

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка 3D принтера для виготовлення
деталей та виробів легкої промисловості

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу група РМс-22-2


Підпис

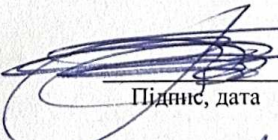
В.О. Мостовий
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Т.П. Романець
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

О.Тимощук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

В.С.Неймак
Ініціали, прізвище

2. 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і назва

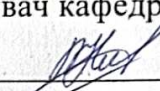
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Шифр і назва

Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


2.06.2025

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мостовий Вадим Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості

керівник роботи Романець Тарас Петрович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи звіт з переддипломної практики, основні кінематичні схеми 3D принтера

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Огляд та аналіз технології та технологічних рішень у сфері 3D-друку. 2 Індивідуальне завдання "Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості". 3 Матеріали які застосовуються для 3D друку. 4 Розрахунки що підтверджують працездатність 3D принтера. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Керуюча плата 3D принтера (Е3, А1). 2. Підключення двигуна (Е3, А2). 3. 3D принтер Mark 3 (СК, А1). 4. Стіл 3D принтера (А2). 5. Види 3D принтерів (ДО, А1). 6. Фото виробів та деталей (ДП1, А2). 7. Порівняння 3D макету та готового 3D принтера (ДП2, А2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

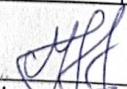

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технології та технологічних рішень у сфері 3D-друку		
2. Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості		
3. Матеріали які застосовуються для 3D друку		
4. Розрахунки що підтверджують працездатність 3D принтера		
5. Оформлення ПЗ та ГЧ		

Студент

Керівник роботи


 Підпис

 Підпис

В.О. Мостовий
 Ініціали, прізвище
Т.П. Романець
 Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Мостовий Вадим Олександрович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 65

5. У підприємствах легкої промисловості важливим напрямом розвитку є впровадження сучасних технологій, зокрема, адитивного виробництва. Однією з ефективних технологій є 3D-друк, який дозволяє виготовляти індивідуальні та малосерійні вироби з високою точністю, зменшуючи виробничі витрати та скорочуючи час розробки нової продукції. У роботі розглянуто розробку конструкції 3D-принтера, призначеного для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості. Проаналізовано види 3D-принтерів та кінематичні схеми їх роботи, обґрунтовано вибір кінематики типу Core XY для досягнення високої якості та швидкості друку. У першому розділі пояснювальної записки виконано огляд сучасних технологій 3D-друку, різновидів кінематики та особливостей застосування у сфері легкої промисловості. У другому розділі розроблено конструкцію 3D-принтера, включаючи технічні характеристики, опис обраної кінематичної схеми, електроніки та компонентів. Третій розділ присвячено аналізу матеріалів для 3D-друку. У четвертому розділі наведено розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою. В додатках представлено креслення та схеми. Розроблений принтер може бути використаний для виготовлення штампів, лекал, фурнітури, а також інших елементів продукції легкої промисловості, що дозволяє оптимізувати виробничі процеси та підвищити ефективність підприємств.

Підпис студента _____

" 2 " 06 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 2 від "25" 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,5/8

Рекомендації ЕК впровадження у виробництво




Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"25" 06 20 25 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз технології та технологічних рішень у сфері 3D-друку	9
1.1 Види 3D-принтерів.....	9
1.2 Різновиди кінематичних схем	12
1.3 Використання 3D-принтера у виробництві деталей та виробів легкої промисловості	23
2 Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості.....	27
2.1 Кінематична схема 3D принтера	27
2.2 Електронна система керування 3D принтера	29
2.3 Підбір крокових двигунів для 3D принтера	33
2.4 Організація праці при роботі з 3D-принтером.....	38
3 Матеріали які застосовуються для 3D друку	41
3.1 Матеріали які використовуються для FDM ТА SLA 3D друку.....	41
3.2 3D-друк SLS	50
4 Розрахунки що підтверджують працездатність 3D принтера	54
4.1 Конструкція 3D-принтера Mark 3.....	54
4.2 Розрахунок гвинтової пари для вісі Z	58
Висновки	62
Перелік посилань.....	63
Додатки.....	65

БРМА 25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата	Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Мостовий В.О.				б	4	65
Перевір.		Романець Т.П.				ХНУ, гр. РМс-22-2		
Н.контр.		Неймак В.С.						
Затвер.								

Вступ

Технологію 3D друку запатентовано у 80-х роках минулого століття, але популярність отримала порівняно нещодавно. Розроблено нові, перспективні методики і можливості 3D-технологій вийшли на абсолютно новий щабель. Однак і до сьогодні методика відома не в усіх колах, і зовсім не кожен обізнаний, що таке 3D друк.

3D-друк - це методика виготовлення об'ємних виробів на основі цифрових моделей. Незалежно від конкретної технології, сенс процесу полягає в пошаровому відтворенні об'єктів. У цьому процесі застосовується спеціальний електронний пристрій - 3D принтер, котрий друкує певними видами матеріалів. Докладніше про нього написано тут. Інші назви технології - швидке прототипування або адитивне виробництво. Часто словосполучення «адитивні технології» використовується у значенні «3D технології». Етапи 3D друку:

- виконується 3D моделювання необхідного об'єкта за певними правилами;
- файл з цифровою моделлю завантажується в програму-слайсер, в якій генерується керуючий код для 3D принтера
- встановлюються необхідні параметри 3D-друку;
- код записується на знімний носій пам'яті, який підключається до 3D принтеру;
- 3D модель відтворюється.

Відтворення об'єктів відбувається поступово. За необхідної форми шар за шаром наноситься обраний матеріал, формуючи готовий виріб. Варто відзначити, що можливості 3D-друку практично безмежні, тобто виготовити можна все що завгодно. У деяких технологіях для дуже тонких нависаючих елементів передбачено наявність підтримок, завдяки яким можна уникнути їх провисання.

Для відтворення різних об'єктів використовуються різні технології 3D друку. Вони відрізняються як застосовуваними витратними матеріалами, так і швидкістю і точністю друку.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перелічимо основні технології 3D друку:

- моделювання методом наплавлення (fused deposition modeling, fdm). Одна з найпоширеніших технологій 3D друку, застосовується в більшості настільних 3D принтерів і являє собою ідеальне співвідношення ціна / якість. друк відбувається за допомогою пошарового подачі нитки розплавленого пластику;

- стереолітографія (laser stereolithography, sla). Формування об'єкта відбувається за рахунок пошарового засвічування лазером рідкої фотополімерною смоли, яка твердіє під впливом випромінювання. одна з варіацій даної технології - dlp 3D друк. у ній замість лазера застосовується спеціальний проектор. обидва методи 3D друку застосовуються для створення об'єктів з високим ступенем деталізації. у разі dlp друку додатковою перевагою є також швидкість;

- селективне лазерне спікання (selective laser sintering, sls). Відтворення виконується за рахунок пошарового плавлення спеціального порошку під дією лазерного випромінювання. цей метод 3D друку широко застосовується в промисловості для виготовлення міцних металевих елементів.

Актуальність теми 3D-друку, також відомого як адитивне виробництво, нещодавно значно зросла і продовжує залучати широку увагу у багатьох галузях. 3D-друк вважається революційною технологією, яка змінює спосіб, яким ми виробляємо різноманітні продукти і розв'язуємо проблеми.

Одним із ключових факторів актуальності 3D-друку є його потенціал в розробці інноваційних продуктів та виробництві на замовлення. 3D-принтери дають змогу створювати складні геометричні форми, які раніше були недосяжні для традиційних виробничих методів. Це відкриває нові можливості для дизайнерів, інженерів та виробників у багатьох галузях, включаючи медицину, авіацію, автомобілебудування, моделювання і багато інших.

Додатковою актуальністю 3D-друку є його потенціал у скороченні часу та витрат на виробництво. Традиційні методи виготовлення продуктів можуть бути часо- та витратоємними, особливо при виробництві невеликих серій або унікаль-

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

них деталей. За допомогою 3D-друку можна зменшити час на підготовку виробництва та економити матеріали, оскільки принтер використовує лише необхідну кількість матеріалу для створення об'єкта.

Крім того, 3D-друк може бути використаний для створення прототипів і тестування концепцій, що дозволяє швидше та ефективніше впроваджувати нові ідеї та вдосконалювати продукти. Це особливо важливо в динамічних галузях, де швидкість інновацій і відгук на ринку визначають успіх підприємства.

Застосування 3D-друку також розглядається в контексті створення персоналізованих продуктів, включаючи медичні імпланти, індивідуально виготовлені вироби та предмети масового споживання. Це дозволяє виробникам пристосовуватися до потреб клієнтів і створювати унікальні рішення, що забезпечує конкурентну перевагу на ринку.

Отже, актуальність теми 3D-друку проявляється в його потужному потенціалі для інновацій, виробництва на замовлення, ефективності витрат та часу, прискорення процесу розробки і виготовлення, а також персоналізації продуктів. Ця технологія продовжує розвиватися та захоплює все більше галузей, що робить її темою високого інтересу і дослідження.

У воєнний час 3D-друк є дуже корисним завдяки своїй гнучкості у використанні та швидкості, що позбавляє логістичних проблем, пов'язаних з транспортуванням необхідних деталей та матеріалів. Багато 3D-принтерів відносно малогабаритні й можуть встановлюватися у підвальних бункерах, що ідеально підходить для виробництва у воєнний час. Крім того, технологія дозволяє виробляти деталі у великих масштабах у кількох місцях одночасно. А дизайн деталей можуть бути доступні декільком підприємствам або окремим виробникам у цифровому вигляді одночасно, що робить її певним чином призначеною для використання під час кризи або війни. На принтерах, друкують засоби захисту, джгути, перископи та інші необхідні матеріали.

Також 3D принтери застосовуються в сфері будівництва. У Львові вперше в Україні за допомогою 3D-принтера будують школу на вул. Варшавській, 126. Це буде новий корпус для початкових класів школи №23 . Тут зможуть навчатися

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

близько 100 учнів. Завершити будівництво планують вже у червні, а запустити корпус в експлуатацію – з початку нового року.

Організаторами та ініціаторами проекту будівництва 3D-школи є гуманітарний фонд Team4UA за підтримки міжнародного технологічного гуманітарного фонду Humanitarian Innovative Technologies (HIT). Технологічні партнери проекту – данська компанія-розробник технології 3D-друку Cobot та будівельна компанія 3DCP Group, яка керує роботою принтера.

Будівництво навчального корпусу розпочалося у листопаді 2022 року. На першому етапі команді проекту вдалося закласти фундамент майбутньої школи, але згодом процес будівництва довелося зупинити через масовані ракетні обстріли України, нестачу електропостачання та нестабільні погодні умови. Тому активну фазу робіт вирішили відновити навесні 2023 року. Для продовження робіт до Львова спеціально доставили 3D-принтер. Він формує стіни зі спеціальної суміші на основі цементу. У принтер закладені точні координати [1].

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз технології та технологічних рішень у сфері 3D-друку

1.1 Види 3D-принтерів

3D-принтер — пристрій, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифровою 3D-моделлю.

Лазерна стереолітографія — об'єкт формується зі спеціального рідкого фотополімеру, який твердне під дією лазерного випромінювання (або випромінювання ртутних ламп). При цьому лазерне випромінювання формує на поверхні поточний шар розроблюваного об'єкта, після чого, об'єкт занурюється у фотополімер на товщину одного шару, щоб лазер міг перейти до формування наступного шару.

