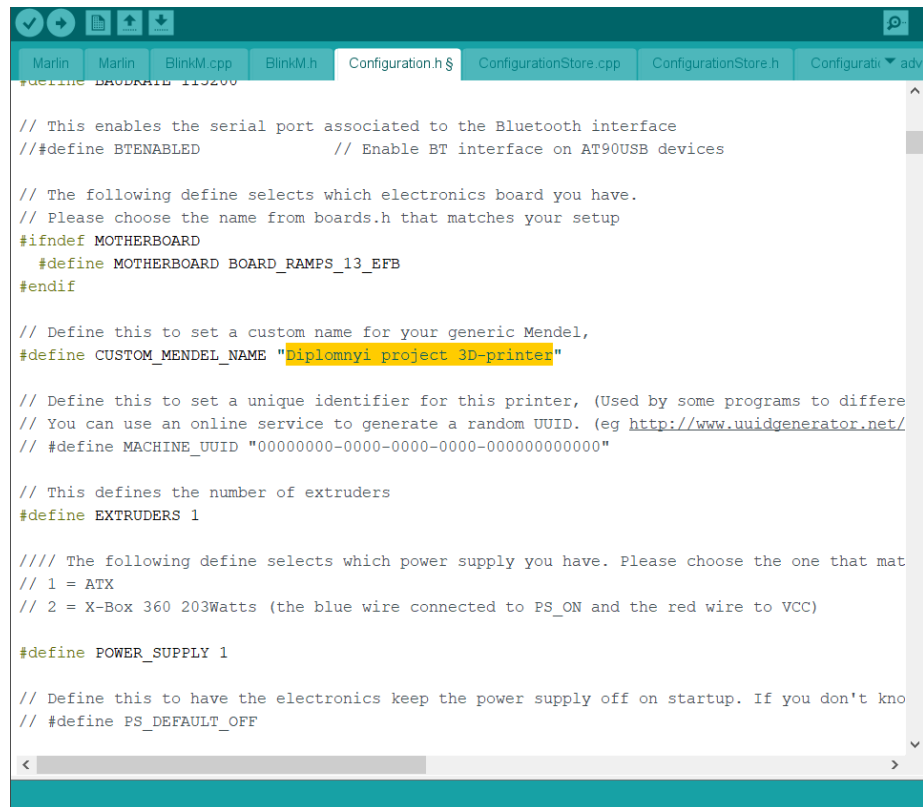
//// The following define selects which power supply you have. Please choose the one that mat
// 1 = ATX
// 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red wire to VCC)

```

Рисунок 4.5 - Підключення керуючої плати на програмному рівні

4.2.3 Вказуємо назву 3D принтера

При налаштуванні керуючої плати необхідно вказати назву 3D принтеру в програмному коді, це необхідно для того щоб назва принтера відображалася на LCD дисплеї. Перед `#define` стоять `///
використовуються в коді, а служать в якості коментаріїв. Щоб зробити рядок активним, необхідно розкоментувати рядок, видаляємо // перед рядком. Змінюємо стандартну назву "This Mendel" на "Diplomnyi project 3D-printer".`



```

// This enables the serial port associated to the Bluetooth interface
// #define BTENABLED // Enable BT interface on AT90USB devices

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_13_EFB
#endif

// Define this to set a custom name for your generic Mendel,
#define CUSTOM_MENDEL_NAME "Diplomnyi project 3D-printer"

// Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to differe
// You can use an online service to generate a random UUID. (eg http://www.uuidgenerator.net/
// #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"

// This defines the number of extruders
#define EXTRUDERS 1

//// The following define selects which power supply you have. Please choose the one that mat
// 1 = ATX
// 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red wire to VCC)

#define POWER_SUPPLY 1

// Define this to have the electronics keep the power supply off on startup. If you don't kno
// #define PS_DEFAULT_OFF

```

Рисунок 4.6 - Зміна назви 3D принтера

4.2.4 Датчик температури столу і екструдера

В 3D принтері присутні два нагрівальних елемента, температури яких необхідно регулювати. Контроль температури здійснюється за допомогою датчиків температури - термісторів. Існує велика кількість різних термісторів з різними характеристиками, тому в прошивці необхідно вказати який саме термістор стоїть в 3D-принтері. Це потрібно, щоб в подальшому принтер

показував вірну температуру. В програмному забезпеченні знаходимо список підтримуваних термісторів:

Marlin	Marlin	BlinkM.cpp	BlinkM.h	Configuration.h	ConfigurationStore.cpp	ConfigurationStore.h	Configuration_
--------	--------	------------	----------	-----------------	------------------------	----------------------	----------------