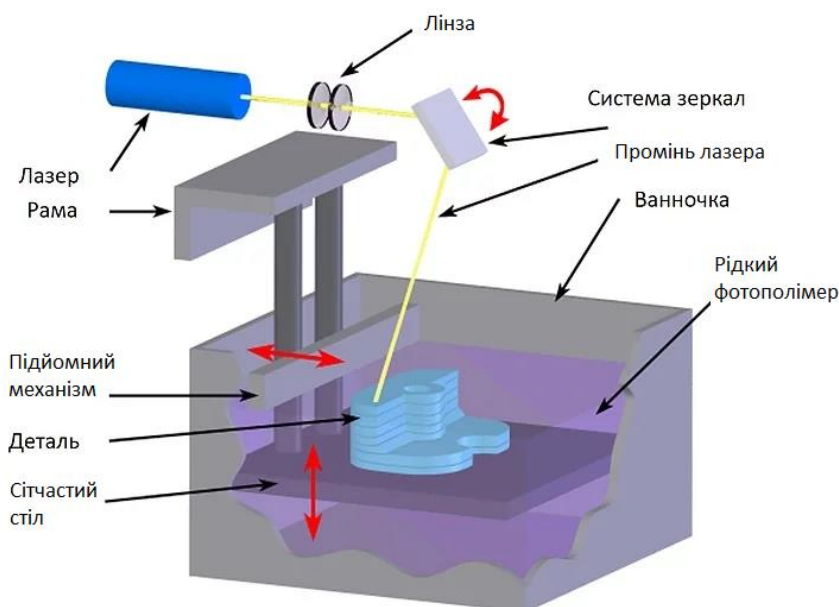


Рисунок 1.1 – Спрощена схема виготовлення виробу за технологією SLA

Селективне лазерне спікання — об'єкт формується з плавкого порошкового матеріалу (пластик, метал) завдяки його плавленню під дією лазерного випромінювання. Порошкоподібний матеріал наноситься на платформу тонким рівномірним шаром (зазвичай спеціальним вирівнювальним валиком), після чого лазерне

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

випромінювання формує на поверхні поточний шар виготовлюваного об'єкта. Потім платформа опускається на товщину одного шару, і на неї знову наноситься порошкоподібний матеріал.

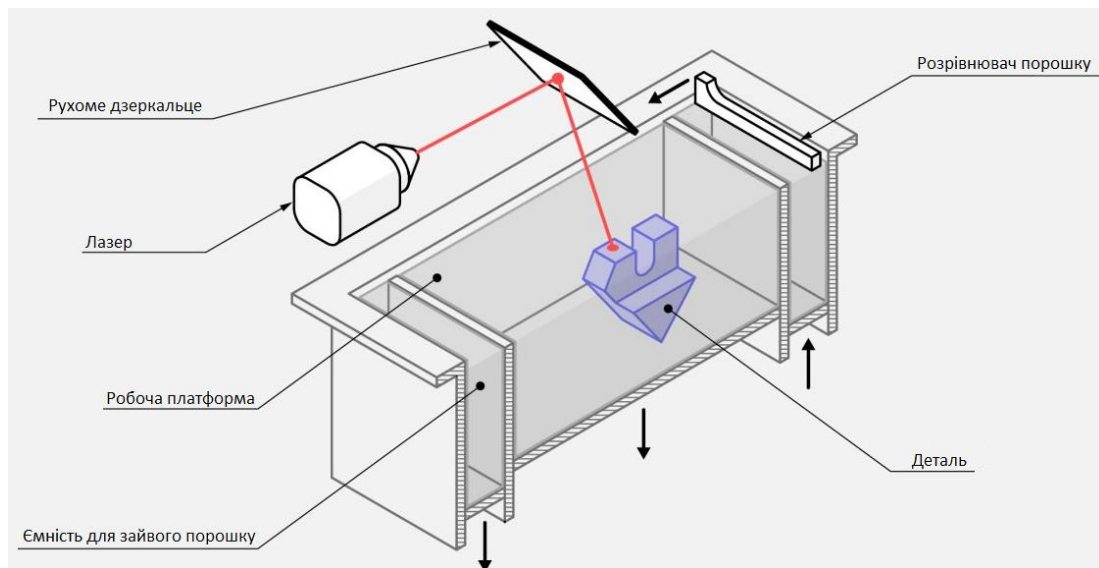


Рисунок 1.2 – Спрощена схема виготовлення виробу за технологією SLS

Застосовується для швидкого прототипування, тобто швидкого виготовлення прототипів моделей і об'єктів для подальшого доведення, завдяки якому вже на етапі проектування можна кардинальним чином змінити конструкцію вузла або об'єкта в цілому. В інженерії такий підхід дозволяє істотно знизити витрати на виробництво та освоєння нової продукції.

Технологія 3D-друку також придатна для швидкого виробництва — виготовлення деталей з матеріалів, підтримуваних 3D-принтерами. Це вдале рішення для випуску малосерійної продукції, виготовлення моделей і форм для ливарного виробництва тощо.

Технології виготовлення об'ємних предметів методом пошарового наплавлення матеріалу понад тридцять років, вона одна з найперших, тому що ідея її проста і очевидна. Вона ж досі найпопулярніша, і так буде ще довгий час, принаймні у побуті, завдяки своїм перевагам. Досить висока якість та точність, простота, а також невисока вартість обладнання, матеріалів та готових виробів – ось причини успіху FDM.

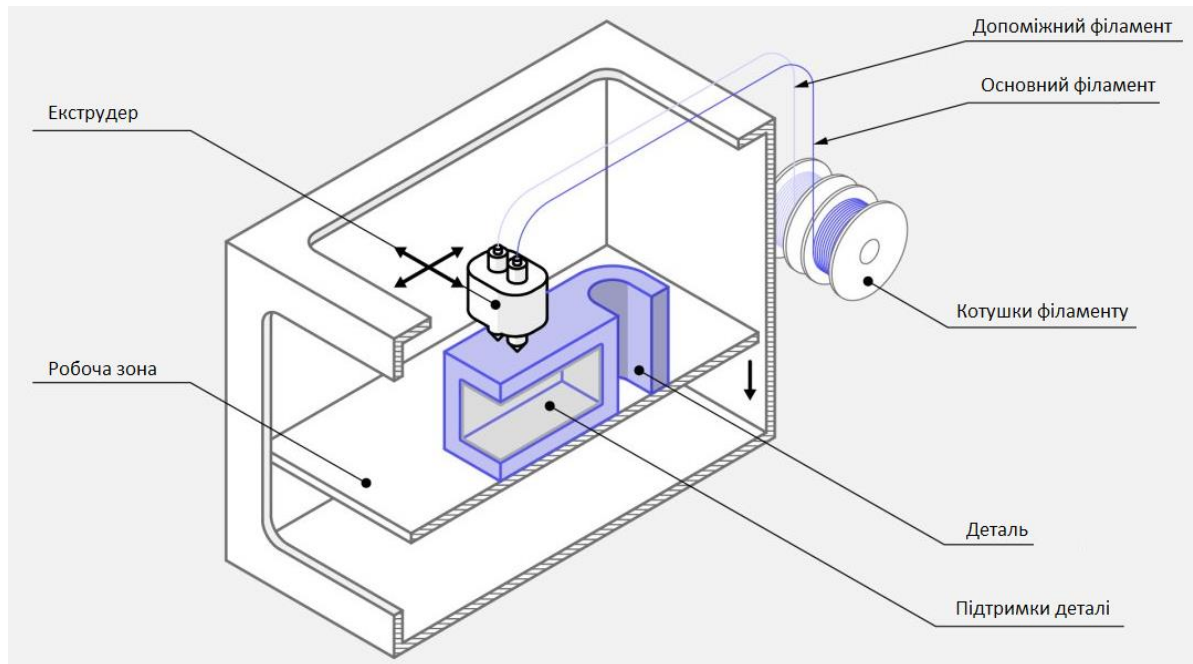


Рисунок 1.3 – Спрощена схема виготовлення виробу за технологією FDM

FFF-принтери (Fused Filament Fabrication, "виробництво методом наплавлення ниток"), також відомі як принтери FDM (від Fused Deposition Modelling, "моделювання методом наплавлення"). Є пристроями для створення тривимірних об'єктів, як відомо з назви, шляхом пошарового нанесення на робочу поверхню розплавленого термопластика [2].

Зрозуміло, метод має і недоліки, а саме:

- необхідність налаштовувати параметри друку під кожен вид пластику і навіть на пластики одного типу різних виробників та партій;
- точність та дозвіл по осях XY обмежена діаметром сопла;
- по осі Z утворюються лінії шарів, видимі та відчуються навіть при мінімальному кроці;
- нависаючі частини деталі потребують підтримки, що призводить до ускладнення друку, перевитрати матеріалу, зниження якості поверхні;
- структура деталі виходить неоднорідною за міцністю, поперек шарів максимальне навантаження, що витримується нижче, ніж уздовж;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

- деталі з пластиків, що володіють навіть невеликою термоусадкою, коробляться під час друку через нерівномірне нагрівання і остигання, відриваються від столу і спотворюють геометричні розміри;

- обмеження за фізичними властивостями матеріалів друку.

Проте недоліки перекриваються перевагами, а саме:

- висока швидкість та низька вартість прототипування;
- відносно проста та недорога конструкція принтерів, доступна ціна;
- великий вибір та невисока вартість витратних матеріалів;
- прийнятна швидкість друку, в порівнянні з іншими технологіями;
- точність розмірів порядку десятої міліметра і вище, чого достатньо для переважної кількості виробів;
- міцність, при деяких матеріалах та правильно підібраних параметрах друку, наближається до міцності литих виробів.

Незважаючи на те, що всі принтери FDM працюють за одним принципом, а саме пошаровим наплавленням - конструктивні відмінності між окремими їх видами дуже суттєві. Розглянемо, у чому між ними різниця, а також їх сильні та слабкі сторони.

1.2 Різновиди кінематичних схем

Основних частин у будь-якого FDM принтера всього дві: стіл (він же платформа), на якому кріпиться деталь, що друкується, і екструдер - вузол, з якого подається розм'якшений матеріал. Усього, як відомо, у тривимірного об'єкта три осі – X, Y та Z, де Z – традиційно вертикальна. Те, як два елементи принтера ділять ці три напрямки, є принципом роботи кожного з видів.

Кожен 3D-принтер має власну кінематичну схему, згідно з якою рухаються механічні частини пристрою: платформи та екструдери. Тепер ми розповімо про поширені кінематичні схеми.

Картезіанська кінематика

Найпоширенішими є 3D-принтери з картезіанською кінематикою. Вони засновані на декартовій системі координат, осі X, Y і Z. За ними задаються координати, якими друкуюча головка і платформа столу змінюють положення.

Спочатку поговоримо про кінематичні схеми, в яких стіл 3D принтера переміщається по одній з горизонтальних осей. Кінематика "Prusa" (пруша) також відомий як "дригостіл" - найпростіша, компактна недорога схема, названа на честь свого винахідника, різновид принтерів, що продається, в побутовому секторі. Стіл рухається в одній горизонтальній осі, як правило, Y, а екструдер рухається по решті двох. За кожен напрямок відповідає свій двигун, на деяких моделях за вісь Z абсолютно одночасно працюють два.



Рисунок 1.4 – 3D-принтер Prusa I3 MK3S

Переваги:

- проста конструкція, яку можна зібрати самостійно;
- невисока ціна комплектуючих та самого принтера;
- за процесом друку зручно спостерігати;
- легкий доступ до деталей, яким може знадобитися обслуговування;

Недоліки:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- відкритий тип принтера. Це погіршує якість друку матеріалами, які чутливі до перепадів температур, або може взагалі зробити її неможливою;

- інертність, пов'язана із нагрівальним столом 3D принтера. Стіл переміщується по осі Y з немалою швидкістю, а разом з ним під час друку переміщується і сама модель. У результаті, під час друку високих і тонких моделей на великих швидкостях сильно погіршується якість друку. Щоб отримати швидкий, якісний результат для моделей з такою геометрією, доводиться ґрунтовно підходити до налаштувань слайсингу.

H-Bot - складніша схема, якою володіють, як правило, дорожчі принтери. Стіл рухається виключно вгору-вниз, по осі Z. Каретка з екструдером переміщається над столом по осях X та Y за допомогою одного ремня та двох узгоджено працюючих двигунів.

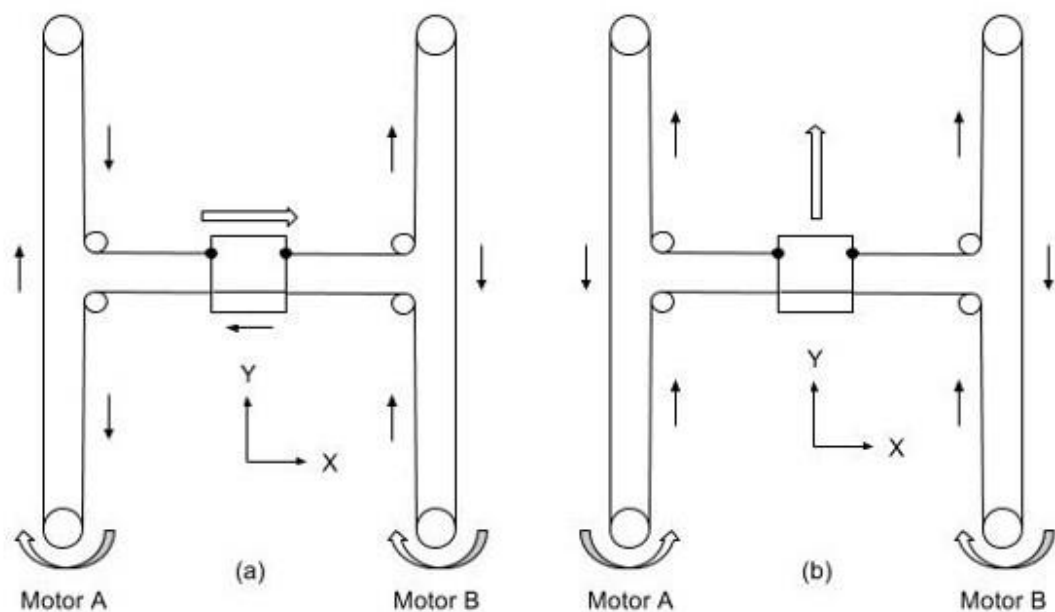


Рисунок 1.5 – Зображення руху по осях XY кінематичної схеми H-Bot

Core XY багато в чому повторює H-Bot, але відрізняється наявністю двох зубчастих ременів. Найчастіше професійні 3D принтери компонуються за цими кінематичними схемами.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

З різної схеми установки ременів випливають основні різницю між H-Vot і Core XY. У H-Vot зусилля, що переміщують балку осі X по осі Y можуть перекосити її, після чого конструкція потребуватиме відновлення. У зв'язку з цим, кріплення балки осі X і сам її профіль повинні бути якісними і добре продуманими, що в кінцевому підсумку позначається на витратах при виробництві принтера. У Core XY ця проблема відсутня.

Ще одне вразливе місце цих кінематик – зубчасті ремені. Через велику довжину, класичні ремені GT2-6 можуть помітно розтягнутися за невеликий проміжок робочого часу, що безсумнівно позначиться на якості друку та працездатності принтера. Цей момент більше відноситься до кінематики H-Vot, тому що там використовується один дуже довгий зубчастий ремінь, протягнутий через всю конструкцію. Однак при масштабуванні габаритів всього механізму збільшення обсягу робочої камери, в якийсь момент ця проблема може з'явитися і на Core XY.

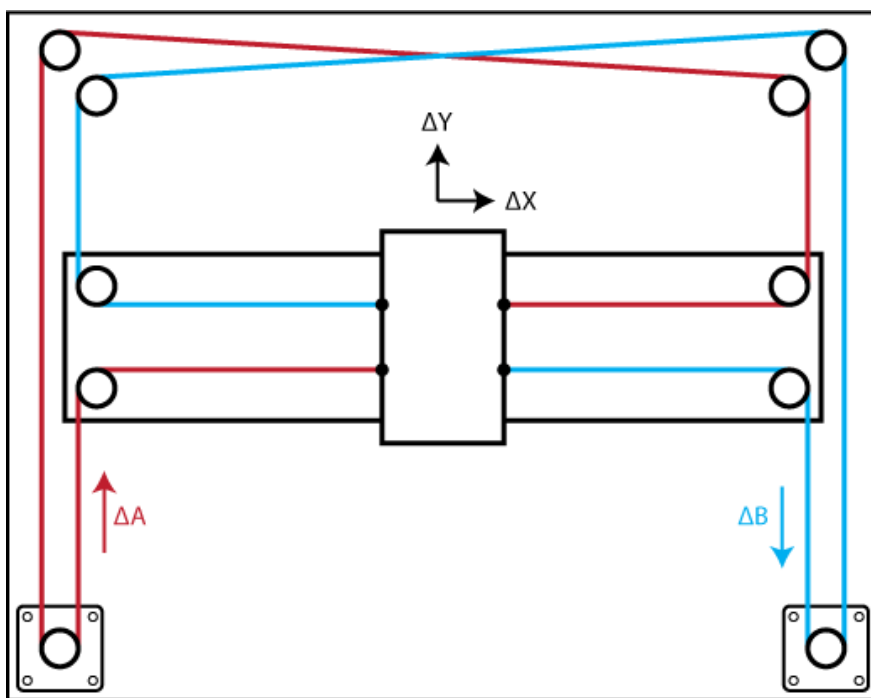


Рисунок 1.6 – Зображення руху по осях XY кінематичної схема Core XY

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Там теж використовуються досить довгі зубчасті ремені, хоч і дуже коротші, у порівнянні з H Bot. У результаті, при масштабуванні таких кінематик варто приділити особливу увагу підбору відповідного зубчастого ременя, щоб при роботі він не провисав і зміг прослужити досить довгий час.

Переваги:

- висока жорсткість конструкції;
- можливість забезпечити високоточний якісний друк при прийнятній швидкості;
- рівномірна якість друку в будь-якому місці робочого простору;
- відсутність інертності, що викликається рухом столу.

Недоліки:

- розмір принтера вдвічі-втричі більший за друкований обсяг;
- висока вартість;
- складний ремонт;
- схильність до перекосів каретки (для H-Bot).

До речі, 3D-принтер Mark 3, так само спроектований мною власноруч на основі кінематики Core XY.

Кінематика "Makerbot"

На перший погляд ця кінематика схожа на Core XY і H Bot, голова, що друкує, переміщається по осях X і Y, а стіл 3D принтера переміщається по вертикальній осі Z. Її відмінність в тому, що для осей X і Y використовуються різні ремені і крокові двигуни. Один кроковий двигун переміщається по осі Y разом з кареткою екструдера, він відповідає за переміщення друкуючої голови по осі X, контролюючи їх через окремий ремінь. А за переміщення по осі відповідає інший кроковий двигун і своя система ременів.

Переваги:

- зубчасті ремені, що використовуються в конструкції, не мають великої довжини і не схильні до розтягування;
- хороша якість результатів 3D друку при досить високій швидкості;

- таку кінематику легко зібрати в закритий корпус, щоб друкувати філамен-
тами, чутливими до перепадів температур;

- хороша масштабованість завдяки порівняно коротким зубчастим ременям.

Недоліки:

- кроковий двигун осі X рухається разом з друкуючою головою по осі У,
через що каретка набуває додаткової ваги;

- кроковий двигун розташовується з краю від напрямних осі X, через що
конструкція цієї осі отримує зміщення центру мас в одну зі сторін, що може поз-
начитися на якості друку.

Кінематика "Ultimaker"

Ще одна кінематика, в якій стіл переміщається вертикально, а голова, що
друкує, у двох осях, X і У. Її основна відмінність - напрямні вали, розташовані
перпендикулярно один до одного і проходять крізь каретку хотенду або екструзу-
дера. Ці вали повинні бути максимально рівними. Від цього залежить як працез-
датність принтера, так і якість його друку. Також особливу увагу в цій кінематиці
потрібно приділити і підшипникам ковзання. Зазвичай як підшипники використо-
вують втулки. Управління переміщеннями по осях X та У розділене. Двигуни вста-
новлені на корпус принтера та не ускладнюють переміщення своєю вагою. Для
кожної осі окремо використовується свій кроковий двигун та окремі зубчасті ре-
мені, часто замкнуті. Безпосередньо до друкуючої голови ремені тут приєднувати
не доведеться.

Переваги:

- короткі зубчасті ремені;

- крокові двигуни розташовані на корпусі;

- мала вага друкованої голови, висока швидкість переміщення;

- гарна якість друку.

Недоліки:

- дуже високі вимоги до якості напрямних валів та підшипників;

- погана масштабованість, пов'язана з першим мінусом.

А тепер розглянемо одну складну, але цікаву картезіанську кінематику, в якій друкована голова може переміщатися відразу в трьох осях - Core-XYZ

Кінематика, що нагадує Core-XY, але ще складніша, порівняно з нею. Тут екструдер може переміщатися у всіх трьох осях, а стіл нерухомо закріплений у нижній частині конструкції. У домашніх DIY варіантах таких принтерів переміщення по всіх осях контролюються зубчастими ремнями, кожен зубчастий ремінь простягається через всі три осі. Принтер з такою кінематикою непросто зібрати, зате процесом друку в ньому дуже цікаво спостерігати. Друкована модель залишається абсолютно нерухомою протягом усього процесу друку, як у Дельта-принтерах, які ми обговоримо трохи пізніше, Core-XYZ дозволяє уникнути мінусів дельта-кінематики.

Переваги:

- жорстка конструкція;
- висока точність;
- модель під час друку залишається абсолютно нерухомою.

Недоліки:

- дуже складний процес складання, велика кількість складальних одиниць;
- підвищені вимоги до електроніки та якості деталей механічної складової принтера;
- складна масштабованість через довгі зубчасті реміні.

Для багатьох перерахованих вище кінематик є цікаві модифікації, які підвищують функціонал 3D принтера. Одна з них називається IDEX

Приставку IDEX використовують для принтерів, що мають два екструдери, які пересуваються по осі X незалежно один від одного. Ці переміщення можливі завдяки двом незалежним кроковим двигунам, кожен із яких з'єднаний з однією з друкованих голів своїм зубчастим ремнем. Така модифікація дозволяє по черзі друкувати двома пластиками одну деталь або дві однакові (або симетричні) деталі одночасно.

Конвеєрний принтер - ще одна цікава модифікація 3D принтера. По суті, вона має два різновиди. Перший різновид є, швидше, окремою повноцінною кінематикою, спочатку розберемо її.

Відмінності дві: перша конструкційна - стіл виконаний у вигляді закріпленої стрічки, на кшталт тих, що використовуються в бігових доріжках, і це дозволяє розширити робочу область по осі Y на дуже велику відстань, теоретично хоч до нескінченності. Друга відмінність - вісь Z повинна бути розташована не традиційно вертикально, а під кутом до осі руху столу. Таке компонування дозволяє друкувати вироби будь-якої довжини за один прохід, не дригаючи столом. Технологія досить цікава і має особливі переваги, а саме – друк об'єктів, що перевершують за довжиною розмір принтера, а також можливість зручної автоматизації серійного друку 3D.

Другий різновид – це просто встановлення конвеєрного столу замість класичного. Ця варіація простіше і не дозволяє друкувати «нескінченні» по довжині об'єкти, зате її можна встановити практично на будь-яку кінематику принтера, і запускати на друк по черзі потрібну кількість об'єктів. А зняттям деталі зі столу займається конвеєр [3].

Дельта-кінематика

Дельта принципово відрізняється від попередніх, які виконані за класичною декартовою механічною схемою: три виміри – три осі. У дельти всі три осі одночасно відповідають за положення друкувальної голівки у просторі, що обчислюється за хитрою формулою. Відрізняється навіть стіл, він у дельти абсолютно нерухомий і практично має круглу форму. При такому компонуванні всі важкі компоненти залишаються на корпусі принтера, і голова повинна бути легкою і малоінертною. Завдяки довгим важелям навіть невеликий рух на одній з осей принтера викликає кратне зміщення екструдера. Все це дозволяє розвивати дельті найбільші швидкості друку всіх FDM принтерів. І ще Дельта, мабуть, найкомпактніший принтер у горизонтальній проекції, на столі займає мінімум місця, трохи більше друкованої області, весь основний об'єм, включаючи котушку з пластиком, йде вгору, що дуже зручно для невеликих приміщень і дозволяє легко встановлювати

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

його в шафах. та подібних "термокамерах". Втім, придбати і зробити компактну камеру прямо на корпусі принтера також не складно. Обмежує предмет, що друкується, у розмірах X-Y, але дуже хороший для створення високих об'єктів.

Переваги:

- найвища швидкість друку;
- непогана якість, яка сильно залежить від жорсткості корпусу.

Недоліки:

- на бюджетних моделях якість та дозвіл друку падає від центру столу до країв;
- складно відрегулювати нульовий рівень столу, для цього принтер робить численні вимірювання по всій поверхні і зберігає їх у пам'яті, але найменший люфт або зміщення геометрії знецінює ці дані і змушує проводити вимірювання спочатку;
- складна конструкція, яка дуже вимоглива до якості комплектуючих, з яких збирається механічна складова;
- складний у ремонті.