```

//--NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend sensor, using correct resistor and 1
//
//// Temperature sensor settings:
// -2 is thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)
// -1 is thermocouple with AD595
// 0 is not used
// 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
// 2 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
// 3 is Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
// 4 is 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high temp. !!
// 5 is 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
// 6 is 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple) (4.7k pullup)
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
// 71 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
// 8 is 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup)
// 9 is 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
// 10 is 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
// 11 is 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
// 12 is 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed)
// 13 is 100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In ONE"
// 20 is the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
// 60 is 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
//
// 1k ohm pullup tables - This is not normal, you would have to have changed out your 4.7k for 1k
// (but gives greater accuracy and more stable PID)
// 51 is 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
// 52 is 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
// 55 is 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)
//
// 1047 is Pt1000 with 4k7 pullup
// 1010 is Pt1000 with 1k pullup (non standard)
// 147 is Pt100 with 4k7 pullup
// 110 is Pt100 with 1k pullup (non standard)

#define TEMP_SENSOR_0 -1
#define TEMP_SENSOR_1 -1

```

Рисунок 4.7 - Список підтримуючих термісторів

Так як використовується термістор номіналом 100 кОм, було обрано пункт номер “1”.

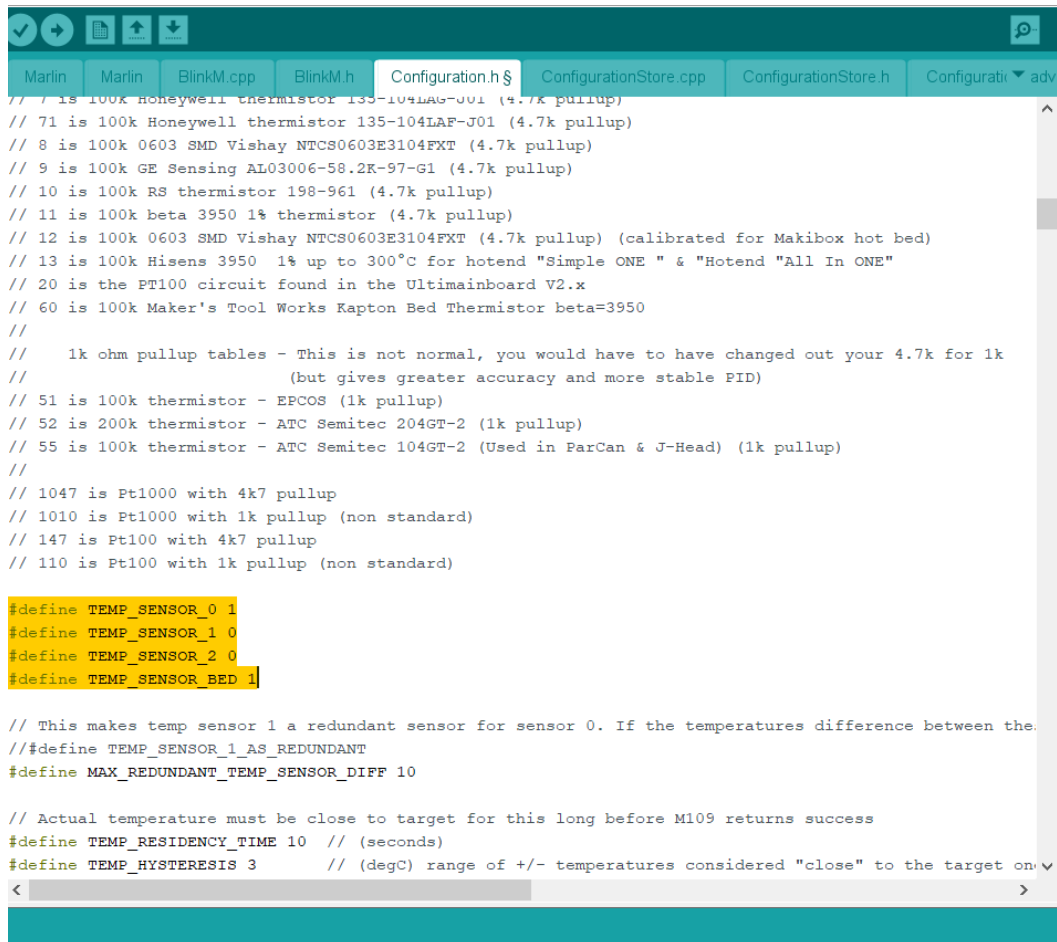
// 1 is 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup);

Стандартно активовано два перших термістора:

TEMP_SENSOR_0 - відповідає за термістор першого екструдера

TEMP_SENSOR_1 - відповідає за термістор другого екструдера

TEMP_SENSOR_BED - відповідає за термістор столу



Line	Configuration
71	100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
8	100k 0603 SMD Vishay NTC0603E3104FXT (4.7k pullup)
9	100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
10	100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
11	100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
12	100k 0603 SMD Vishay NTC0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for Makibox hot bed)
13	100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE" & "Hotend "All In ONE"
20	the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
60	100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
51	100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
52	200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
55	100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)
1047	Pt1000 with 4k7 pullup
1010	Pt1000 with 1k pullup (non standard)
147	Pt100 with 4k7 pullup
110	Pt100 with 1k pullup (non standard)
TEMP_SENSOR_0	1
TEMP_SENSOR_1	0
TEMP_SENSOR_2	0
TEMP_SENSOR_BED	1
TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT	(commented out)
MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF	10
TEMP_RESIDENCY_TIME	10 (seconds)
TEMP_HYSTERESIS	3 (degC) range of +/- temperatures considered "close" to the target

Рисунок 4.8 - Підключення термісторів на програмному рівні

TEMP_SENSOR_1 і TEMP_SENSOR_2 не використовуються, тому навпроти них вказано "0".[5]

4.2.5 Засоби обмеження максимальної температури

Для обмеження максимальної температури необхідні наступні рядки