Полярна кінематика

Як впливає з назви, головна відмінність у заміні декартових координат на полярні у горизонтальній площині. Перший варіант - беремо Прущу і змушуємо стіл рухатися не сюди-туди по осі Y, а обертатися навколо власної осі. Технологія цікава, але досить специфічна. Таким чином можна надрукувати будь-який тривимірний об'єкт, але помітне падіння точності від центру до країв столу не дасть насолодитися бездоганною якістю виробу. Використовувати таку кінематичну схему має сенс створення тіл обертання, наприклад ваз, кухлів, ущільнювачів та інших сферичних поверхонь.

Другий варіант - принтер стоїть у центрі кола і друкує об'єкт навколо себе, обертаючись і піднімаючись з кожним шаром. Насправді так влаштований будівельний принтер, що друкує будинки бетоном замість пластику. Завдяки полярній схемі друку пристрій максимально компактний і мобільний. Взагалі, ідея будівельних 3D принтерів дуже цікава та перспективна, але це вже зовсім інша історія.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Роботизовані маніпулятори

Промислові маніпулятори дуже функціональні і точні. І, природно, інженери вже не раз фіксували в їхній руці екструдер і вчили виводити їм правильні криві. Друк з маніпулятора може вестися як традиційно пошарово, так і подібно до 3D-ручки - витягувати лінії прямо в повітрі між заданими точками, що, звичайно, вже не є класичним друком FDM. Поки що такий спосіб виробництва моделей знаходиться на стадії розробки і служить більше для забави та демонстрації можливостей маніпуляторів, і вони справді варті захоплення.

SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) – це кінематика, яка базується на переміщенні екструдера в горизонтальній площині (X та Y) за рахунок зчленування важільного механізму. Переміщення екструдера вгору-вниз (вздовж осі Z) разом з цим механізмом вертикальної напрямної.

Такі прилади мають високу точність і повторюваність, при роботі видають мінімум шуму і вібрацій. SCARA за деталізацією друку перевершили і картезіанські моделі: різниця ще й у тому, що перші працюють відчутно швидше. Така кінематика зазвичай використовується в роботах, що застосовуються в автоматизованому або напівавтоматизованому виробництві, і, відповідно, до них застосовуються особливо високі вимоги щодо надійності та довговічності. Такі роботи повинні витримувати багатогодинні робочі зміни, і коштують вони відповідно не дешево.

Переваги:

- точність друку;
- висока швидкість друку;
- невеликі габарити та маса.

Недоліки:

- обмеження жорсткості в зоні осей X і Y;
- висока вартість;
- не найширша сфера використання.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

П'яти осьові принтери

П'яти осьові або 5D принтери - це окремий клас професійного обладнання. Завдяки додатковим осям, в яких можна переміщати модель в процесі друку, з'являється ряд переваг, які можуть бути корисними як для виготовлення інженерної продукції, так і для створення цікавих дизайнерських та художніх рішень. У більшості випадків, кінематика п'ятиосьових принтерів ділиться на два блоки: перший блок переміщує друкуючу голову, яка має дві осі свободи, як у багатьох картезіанських кінематиках, а другий блок переміщується друкований стіл принтера, у якого, крім переміщення по осі Z, з'являється одна вісь обертання навколо своєї осі, розташована перпендикулярно до поверхні столу, і друга вісь обертання, розташована паралельно поверхні столу, яка дозволяє нахилити стіл на потрібну кількість градусів.

Шари та положення ниток пластику в моделі тепер можуть бути розташовані не паралельно, а багатьма іншими способами. Це дозволяє отримувати надруковані моделі з більшою міцністю. Крім цього, завдяки можливості продовжувати друк буквально збоку моделі, є можливість позбутися величезної кількості підтримуючих структур, які в 3D принтерах необхідно друкувати паралельно з деталлю для того, щоб зберегти потрібну геометрію у результаті друку. Одночасне використання п'яти осей дозволяє без особливих технічних складнощів отримувати надруковані моделі.

Суперечки у тому, якого типу принтер краще, який гірше, тривають з появи цих типів у природі. Насправді, однозначно відповісти на це питання неможливо, у кожного є свої сильні та слабкі сторони. Багато залежить від передбачуваної сфери застосування, допусків розмірів та інших параметрів. Якщо важлива швидкість, вибір за дельтою, якщо точність і якість, за Core XY, якщо потрібне збалансоване та недороге рішення, то не розчаруєтесь у Пруші. Побутові та професійні принтери випускаються всіх типів, всі вони мають право на існування та гідні своїх завдань, благо вибір зараз широкий і кожен знайде те, що шукає.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.3 Використання 3D-принтера у виробництві деталей та виробів легкої промисловості

Задля продукування деталей та виробів методом 3D-друку презентовано інноваційну технологію, яка охоплює усі необхідні стадії для розгортання виробництва – від вибору та перевірки сировини до випробувань надрукованих готових виробів чи деталей легкої промисловості [4].

Визначено 7 основних етапів виробництва.

Етап 1 - дослідження і вибір сировини. На цьому етапі потрібно відібрати і проаналізувати сировину: вихідний матеріал, з якого потім будуть виготовлятися деталі чи вироби легкої промисловості.

Етап 2 - друк на принтері. Вивчити придатність матеріалу до друку та підібрати його оптимальні налаштування (точність друку, товщина шару, швидкість друку, температура екструдера).

Етап 3 - механічні випробування надрукованих зразків із отриманої пробної партії матеріалу – дослідження міцності на розрив, стискання, вигин тощо.

Етап 4 - моделювання процесу руйнування зразка деталі.

Етап 5 - друк зразка за оптимальних налаштувань обладнання тривимірного друку.

Етап 6 - механічні випробування надрукованих зразків виробів чи деталей легкої промисловості, одержаних з гранул чи подрібнених відходів полімеру.

Етап 7 - виготовлення готових виробів чи деталей легкої промисловості методом FDM-друку на пристрої тривимірного друку.

3D принтер можливо безпосередньо інтегрувати у виробничі процеси легкої промисловості для виготовлення функціональних та декоративних елементів.

Приклади практичного застосування:

- створення прес-форм для лиття пластмасових елементів: За допомогою 3D-друку виготовляються точні прес-форми для лиття гудзиків, пряжок, застібок, декоративних вставок у вироби з тканини або шкіри. Це дозволяє оперативно змінювати дизайн і економити на вартості традиційних металевих форм;

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- Друк прототипів текстильних аксесуарів: Наприклад, друкуються пробні зразки підошов для взуття, декоративні елементи для сумок, оздоблювальні вставки для одягу, щоб перевірити їх форму, зручність і естетичний вигляд перед запуском у масове виробництво;

- Виготовлення штампів і лекал: 3D-принтер використовується для друку штампів, які потім застосовуються для нанесення візерунків(рисунок 1.7), тиснення на шкірі або текстилі. Також друкуються лекала для розкрою тканини, що спрощує процес підготовки матеріалів;- Виготовлення штампів і лекал: 3D-принтер використовується для друку штампів, які потім застосовуються для нанесення візерунків(рисунок 1.7), тиснення на шкірі або текстилі. Також друкують лекала для розкрою тканини, що спрощує процес підготовки матеріалів;

- Друк готової фурнітури: Малосерійне або індивідуальне виробництво застібок, кліпс, елементів ювелірної фурнітури (наприклад, сережки, підвіски, брошки), які можна одразу використовувати у готових виробах;



Рисунок 1.7 –Приклад штамбу для нанесення логотипу бренду

- Виробництво еластичних елементів: Застосування гнучких полімерних ниток (TPU, Flex) дозволяє друкувати м'які з'єднувальні частини — наприклад, еластичні вставки у спортивному одязі або адаптивні компоненти для взуття;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

- Формування складних декоративних структур: За допомогою 3D-друку створюють складні сітчасті або ажурні конструкції для вставок у взуття (рисунки 1.8), створення індивідуальних елементів для взуття, таких як: декоративні лейби, шильдики, етикетки, пришивні аплікації; ортопедичні устілки; пряжки;

- Виготовлення нових або замінних деталей для ремонту та сервісу швейного обладнання, таких як: шестерні, ролики, кріплення тощо. Також методом тривимірного друку можна створювати спеціалізовані інструменти та пристосування для полегшення роботи з швейним обладнанням [5].



Рисунок 1.8 – Приклад надрукованого взуття з застосуванням гнучких полімерних ниток

Окрім згаданих варіантів застосування 3D-друку в сфері легкої промисловості, наявні інші перспективні напрямки використання цієї технології. Зокрема, тривимірний друк може застосовуватись для виготовлення спеціалізованого оснащення та інструментів, що оптимізують виробничий процес, як-от: лекала для вишивки або розкрою тканини. Значним є також напрямок розробки ергономічних компонентів для одягу та взуття, скажімо, ортопедичних устілок. Вони створюються з врахуванням індивідуальних потреб кожного споживача. 3D-друк здатен

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

забезпечити виготовлення різноманітних компонентів та виробів для потреб військових та цивільного населення. До того ж, 3D-друк може використовуватись для експериментів з передовими матеріалами та технологіями. Це відкриває нові можливості для інновацій у дизайні та виробництві продукції легкої промисловості та інших галузей. У результаті він перетворюється на важливий інструмент для стимулювання інновацій, адаптивності та ефективності в легкій промисловості, сприяючи більш стійкому та раціональному використанню ресурсів.

Відтак, 3D-принтер виступає технологічним інструментом для малосерійного чи індивідуального виробництва, дозволяючи зменшити виробничий цикл, швидше представляти нові продукти на ринку, а також кастомізувати продукцію відповідно до вимог клієнтів. Це надзвичайно доступний метод виготовлення деталей та виробів в умовах розробки нових зразків або їх прототипування.

Висновок до першого розділу.

У першому розділі відбувся детальний огляд та розбір технологій і технічних підходів у сфері 3D-друку. Були розглянуті типи 3D-принтерів, акцентуючи увагу на методах створення об'єктів, з використанням спрощених схем. Крім того, було проаналізовано різні кінематичні схеми, виявлено їхні переваги та недоліки, а також приклади їх практичного використання у виробництві деталей та продукції для легкої промисловості. Представлено численні приклади застосування 3D-принтера в процесі створення елементів та виробів легкої промисловості.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 Розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості

2.1 Кінематична схема 3D принтера

3D принтер використовує декартову систему координат (рис. 2.1), кінематика Пруша. Декартова - коли в конструкції використовуються три взаємно-перпендикулярні напрямні, уздовж кожної з яких рухається або друкувальна головка, або основа моделі, в нашому випадку основа моделі.

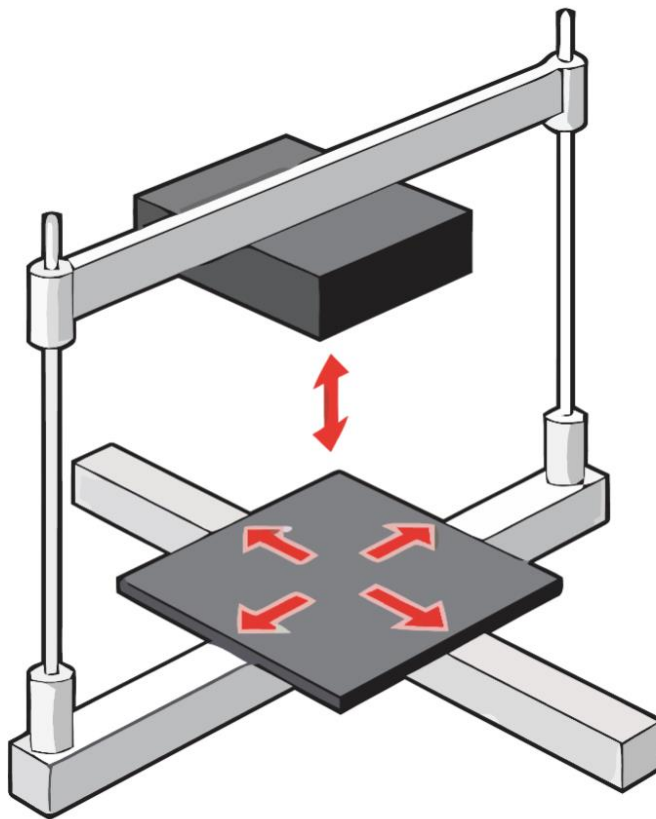


Рисунок 2.1 – Декартова система координат

В даній кінематичній схемі вісь Y рухається окремо від інших двох. Кроковий двигун типу Nema17 має на своєму валу 20 зубчастий шків діаметром 16мм який за допомогою пасу GT2 рухає стіл принтера.

Вісь Z підіймає вузол осі X за допомогою передачі гвинт гайка ковзання. Трапецеїдальний ходовий гвинт 365мм в довжину з діаметром 8 мм має крок 2мм

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
27

та виготовлений з нержавіючої сталі. Матеріал гайки бронза, висота 15мм, діаметр гайки зовнішній 22мм. Данна пара забезпечує точність переміщення до $\pm 0,01$ мм, та є бюджетною. Вісь X є аналогічною до осі Y їх деталі є взаємозамінними.

Вузол екструдера штовхає пластик та являє собою кроковий двигун типу Nema17 на якому запресовано латунну шестерню прижим забезпечує підшипник на який запресовано кільце з радіальною проточкою. Для 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості було обрано кінематику “ Core XY ” (рис. 2.2) через наступні її переваги та недоліки.

Переваги:

- висока жорсткість конструкції;
- можливість забезпечити високоточний якісний друк при прийнятній швидкості;
- рівномірну якість друку в будь-якому місці робочого простору;
- відсутність інертності, що викликається рухом столу;
- відсутність рухомих моторів на валах окрім екструдера;
- можливо встановити замість direct-екструдера, bowden-екструдер.

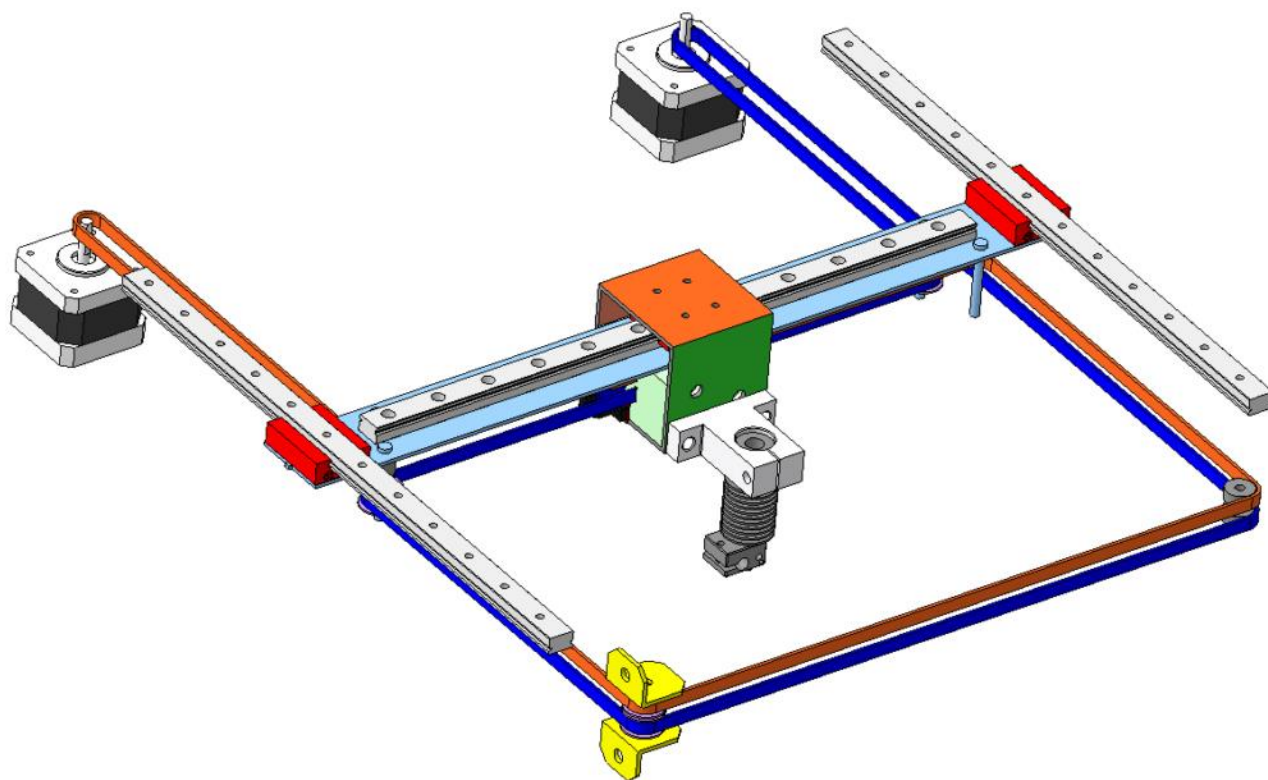


Рисунок 2.2 – 3D компонування кінематики “ Core-XY ”

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
28

Недоліки:

- розмір принтера вдвічі-втричі більший за друкований обсяг;
- висока вартість;
- складний ремонт.

Core XY багато в чому повторює H-Bot, але відрізняється наявністю двох зубчастих ременів. Найчастіше професійні 3D принтери компонуються за цими кінематичними схемами. З різної схеми установки ременів випливають основні різниці між H-Bot і Core XY. У H Bot зусилля, що переміщують балку осі X по осі Y можуть перекосити її, після чого конструкція потребуватиме відновлення. У зв'язку з цим, кріплення балки осі X і сам її профіль повинні бути якісними і добре продуманими, що в кінцевому підсумку позначається на витратах при виробництві принтера. У Core-XY ця проблема відсутня [6].

2.2 Електронна система керування 3D принтера

Більшість сучасних 3D-принтерів програмуються за допомогою контролерів. Контролер - це пристрій, який відповідає за управління та контроль процесів в системі, де він встановлений. Він перетворює код на керуючі сигнали та відправляє їх на зовнішні пристрої. Зворотно, контролер отримує дані про робочі процеси та умови навколишнього середовища, що дозволяє йому самостійно контролювати певні дії системи.

Управління 3D-принтером, наприклад Creality Ender 3, може здійснюватися 32-бітною платою Creality v4.2.2 або Creality v4.2.7 (рис. 2.3). Ці плати взаємозамінні, але v4.2.2 вже знята з виробництва, зустріти її можна тільки у принтерах, випущених до 2020 року. Creality v4.2.7 використовує чип STM32F103RCT6 та має інтегровані безшумні драйвери TMC2225, що забезпечують ділення кроку крокового двигуна 1/16. Порти включають: для чотирьох крокових двигунів; для датчика автоматичного калібрування столу; для датчика закінчення філаменту; для

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

двох термісторів; для трьох кінцевиків; для трьох вентиляторів; можливість підключення до комп'ютера через Micro-USB, а також слот для microSD картки.

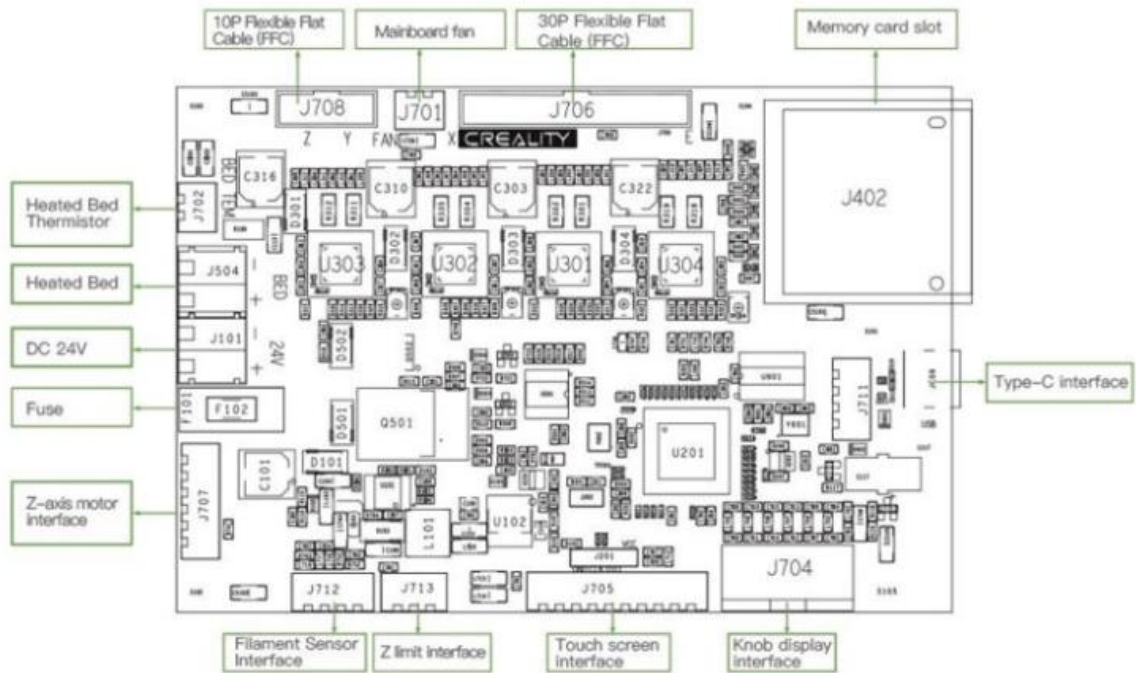


Рисунок 2.3 – 32-х бітна плата Crealitiy v4.2.2 та її роз'єми

Дана плата має 512 кілобайт ОЗУ пам'яті до дозволяє працювати з такою прошивкою як Marlin 2.0. На платі 3D-принтера Ender 3 - Crealitiy 4.2.2 використовуються різні електронні компоненти, такі як чіпи, конденсатори та резистори, які грають важливу роль у функціонуванні системи управління принтером. Мікроконтролер STM32F103RET6 виконує обробку команд та керування рухом принтера. Конденсатори використовуються для стабілізації напруги та згладжування електричних сигналів. Резистори використовуються для керування струмом та опору в електричних колах.

За допомогою цих електронних компонентів, плата забезпечує ефективне керування рухом, екструзією матеріалу та комунікацію з користувачем. Вони працюють у взаємодії з програмним забезпеченням, що встановлене на платі, для забезпечення точності, якості та надійності друку об'єктів у тривимірному просторі.

На рисунку 2.4 [БРМА 25.01.00.000 ЕЗ] зображено принципову роботу плати 3D-принтера Ender 3 - Creality 4.2.2, підписані роз'єми та входи та виходи електронних елементів.

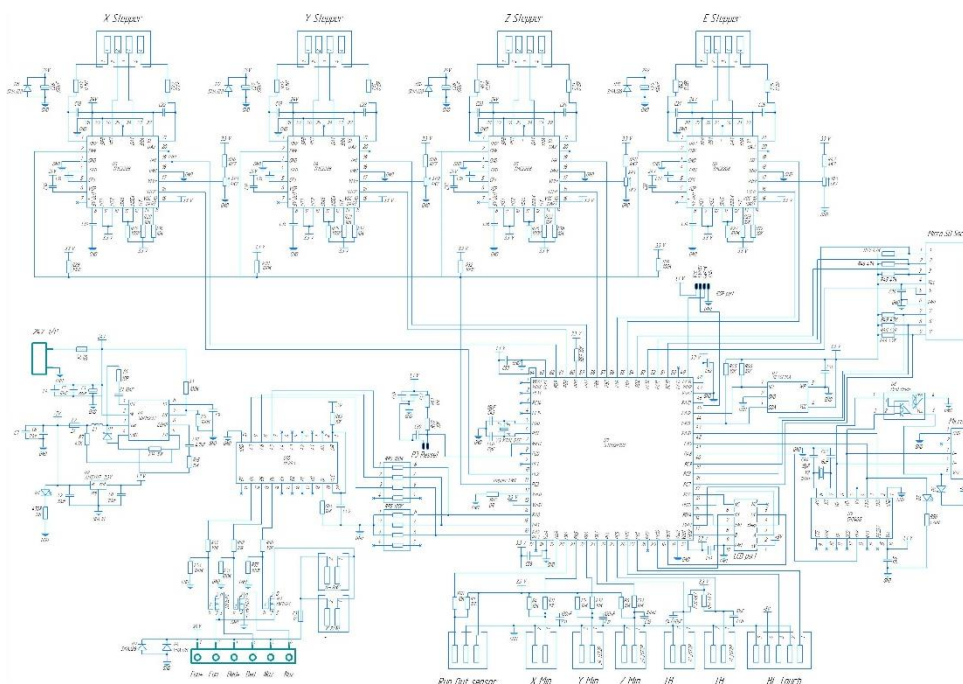


Рисунок 2.4 - Керуюча плата 3D принтера схема електрична принципова

Після дослідження ринкових пропозицій електронних плат для керування 3D принтером, порівняння їх характеристик, які описані нижче та наявного функціоналу було обрано керуючу плату Makerbase MKS Robin Nano v3.1 (рис. 2.5)

Основні характеристики:

- процесор: stm32f407vet6, 168 мгц. цей 32-бітний процесор — як невтомний детектив, який відстежує кожен крок вашого принтера, забезпечуючи швидку і безперебійну роботу;
- пам'ять: 512 кб flash, 192 кб ram, 4 кб eeprom — місце, де зберігаються всі важливі моменти, кожен крок на шляху до ідеального друку;
- підтримка дисплеїв: від mks ts35 до lcd12864 — обирайте інтерфейс, який найкраще підходить для вашого стилю роботи, і контролюйте процес з будь-якого кута;

- велика кількість вихідних портів: можливість приєднати 2 мотора на вісь z та 2 мотора екструдера одночасно, відповідно 2 роз'єма для нагрівачів пластику та 2 роз'єма для датчиків температури нагрівання хотенда [7].