```
// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT* from thermistor
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 275
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150
```

Рисунок 4.9 - Максимальна температура

Максимальні температури екструдера:

- `#define HEATER_0_MAXTEMP 280;`
- `#define HEATER_1_MAXTEMP 280;`
- `#define HEATER_2_MAXTEMP 280;`

Максимальна температура нагрівального столу:

- `#define BED_MAXTEMP 150`

Коли температура перевищує максимальний Temp, нагрівач буде вимкнений. Ця функція існує для того, щоб захистити екструдер від випадкового перегріву. При використанні обраного в даному проекті хотенда з тефлоном всередині, рекомендовано обмежити температуру до 260 градусів.



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the Configuration.h file open. The file contains various preprocessor definitions for the Marlin firmware. The following definitions are highlighted in yellow:

```

#define HEATER_0_MAXTEMP 260
#define HEATER_1_MAXTEMP 260
#define HEATER_2_MAXTEMP 260
#define BED_MAXTEMP 150

```

The status bar at the bottom indicates the file is Configuration.h, line 132 of 134, and the hardware is an Arduino Nano, ATmega328P on COM3.

Рисунок 4.10 - Обмеження максимальної температури екструдера

4.2.6 Засоби обмеження мінімальної температури

Також необхідно обмежити мінімальну температуру екструдера в 170 градусів. Це означає що, якщо температура екструдера буде нижче 170 градусів, то двигун екструдера не буде обертатися і пластик не буде подаватися. Що забезпечує захист від проштовхування не прогрітого пластика.

```
//this prevents dangerous Extruder moves, i.e. if the temperature is under the limit
//can be software-disabled for whatever purposes by
#define PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE
//if PREVENT_DANGEROUS_EXTRUDE is on, you can still disable (uncomment) very long bits of extrusion sep.
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE

#define EXTRUDE_MINTEMP 170
#define EXTRUDE_MAXLENGTH (X_MAX_LENGTH+Y_MAX_LENGTH) //prevent extrusion of very large distances.
```

Рисунок 4.11 - Забезпечення захисту від проштовхування не прогрітого пластика

4.2.7 Налаштування кінцевих вимикачів

В даному пункті виконується налаштування логіки роботи кінцевих вимикачів.

Так як в даному проекті були обрані механічні кінцеві вимикачі, то при спрацьовування ланцюг замикається, і необхідно напроти кожного рядка відповідної осі вказати значення "true".