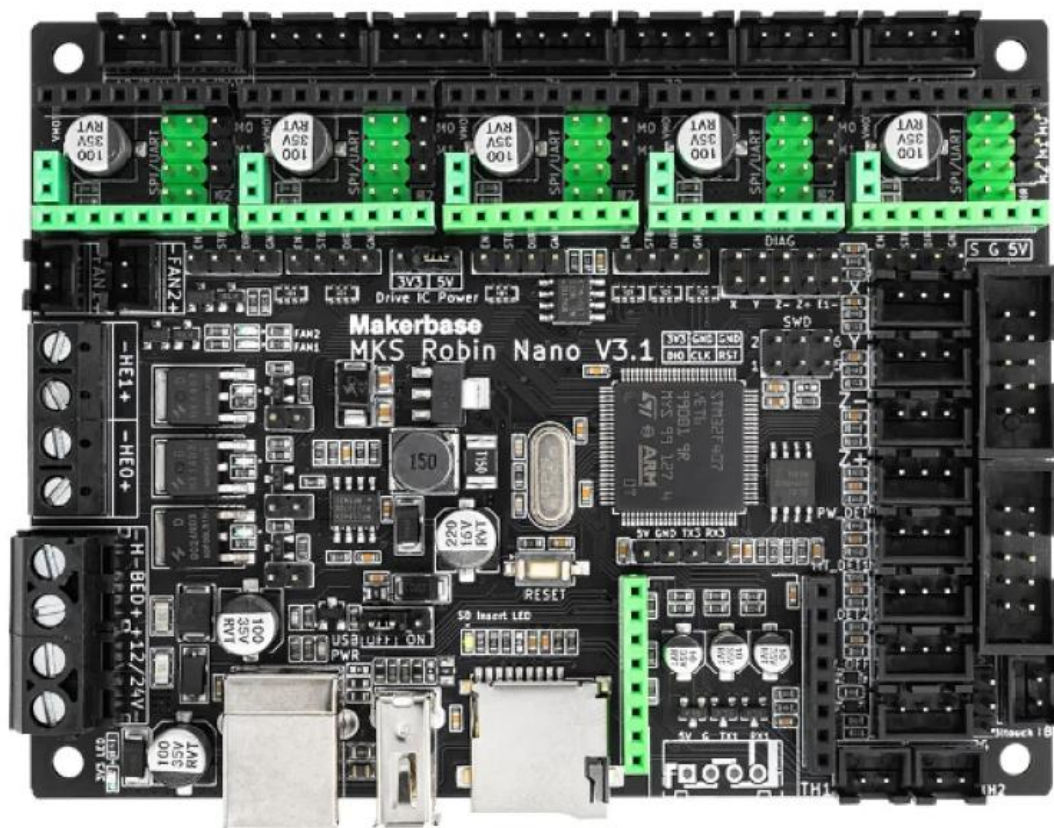


Рисунок 2.5 - Плата керування Makerbase MKS Robin Nano v3.1

Особливості :

- підтримка tmc uart та spi, ваші крокові двигуни працюють так тихо, що ви ледь чуєте їх — мов тіні, які безшумно ковзають у темряві;

wi-fi підключення, контролюйте свій принтер звідки завгодно, підключаючись до нього через wi-fi, ніби ви керуєте ним із-за завіси, залишаючись невидимим;

- оновлення через sd-карту, швидко та безболісно вносьте зміни, оновлюючи прошивку — як майстер, який додає останні штрихи до свого витвору.

Переваги :

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- безкомпромісна продуктивність, цей процесор працює безупинно, забезпечуючи стабільність і швидкість, які необхідні для створення досконалих моделей;
- плата підтримує різні драйвери, від a4988 до tmc5160, адаптуючись під будь-які завдання, немов шпигун, який підлаштовується під нові умови;
- вбудовані функції забезпечують безпеку вашого обладнання, захищаючи його від несподіваних зривів, мов охоронець, який завжди на сторожі [4].

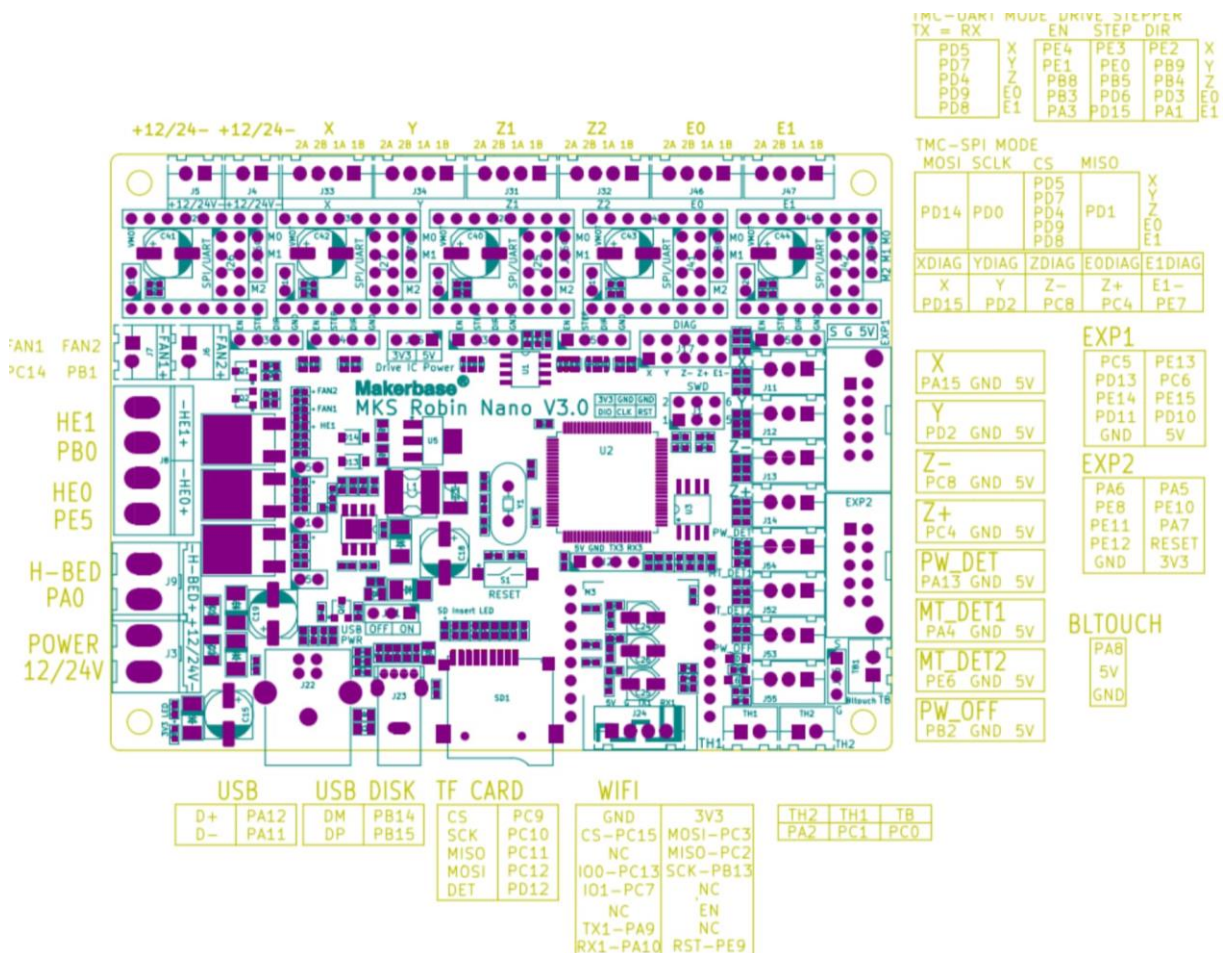


Рисунок 2.6 - Datasheet плати Makerbase MKS Robin Nano v3.1

2.3 Підбір крокових двигунів для 3D принтера

Кроковий двигун - це електромеханічний пристрій, що перетворює сигнал керування в кутовий (або лінійний) рух ротора, фіксуючи його в заданій позиції без використання зворотного зв'язку. При розробці певних систем постає питання вибору між сервомотором і кроковим двигуном.

Коли потрібне точне позиціонування і ретельне регулювання швидкості, і при цьому необхідний момент та швидкість не виходять за допустимі рамки, кроковий двигун є найбільш вигідним рішенням з економічної точки зору.

Як і для звичайних двигунів, понижувальний редуктор може бути використаний для збільшення моменту. Проте, редуктор не завжди є оптимальним рішенням для крокових двигунів.

На відміну від колекторних двигунів, де момент збільшується зі зростанням швидкості, кроковий двигун (рис. 2.7) має більший момент на низьких швидкостях. Крім того, крокові двигуни мають значно меншу максимальну швидкість порівняно з колекторними, що обмежує максимальне передавальне число i , відповідно, збільшення моменту за допомогою редуктора. Готові крокові двигуни з редукторами існують, але це скоріше виняток.

Принцип роботи всіх крокових двигунів базується на дискретному змінненні стану електромагнітного поля в робочому зазорі електричної машини. Це реалізується шляхом імпульсного збудження (або перемикання) її обмоток. Електромеханічний перетворювач енергії, який створює синхронізуючий момент або утримує силу в кожному з циклічно повторюваних можливих станів, число яких $n \geq 2$, за умов дотримання спрямованого переходу до наступного стабільного стану, може бути використаний як кроковий двигун.

Цим вимогам відповідає широкий спектр пристроїв: електромагніти з поворотною пружиною та храповим, анкерним або фрикційним механізмом, синхронні електричні машини, асинхронні електричні машини з неповною короткозамкненою обмоткою ротора, сельсини. За видами крокових двигунів їх поділяють на:

- двигуни зі змінним магнітним опором;
- двигуни з постійними магнітами;
- гібридні двигуни;
- біполярні і уніполярні крокові двигуни.

Способи управління фазами крокової двигуна:

- повнокроковий режим;
- напівкроковий режим;

- мікрокроковий режим.



Рисунок 2.7 – Типовий кроковий двигун

Момент, що видає кроковий двигун, залежить від частоти обертів, сили струму в обмотках та схеми драйвера. Щоб двигун міг ефективно працювати на великій швидкості з зони прискорення, необхідно розпочинати з низької швидкості, а тоді плавно її збільшувати. Під час прискорення двигун проходить через різні швидкості, на деяких з яких може виникнути неприємний резонанс. Для успішного розгону бажано, щоб навантаження мала момент інерції, що дорівнює або перевищує момент інерції ротора. На двигуні без навантаження резонанс проявляється найяскравіше. При прискоренні чи гальмуванні важливо правильно підібрати закон зміни швидкості та максимальне прискорення.