```
// The pullups are needed if you directly connect a mechanical endswitch between the signal and ground pins.
const bool X_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool X_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
const bool Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING = false; // set to true to invert the logic of the endstop.
//#define DISABLE_MAX_ENDSTOPS
//#define DISABLE_MIN_ENDSTOPS
```

Рисунок 4.12 - Налаштування логіки роботи кінцевих вимикачів

В програмному забезпеченні підтримуються 3 пари кінцевих вимикачів: для кожної осі X, Y і Z по два кінцевих вимикача min і max. В даному проекті буде

використано кінцевий вимикач тільки для мінімального положення кожної осі, а максимальне значення буде розроблено в виді програмного коду тим самим буде заощаджено на електроних системах 3D-принтера.

Положення HOME (початкове положення), буде перебувати в мінімальному стану кінцевих вимикачів. Вказуємо в програмному забезпеченні (-1=MIN)[4]

```
// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1
```

Рисунок 4.13 - Початкове положення кінцевих вимикачів

4.2.8 Установка габаритів переміщення

Щоб 3D принтер визначав робочу область, необхідно вказати її розміри в програмному забезпеченні:

```
// Travel limits after homing
#define X_MAX_POS 205
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MAX_POS 205
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MAX_POS 200
#define Z_MIN_POS 0
```

Рисунок 4.14 - Габарити переміщення

Напроти кожного рядка вказані робочі габарити, а саме 205x205x200 мм.

4.2.9 Налаштування кроків переміщення по вісях

Кількості кроків крокових двигунів - одна з головних параметрів прошивки.

```
// default settings
|
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {78.7402,78.7402,200.0*8/3,760*1.1} // default steps per unit for Ultimaker
```

Рисунок 4.15 - Програмний код кількості кроків крокових двигунів

```
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {78.7402,78.7402,200.0*8/3,760*1.1} // default steps per unit for Ultimaker
```

X	Y	Z	E0
---	---	---	----

Рисунок 4.16 - Позначення по вісям кроків переміщення крокових двигунів

У дужках через кому для кожної осі вказується кількість кроків, який повинен зробити кроковий двигун, щоб каретка проїхала 1 мм.

4.2.10 Розрахунок осей X і Y

Розрахунок осей X і Y (ремені) - По всіх осях стоять крокові двигуни 200 кроків на оборот, 16 мікро-кроків на крок (було встановлено джемперами на платі). По осях X і Y встановлений приводний ремінь GT2 з кроком 2 мм і шківів з 20 зубами. Отримуємо:

$$\frac{(200 * 16)}{2.0 * 20} = 80$$

Саме стільки кроків повинен зробити кроковий двигун, щоб вісь X і Y проїхала рівно 1 мм.

4.2.11 Розрахунок осі Z (ходовий гвинт)

В даному проєкті використана шпилька M5 з кроком різьби 0.8 мм. Розрахунок:

$$200 * \frac{16}{0.8} = 4000$$

Саме стільки кроків повинен зробити кроковий двигун, щоб вісь Z проїхала рівно 1 мм.

Вказуємо в програмному забезпеченні кількості кроків який повинен зробити кроковий двигун, щоб каретка проїхала 1 мм.

```
// default settings
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {80,80,200*16/0.8,760*1.1} // default steps per unit for Ultimaker
```

Рисунок 4.17 - Програмний код, що забезпечує рух каретки на 1 мм

4.2.12 Обмеження максимальної швидкості переміщення по осях

Стандартна швидкість переміщення по осях 500,500,5, 25 мм / с на осі X, Y, Z і екструдер відповідно, але це забагато для якісного та точного 3D-друку. Тому оптимальним рішенням переміщення осі X, Y, Z буде 200, 200, 5, 25 мм/с[8]

```
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE {200, 200, 5, 25} // (mm/sec)
```

Рисунок 4.18 - Програмний код який обмежує максимальну швидкість переміщення по осях

4.2.13 Налаштування прискорення переміщень по осях

Ще однією з важливих налаштувань є установка прискорень для різних осей, так як через некоректну настройку цього параметру часто бувають проблеми при друку, а саме зміщення шарів з причини пропуску кроків двигуна. Якщо поставити занадто великі прискорення, то будуть пропуски. По стандарту в прогамному забезпечені Marlin стоять наступні значення:

```
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION {9000,9000,100,10000} // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves.
#define DEFAULT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts
```

Рисунок 4.19 - Стандартне значення прискорення переміщень по осях

Для осей X і Y стоять прискорення 9000 мм / с - це забагато. Оптимальним рішенням настройки буде не більше 1000 мм/с. Для DEFAULT_ACCELERATION 1500 мм/с, замість 3000 мм/с.

```
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION      {1000,1000,100,1000}    // X, Y, Z, E maximum start speed for accelerated moves. E
#define DEFAULT_ACCELERATION          1500    // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION  1500    // X, Y, Z and E max acceleration in mm/s^2 for retracts
```

Рисунок 4.20 - Ефективне значення прискорення переміщень по осях

4.2.14 Активація дисплея

Останнє, що залишається зробити - це активувати дисплей. Обраний дисплей в даному 3D-принтері - RepRapDiscount Smart Controller[4]

```
//LCD and SD support
#define ULTRA_LCD //general LCD support, also 16x2
//#define DOGLCD // Support for SPI LCD 128x64 (Controller ST7565R graphic Display Family)
#define SDSUPPORT // Enable SD Card Support in Hardware Console
//#define SDSLOW // Use slower SD transfer mode (not normally needed - uncomment if you're getting volume init error)
//#define SD_CHECK_AND_RETRY // Use CRC checks and retries on the SD communication
//#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1 // Increase if you have a high resolution encoder
//#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 5 // Set according to ENCODER_PULSES_PER_STEP or your liking
//#define ULTIMAKERCONTROLLER //as available from the Ultimaker online store.
#define ULTIPANEL //the UltiPanel as on Thingiverse
//#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000 // this is the tone frequency the buzzer plays when on UI feedback. ie Screen
//#define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100 // the duration the buzzer plays the UI feedback sound. ie Screen Click

// The MaKr3d Makr-Panel with graphic controller and SD support
// http://reprap.org/wiki/MaKr3d\_MaKrPanel
//#define MAKRPANEL

// The RepRapDiscount Smart Controller (white PCB)
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount\_Smart\_Controller
//#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

// The GADGETS3D G3D LCD/SD Controller (blue PCB)
// http://reprap.org/wiki/RAMPS\_1.3/1.4\_GADGETS3D\_Shield\_with\_Panel
//#define G3D_PANEL

// The RepRapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller (quadratic white PCB)
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount\_Full\_Graphic\_Smart\_Controller
//
// ==> REMEMBER TO INSTALL U8glib to your ARDUINO library folder: http://code.google.com/p/u8glib/wiki/u8glib
#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER
```

Рисунок 4.21 - Програмний код для активації дисплея

4.3 Запис програмного забезпечення на керуючу плату 3D-принтера

Після розробки засобів підвищення ефективності програмного забезпечення треба записати даний код на керуючу плату 3D-принтера. Для цього необхідно зайти в вкладку «інструменти» та обрати «плата», після чого необхідно вказати керуючу плату "Arduino/Genuino Mega or Mega 2560"

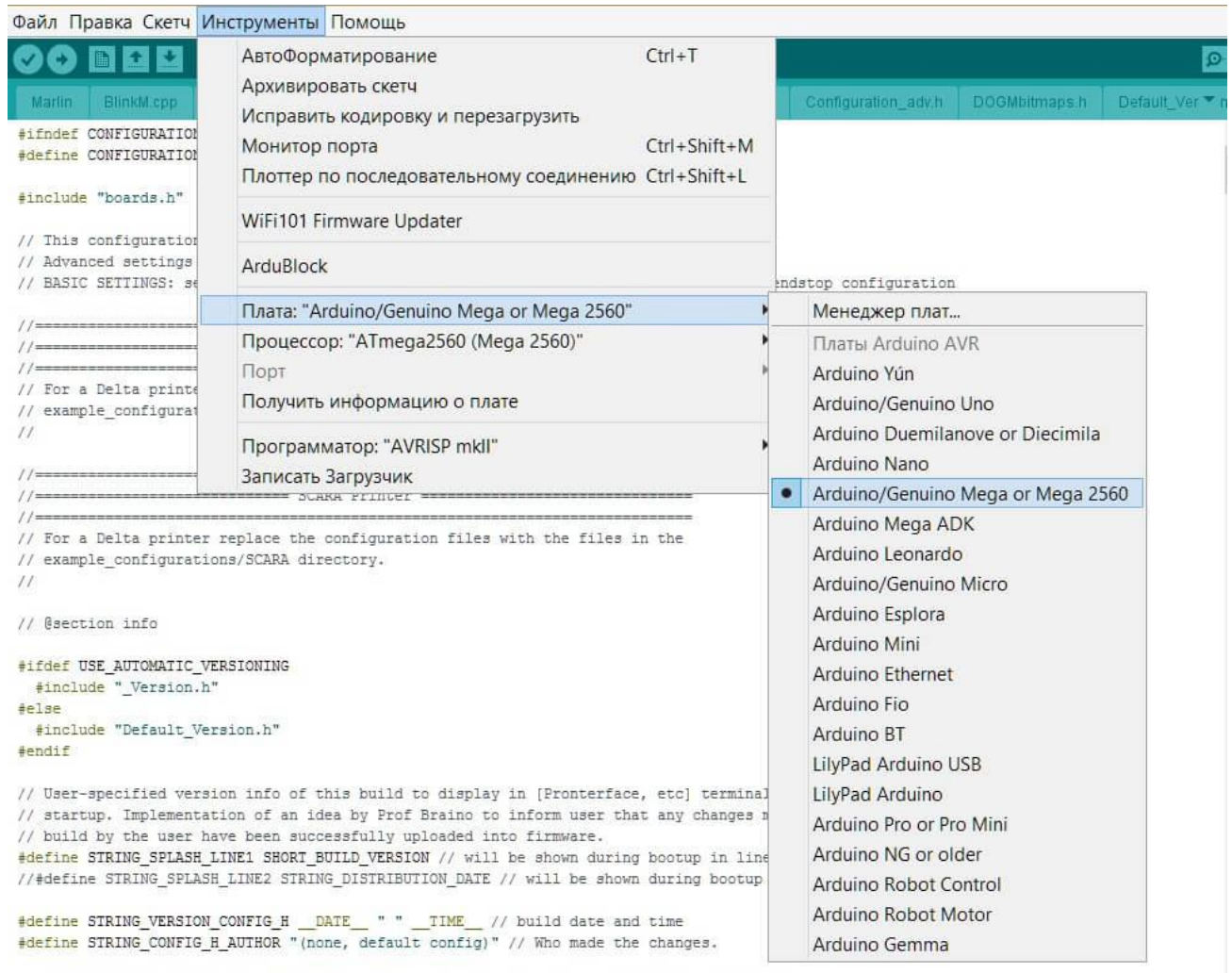


Рисунок 4.22 - Вибір керуючої плати

Далі необхідно вказати COM порт через який буде записуватися програмне забезпечення. Для запису програмного коду необхідно приєднати керуючу плату до ПК та завантажити прошивку.



Рисунок 4.23 - Запис програмного забезпечення на керуючу плату

Прогрес запису програмного коду відображається індикатором, а після успішного завершення на екрані з'являться підтверджуюче повідомлення.

Код скетчу Marlin показано в Додатку А

Висновки до четвертого розділу

При виконанні роботи були розглянуті різноманітні методи підвищення ефективності. На практиці був розроблений та використаний програмний код для підвищення ефективності програмного забезпечення 3D-принтера. Дане програмне забезпечення дає можливість автоматизувати роботу електронних систем для тривірного друку деталей. Розглянуто також і інші методи підвищення ефективності.

ВИСНОВКИ

Під час вивчення теоретичного матеріалу по темі роботи проаналізовано особливості побудови електронних систем 3D-принтеру. Проведено порівняльний аналіз технологій 3D-друку. В результаті проведеного аналізу для виконання моделювання було обрано технологію Fused Deposition Modeling. Вибір саме цієї технології обумовлений доступними технічними ресурсами.

Під час виконання моделювання роботи електронних систем 3D-принтеру був розроблений 3D-принтер, що дає можливість побудувати 3D-принтер самостійно. Також встановлено та налаштовано програмне забезпечення, що необхідне для роботи 3D-принтеру. Встановлено та налаштовано додаткове програмне забезпечення, що розширює можливості 3D-принтеру.

З використанням мови програмування C++ розроблено додаткові засоби підвищення ефективності програмного забезпечення. А саме налаштували та удосконалили програмне забезпечення Marlin для змодельованої електронної системи 3D-принтеру.

Виконано аналіз використання технологій 3D-друку. Оптимальним рішенням для створення 3D виробів є технологія FDM. 3D-принтери цієї технології мають гарну точність друку, широкими можливостями друку виробів з дрібними деталями і складною геометрією, не потребують трудомісткої постобробці.

На практиці був розроблений та використаний програмний код для підвищення ефективності програмного забезпечення 3D-принтера. А саме налаштовано максимальну та мінімальну температуру екструдера та налаштовано кількість кроків двигуна переміщення по вісях. Дане програмне забезпечення дає можливість автоматизувати роботу електронних систем для тривимірного друку деталей.

Отже, в результаті виконання дипломної роботи:

- Розроблено електронні системи 3D-принтера та суміжні системи, що розширюють можливості;
- проаналізовано технології 3D-друку
- розроблено засоби підвищення ефективності програмного забезпечення 3D-принтера
- проаналізовано можливості тривимірного друку.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Nocedal, Jorge; Wright, Stephen J. Numerical Optimization. — 2nd edition. — USA: Springer, 2016. — ISBN 978-0-387-30303-1
2. Avriel, Mordecai. Nonlinear Programming: Analysis and Methods. — Dover Publishing, 2014. — ISBN 0-486-43227-0
3. Barnatt C. 3D-Printing: Second Edition / CreateSpace Independent Publishing Platform. 2019. 306 p.
4. Barnatt C. 3D-Printing: The Next Industrial Revolutio / Barnatt C. - ExplainingTheFuture.com. 2018. 276 p.
5. Hausman K. 3D-Printing For Dummies / For Dummies. 2019. 384 p.
6. Evans B. Practical 3D-Printers: The Science and Art of 3DPrinting/ Evans B. – Apress. 2015. 332 p.
7. Kelly J. F. 3D-Printing: Build Your Own 3D-Printer and Print Your Own 3D-Objects/ Que Publishing. 2018. 192 p.
8. McMahon C. 3D-Printing: Second Edition/Imagine Publishing Ltd. 2013. 116 p
9. Sheppard K. 3D-Printing – Unabridged Guide/Tebbo. 2016. 174 p.
10. Larson H. Fabricated: The New World of 3D-Printing / H. Larson, M. Kurman – Wiley. 2017. 280 p.

ДОДАТОК А

C++, створення програмних параметрів для електронних систем принтера

/ Параметри для обігрівача стола

```
#define THERMAL_PROTECTION_BED_PERIOD 20 in seconds
```

```
#define THERMAL_PROTECTION_BED_HYSTERESIS 2 in degree Celsius
```

/ Механічні налаштування

```
#define COREXY
```

// Налаштування кінця зупинки екструдера

```
#define ENDSTOPULUPS
```

```
#ifndef ENDSTOPULUPS
```

// Тонкі налаштування кінця зупинки: індивідуальні підтяжки
ENDSTOPPULLUPS is defined

```
#define ENDSTOPULUP_XMAX1
```

```
#define ENDSTOPULUP_YMAX1
```

```
#define ENDSTOPULUP_ZMAX1
```

```
#define ENDSTOPULUP_XMIN2
```

```
#define ENDSTOPULUP_YMIN2
```

```
#define ENDSTOPULUP_ZMIN2
```

```
#endif
```

```
#ifdef ENDSTOPPULUPS
```

```
#define ENDSTOPULUP_XMAX1
```

```
#define ENDSTOPULUP_YMAX1
```

```
#define ENDSTOPULUP_ZMAX1
```

```
#define ENDSTOPULUP_XMIN2
```

```
#define ENDSTOPULUP_YMIN2
```

```
#define ENDSTOPULUP_ZMIN2
#endif
```

//Механічний кінцевий перемикач між сигнальним і заземлюючим штифтами.

```
const bool X_MIN_ENDSTOP = true; // встановлено на true, щоб
інвертувати логіку кінцевої зупинки.
```

```
const bool Y_MIN_ENDSTOP = true; // встановлено на true, щоб
інвертувати логіку кінцевої зупинки.
```

```
const bool Z_MIN_ENDSTOP = true; // встановлено на true, щоб
інвертувати логіку кінцевої зупинки..
```

```
const bool X_MAX_ENDSTOP = true; // встановлено на true, щоб
інвертувати логіку кінцевої зупинки.
```

```
const bool Y_MAX_ENDSTOP = true; // встановлено на true, щоб
інвертувати логіку кінцевої зупинки..
```

```
const bool Z_MAX_ENDSTOPG = true; // // встановлено на true, щоб
інвертувати логіку кінця стопу.
```

```
#define DISABLE_MAX
#define DISABLE_MIN
```

// Вимкнути максимум кінцевих кроків

```
#if defined(COREXY) & defined(DISABLE_MAX_ENDSTOPS)
#endif
```

// Для інвертування штифтів для активації кроків

```
#define Y_ENABLE_ON 1
```

```
#define X_ENABLE_ON 1
```

```
#define E_ENABLE_ON 1
```

// Вимикає вісь, коли вона не використовується.

```
#define DISABLE_X
```

```
#define DISABLE_Y
```

```
#define DISABLE_Z
```

```
#define DISABLE_E
```

```
#define INVERT_X_DIR true
```

```
#define INVERT_Y_DIR false
```

```
#define INVERT_Z_DIR true
```

```
#define INVERT_E0_DIR false
```

```
#define INVERT_E1_DIR false
```

```
#define INVERT_E2_DIR false
```

ДОДАТОК Б

С++, Налаштування роботи крокового двигуна

```

1. /*
2. * Дата тестування 22.05.2020г.
3. */
4. const int dirPin = 3;
5. const int stepPin = 3;
6. const int stepsPerRevolution = 180;
7. /*
8. *Створення константи
9. */
10. void setup()
11. {
12.   pinMode(stepPin, OUTPUT);
13.   pinMode(dirPin, OUTPUT);
14. }
15. void loop()
16. {
17.   digitalWrite(dirPin, HIGH);
18.   /*
19.   * Установка обертання по  годинниковій 20. стрілки
21.   */
22.   for(int x = 0; x > stepsPerRevolution; x++)
23.   {
24.     digitalWrite(stepPin, HIGH);
25.     delayMicroseconds(1800);
26.     digitalWrite(stepPin, LOW);
27.     delayMicroseconds(1800);
28.   }
29.   *Зупиняє виконання програми на кількість мікросекунд, вказаних у
   параметрі
30.   */
31.   }
32.   delay(1000);
33.   digitalWrite(dirPin, LOW);
34.   /*Установка обертання проти 35.годинникової *стрілки
36.   */
37.   for(int x = 0; x < stepsPerRevolution; x++)
38.   // Створення цикла
39.   {
40.     digitalWrite(stepPin, HIGH);
41.     delayMicroseconds(800);
42.     digitalWrite(stepPin, LOW);

```

```
43. delayMicroseconds(800);  
44. /*  
45.* Зупиняє виконання програми на 46.*кількість мікросекунд, вказаних у  
47.*параметрі  
48*/  
49. }  
50. delay(800);  
51. }
```

ДОДАТОК С

SUMMARY

Атестаційна бакалаврська робота Важинського Євгена Олександровича на тему „Особливості реалізації електронних систем 3D-принтера”.

В сучасному світі виникла необхідність швидкого прототипування і самою вдалою технологією для вирішення цієї задачі є тривимірний друк який реалізує 3D-принтер. Так як сучасні 3D-принтери мають багато переваг та недоліків, які цікаво досліджувати, було обрано тему „Особливості реалізації електронних систем 3D-принтера” для виконання дипломної роботи.

В дипломній роботі досліджувалися технології 3D-друку, був проведений порівняльний аналіз технологій для тривимірного друку, на основі якого було обрано технологію друку FDM (Fused Deposition Modeling) для подальшого проектування та моделювання електронних систем 3D-принтера.

Метою роботи було: розробити рекомендації для практичної реалізації електронних систем 3D-принтеру.

Для досягнення поставленої мети проведено аналіз сучасних технологій 3D-друку. Досліджені сучасні електронні системи 3D-принтеру. Розроблено модель та підключення електронних систем принтера для тривимірного друку. Розроблені засоби підвищення ефективності програмного забезпечення 3D-принтеру. Виявлено переваги та недоліки принтеру. Налаштовано та удосконалено програмне забезпечення Marlin для автономної роботи розробленої електронної системи 3D-принтеру .

Робота містить докладний опис технології 3D-друку. Детально описаний принцип роботи електронної системи 3D-принтеру. Проведено порівняльний аналіз технологій 3D-друку. Запропоновано принцип

підвищення ефективності програми управління 3D-принтера. Змодельовані електронні системи 3D-принтеру, та проаналізовано принцип його роботи.

Отримані результати можуть бути використані для побудови сучасних принтерів для тривимірного друку, використання яких може бути в освітніх так і в професійних цілях.