Прискорення слід обирати тим меншим, чим вища інерційність навантаження. Критерій вдалого режиму розгону – досягнення потрібної швидкості для конкретного навантаження за найменший час.

Найчастіше на практиці використовують розгін та гальмування з постійним прискоренням. Реалізація закону, за яким прискорюється чи гальмує двигун, зазвичай відбувається програмно за допомогою мікроконтролера, оскільки саме він

зазвичай генерує тактову частоту для драйвера крокового двигуна. Крокові двигуни мають небажаний ефект – резонанс. Цей ефект виражається у вигляді різкого падіння моменту на певних швидкостях.

Це може призвести до пропусків кроків і втрати синхронізації. Резонанс виникає, коли частота кроків збігається з власною резонансною частотою ротора двигуна. Коли двигун робить крок, ротор не відразу фіксується в новому положенні, а здійснює затухаючі коливання. Справа в тому, що систему "ротор – магнітне поле – статор" можна розглядати як пружинний маятник, частота коливань якого залежить від моменту інерції ротора (плюс навантаження) та величини магнітного поля. Зважаючи на складну конфігурацію магнітного поля, резонансна частота ротора залежить від амплітуди коливань.

При зменшенні амплітуди коливань частота зростає, наближаючись до малоамплітудної частоти, що простіше обчислюється кількісно. Ця частота залежить від кута кроку та співвідношення моменту утримання до моменту інерції ротора. Більший момент утримання та менший момент інерції збільшують резонансну частоту.

Переваги крокового двигуна: кут повороту ротора визначається кількістю імпульсів, що надходять на двигун. Двигун забезпечує максимальний момент у стані спокою (якщо обмотки живлені) та гарантує точне позиціонування та повторюваність. Якісні крокові двигуни мають точність від 3 до 5% від величини кроку. Ця похибка не накопичується від кроку до кроку.

Крім того, кроковий двигун швидко запускається, зупиняється та реверсується. Він характеризується високою надійністю завдяки відсутності щіток, однозначною залежністю положення від вхідних імпульсів, що забезпечує позиціонування без зворотного зв'язку, здатністю досягати дуже низьких швидкостей обертання для навантаження, приєднаної безпосередньо до вала двигуна, без проміжного редуктора. Термін служби крокового двигуна визначається терміном служби

підшипників, і він може працювати у широкому діапазоні швидкостей, де швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів. На рисунку 2.8 [БРМА 25.02.00.000 Е3] зображено схему підключення крокового двигуна.

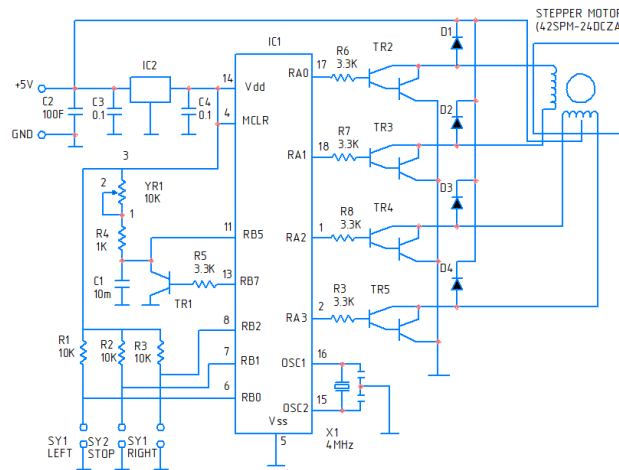


Рисунок 2.8 – Схема підключення двигуна електрична принципова

На 3D принтері встановлені крокові двигуни, основні технічні характеристики моделі двигуна наведено нижче:

- діаметр 42 мм та висоту 34 мм. Це стандартний розмір для багатьох 3D-принтерів, що дає можливість легко замінити його в разі необхідності;
- крок кута 1,8 градуса на крок. Це означає, що для повного оберту необхідно зробити 200 кроків;
- зазвичай двигун працює при напрузі живлення 12 вольт, але може підтримувати напругу в діапазоні від 10 до 30 вольт. Це дає можливість використовувати його з різними джерелами живлення;
- залежно від моделі та налаштувань, він може споживати струм від 0,4 до 1,5 ампер. Важливо враховувати це значення при підборі відповідного джерела живлення та драйвера;

- забезпечує високий крутний момент для свого розміру. Крутний момент залежить від моделі та напруги живлення, але в середньому може сягати 0,4-0,5 Н·м;

- має 4-жильний кабель, який використовується для підключення до драйвера. Кабель містить 4 провідники для керування двигуном (зазвичай це провід фази та провід комуна, а також 2 проводи для живлення).

Цей двигун здатний забезпечити точне та плавне переміщення осей у 3D-принтерах, CNC-фрезерах та інших пристроях, які вимагають високої точності руху. Він є популярним вибором серед любителів та професіоналів, які займаються виробництвом з використанням адитивних технологій.

Для роботи екструдера використовується кроковий двигун тієї ж серії. Основні характеристики цього двигуна включають:

- має діаметр 42 мм та висоту 40 мм;
- крок кута 1,8 градуса на крок;
- працює при напрузі живлення 12 вольт (можливий діапазон від 10 до 30 вольт);
- струм споживання від 0,8 до 1,5 ампер;
- крутний момент залежить від моделі та використовуваної напруги, і в середньому може сягати 0,6-0,8 Н·м;
- має 4-жильний кабель для підключення до драйвера [8].

2.4 Організація праці при роботі з 3D-принтером

Організація праці при роботі на 3D-принтерах є важливим аспектом, який впливає на продуктивність, якість та безпеку процесу друку.

Перш за все, перед початком роботи на 3D-принтері необхідно ознайомитися з документацією виробника, яка надає вичерпну інформацію щодо технічних вимог, безпекових заходів та оптимальних налаштувань пристрою. Вона забезпечує базові вказівки та рекомендації, які слід дотримуватися під час роботи з принтером.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Другий аспект полягає в налагодженні принтера перед початком друку. Це включає рівномірне розподілення температури на столі, правильне підготування і кріплення стола, налаштування зазору між соплом та столом, а також вибір оптимальних параметрів друку, таких як швидкість, температура екструдера та інші параметри, залежно від вимог до моделі.

Крім того, важливо правильно підготувати модель для друку. Це включає перевірку її геометрії та цілісності, розбиття моделі на шари (слайсінг), встановлення оптимальних параметрів заповнення, підтримок та інші налаштування, щоб забезпечити належну якість друку. Після підготовки моделі та принтера, рекомендується наглядати за процесом друку, особливо на початкових етапах, для вчасного виявлення можливих проблем, таких як розриви нитки, проблеми з адгезією або перекриття шарів. Також важливо вести контроль над навколишніми умовами, забезпечуючи оптимальну температуру та вологість повітря для уникнення деформацій та проблем з якістю друку.

Після завершення друку рекомендується проаналізувати результати та перевірити відповідність вимогам. Якщо виявлено дефекти або неполадки, можуть знадобитися додаткові налаштування принтера або оптимізація параметрів друку.

Загальними принципами організації праці на 3D-принтерах є систематичність, дотримання виробником рекомендацій, уважний контроль процесу друку та аналіз результатів. Ці підходи сприяють досягненню кращих результатів, забезпечують безпеку та покращують продуктивність при роботі з 3D-принтерами.

Планово-попереджувальний ремонт для 3D-принтера включає систематичну технічну підтримку та обслуговування з метою забезпечення ефективності та тривалого функціонування пристрою. Цей процес включає наступні етапи:

- перед проведенням ремонту необхідно виконати ґрунтовне очищення принтера від пилу, залишків пластику та інших забруднень, які можуть негативно впливати на якість друку;
- планове технічне обслуговування може включати заміну зношених деталей, таких як термістори, сопла, приводи, ремені тощо;

- налагодження принтера є важливим кроком для забезпечення точності та якості друку. Це включає регулювання рівня стола, зазору між соплом та столом, а також калібрування екструдера;

- важливим аспектом ремонту є перевірка електричної безпеки пристрою. Рекомендується перевірити стан кабелів, роз'ємів, блоків живлення та інших електричних компонентів;

- оновлення програмного забезпечення деякі 3D-принтери можуть мати оновлюване програмне забезпечення, яке може поліпшити продуктивність та функціональні можливості. Під час планового обслуговування рекомендується перевірити наявність оновлень програми та виконати їх установку.

Висновок до другого розділу.

У другому розділі була розробка 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості. Зокрема, було проаналізовано та обрано кінематичну схему для 3D принтера, здійснено підбір керуючої плати згідно з визначеними критеріями та врахуванням переваг наявної на ринку, а також розглянуто особливості крокових двигунів.

Додатково, представлено принципову схему роботи плати 3D-принтера [БРМА 25.01.00.000 ЕЗ] Creality 4.2.2, з позначеннями роз'ємів, входів та виходів електричних компонентів.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Матеріали які застосовуються для 3D друку

3.1 Матеріали які використовуються для FDM TA SLA 3D друку

3D-друк дає змогу швидко та економічно ефективно створювати прототипи та виготовляти деталі для широкого спектру застосувань. Але вибір правильного процесу 3D-друку — це лише одна сторона медалі. Зрештою, це значною мірою залежить від матеріалів, які дозволять вам створювати деталі з бажаними механічними властивостями, функціональними характеристиками або зовнішнім виглядом.

Існують десятки пластикових матеріалів, доступних для 3D-друку, кожен зі своїми унікальними якостями, завдяки яким він найкраще підходить для конкретних випадків використання. Щоб спростити процес пошуку матеріалу, який найкраще підходить для певної деталі чи виробу, давайте спершу розглянемо основні типи пластику та різні процеси 3D-друку.

Два основних типи пластику:

Термопласти — найпоширеніший вид пластику. Головною особливістю, яка відрізняє їх від реактопластів, є здатність проходити численні цикли плавлення та затвердіння. Термопластики можна нагріти та надати їм бажаної форми. Процес є оборотним, оскільки не відбувається хімічного зв'язку, що робить переробку або плавлення та повторне використання термопластів можливим. Загальною аналогією для термопластів є вершкове масло, яке можна розтопити, повторно затвердіти та знову розтопити. З кожним циклом плавлення властивості дещо змінюються.

Термореактивні пластмаси (також звані реактопластами) залишаються в постійному твердому стані після затвердіння. Полімери в термореактивних матеріалах зшиваються під час процесу затвердіння, який індукується теплом, світлом або відповідним випромінюванням. Термореактивні пластмаси розкладаються під час нагрівання, а не плавлення, і не перетворюються при охолодженні. Переробка реак-

топластів або повернення матеріалу назад до його основних інгредієнтів неможливі. Терморективний матеріал схожий на тісто для торта: колись випечений у торт, його неможливо знову розплавити в тісто.

FDM споживчого рівня має найнижчу роздільну здатність і точність порівняно з іншими процесами 3D-друку з пластику і не є найкращим варіантом для друку складних конструкцій або деталей зі складними функціями. Високу якість обробки можна отримати за допомогою хімічного та механічного полірування. Промислові 3D-принтери FDM використовують розчинні опори для пом'якшення деяких із цих проблем і пропонують ширший асортимент інженерних термопластів або навіть композитів, але вони також мають високу ціну.

Оскільки розплавлена нитка утворює кожен шар, іноді між шарами можуть залишатися порожнечі, коли вони не прилягають повністю. Це призводить до анізотропних частин, що важливо враховувати, коли ви проектуєте деталі, призначені для навантаження або протидії витягуванню.

Найпоширенішими матеріалами для 3D-друку FDM є ABS, PLA та їх різноманітні суміші. Досконаліші FDM-принтери також можуть друкувати з іншими спеціалізованими матеріалами, які мають такі властивості, як висока термостійкість, ударостійкість, хімічна стійкість і жорсткість.

ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол) це потрійний співполімер, його отримують полімеризацією стиролу з акрилонітрилом в присутності полібутадієну. Пропорції можуть варіюватися від 15 до 35% акрилонітрилу, від 5 до 30% бутадієну і від 40 до 60% стиролу. Співполімер стиролу (полістирол), бутадієну (каучук) і акрилонітрилу (SAN-пластики) зібрав в собі всі переваги цих полімерів. У даній комбінації акрилонітрил додає поверхневу твердість і стійкість до корозії, бутадієн забезпечує відмінну ударну в'язкість і міцність, а стирол надає матеріалу твердість. Таким чином, ABS, як матеріал в експлуатації, фактично не має недоліків: він механічно міцний, удароміцний, термостійкий, стійкий до розчинів лугів та кислот, спиртів, але легко піддається, як механічній, так і хімічній (обробка парами ацетону) обробці, легко склеюється ацетоном, при цьому утворює, фактично, монолітну структуру (рис. 3.1).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

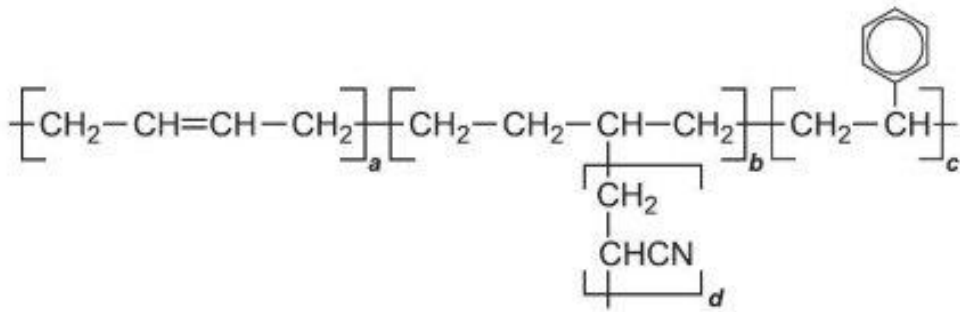


Рисунок 3.1 – Мономер ABS

ABS є відмінним матеріалом для реалізації проєктів, легко піддається механічній обробці, популярний в системах швидкого прототипування завдяки своїй температурі склування — досить високій, щоб не виникало небажаних деформацій при невеликому нагріванні в побутових умовах, але досить низькій для безпечної екструзії за допомогою стандартних інструментів. При друці ABS пластиком можливі деформації моделі у відкритому принтері, як наслідок швидкого охолодження моделі.

Переваги:

- міцний, ударостійкий полімер;
- володіє хорошою пластичністю, витримує багаторазові деформації на згин;
- розчиняється в ацетоні або етилацетаті, що дозволяє проводити обробку поверхні моделі моделі, а також збільшити міжшарову когезію;
- стійкий до дій лугів, кислот;
- стійкий до дії температури, з широким діапазоном експлуатаційних температур готової продукції (від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$);
- добре піддається механічній обробці;
- володіє довговічністю;
- не піддається впливу вологи (надрукований виріб);
- не має токсичної дії при експлуатації готових виробів.

Недоліки:

- котушки з мононитки потрібно зберігати у вакуум контейнерах для запобігання вбирання ними вологи з повітря;
- вимагає використання закритого 3D принтера, який сприяє повільному охолодженню моделі, що запобігає деформаційній усадці матеріалу під час друку.
- вимагає провітрювання приміщення оскільки пари є токсичними.

PLA-пластик являє собою біорозкладний термопластичний полієфір, що одержують на основі молочної кислоти - продукту перероблення кукурудзи, цукрового очерету, крохмалю, целюлози. При нагріванні, PLA пластик видає напівсолоний запах крохмалю (рис. 3.2).

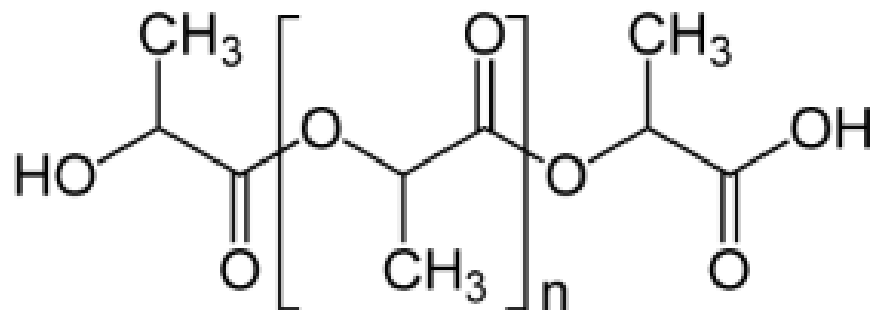


Рисунок 3.2 – Мономер PLA

PLA пластик є найкращим матеріалом для початку роботи з 3D-принтером. Практично повна відсутність усадки в цього пластика сприяє привабливому друку моделі, а також забезпечує високу роздільну здатність друку, що дозволяє створювати моделі з більш складною геометрією, ніж при використанні ABS. Під час друку PLA-пластиком рекомендується використовувати вентилятор для більш швидкого затвердіння виробів і досягнення більш високої якості друку. При належному охолодженні PLA дозволяє друкувати з максимальною швидкістю, меншою висотою шару і більш гострими кутами. Завдяки цим перевагам, разом у поєднанні з низькою деформацією, PLA-пластик частіше вибирають для домашніх і шкільних принтерів, а також аматорського друку.

Переваги PLA-пластику:

- нетоксичність;
- стабільність розмірів;
- можливість створення частин моделей, які побудовані на механізмах руху;
- простота друку - відсутність деламінації між шарами, хороша адгезія до платформи;
- енергоефективність, оскільки нитка стає м'якою під впливом низьких температур;
- надрукований виріб відрізняється глянцевою поверхнею і не потребує в додаткової обробки;
- дозволяє друкувати вироби без підтримки з великим кутом нахилу (до 70°).

Недоліки:

- крихкий, має низьку ударну міцність ;
- плавиться при низьких температурах.

PETG

Поліетилентерефталат співполімер (PETG, coPET) - пластик, який одержують введенням до складу базового полімеру (ПЕТФ, PET) 1,4-біс гідроксиметил циклогексана (CHDM). coPET це аморфний матеріал з гладкою глянцевою поверхнею, що відрізняється високою прозорістю і рівномірним світлорозсіюванням, вогнестійкістю, відсутністю в складі шкідливих компонентів, підвищеною стійкістю до ударів, хімічною стійкістю. coPET ще називають «пляшковий», оскільки він використовується для виробництва пляшок для води та газованих напоїв. Використання coPET в FDM 3D друці обумовлено простотою і зручністю роботи з ним. coPET прозорий пластик, який можна деформувати в холодному стані без утворення тріщин і побіління в місці згину (рис. 3.3).

Недоліки:

- гігроскопічність, перед друком потрібно висушувати матеріал ;
- високі температури роботи.

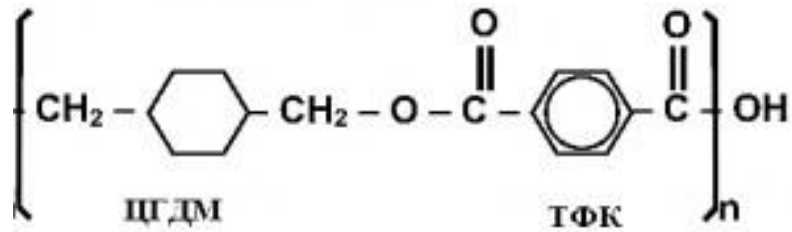


Рисунок 3.3 – Мономер CoPET

Переваги:

- володіє хорошою ударною в'язкістю у широкому діапазоні температур;
- не стійкий до дії ароматичних вуглеводнів, кетонів;
- стійкий до дії води й водних розчинів солей, розбавлених кислот і лугів, аліфатичних вуглеводнів, рослинних і тваринних масел та жирів;
- температура тривалої експлуатації: $-20 +70^{\circ}\text{C}$;
- згинається в холодному стані без побіління у місці згину;
- повністю аморфний і не здатний кристалізуватися;
- не має токсичної дії;
- має високу розмірну стабільність.

Також є численні варіації матеріалів наділених спеціальними властивостями таких як:

- SAN має відмінне поєднання прозорості, стійкості до дії хімікатів, міцності, легкості, має високу жорсткість і є хорошим діелектриком, стійкий до подряпин;
- HIPS який має чудові електроізоляційні властивості;
- TPU (термопластичний еластомер) - це еластичний та гнучкий матеріал, з високою хімічною стійкістю, у тому числі до олій та мастил. Твердість TPU за Шором 90A, а видовження при розриві складає 510%;
- PET при друці пластиком спочатку вироби знаходяться в аморфному стані володіють високою ударною в'язкістю, високим видовженням при розриві й витримують температуру 70°C . Такі вироби можливо кристалізувати (загартувати),

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

після чого вони можуть витримувати температуру до 200°C (чим вищий ступінь кристалізації, тим вища температура експлуатації, але нижча ударна в'язкість) ;

- Nylon (РА6, ПА6) відноситься до конструкційних (інженерних) полімерних матеріалів. Nylon - жорсткий пластик, піддається кристалізації, володіє високою міцністю на розрив і стійкістю до зношування. Nylon відрізняється високою температурою розм'якшення та еластичністю при низьких температурах, витримує стерилізацію паром, розігрітим до 140°C. Ця властивість дозволяє використовувати його в умовах з температурними перепадами в широкому діапазоні;

- Slice Support - це допоміжний матеріал для 3D друку підтримок, який легко видалити вручну, залишаючи гладку поверхню без подальшої обробки. Slice Support створений для 3D-друку на принтерах, що мають два екструдера.

Також є різні композиційні матеріали, матеріали з вкрапленнями металів, матеріали які мають специфічні запахи, електропровідні матеріали, матеріали які уповільнюють розповсюдження горіння, та багато інших [9].

SLA 3D друк

Деталі SLA мають найвищу роздільну здатність і точність, найчіткіші деталі та найгладкішу поверхню з усіх технологій 3D-друку з пластику. Тривимірний друк на полімері є чудовим варіантом для високодеталізованих прототипів, які вимагають жорстких допусків і гладких поверхонь, таких як форми, візерунки та функціональні частини. Деталі SLA також можна ретельно відшліфувати та/або пофарбувати після друку, в результаті чого готові до клієнта деталі з високою деталізацією.

Деталі, надруковані за допомогою 3D-друку SLA, як правило, ізотропні — їх міцність більш-менш стабільна незалежно від орієнтації, оскільки між кожним шаром виникають хімічні зв'язки. Це призводить до того, що деталі з передбачуваною механічною продуктивністю є критично важливими для таких застосувань, деталі кінцевого використання та функціональні прототипи . В таблиці 3.1 детально описано матеріал, його властивості та застосування.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Матеріали для SLA друку

Матеріал	Властивості	Застосування
Стандартні смоли	Висока роздільна здатність. Гладка, матова поверхня	Концептуальні моделі, схожі на прототипи
Прозора смола	Єдиний по-справжньому прозорий матеріал для 3D-друку на пластику, полірується майже до оптичної прозорості	Частини, що потребують оптичної прозорості
Чорнова смола	Один із найшвидших матеріалів для 3D-друку в 4 рази швидше, ніж стандартні смоли, до 10 разів швидше, ніж FDM	Швидкі ітерації початкових прототипів
Міцні та довговічні смоли	Міцні, функціональні та динамічні матеріали, витримують стиснення, розтягування, згинання та удари без руйнування, різні матеріали з властивостями, подібними до ABS або PE	Корпуси Пристосування та кріплення, з'єднувачі, прототипи на знос і розрив
Жорсткі смоли	Високонаповнені, міцні та жорсткі матеріали, які стійкі до згинання Термо та хімічно стійкі Стабільні розміри під навантаженням	Пристосування та інструменти, турбіни та лопаті вентилятора, ємності для рідини, електричні корпуси та корпуси автомобілів
Керамічна смола	Оздоблення, схоже на камінь. Можна обпалити для створення повністю керамічного виробу	Інженерні дослідження, мистецтво та дизайн

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 3.1

Матеріал	Властивості	Застосування
Високотемпературна смола	Стійкість до високих температур, висока точність	Контроль потоку гарячого повітря, газу та рідини, термостійкі кріплення, корпуси та кріплення, форми та лиття
Гнучкі та еластичні смоли	Гнучкість гуми, ТПУ або силікону витримує згинання, розгинання та стиснення Витримує багаторазові цикли без розривів	Створення прототипів споживчих товарів, сумісні функції для робототехніки, медичні пристрої та анатомічні моделі, реквізити та моделі зі спец-ефектами
Медичні та стоматологічні смоли	Широкий асортимент біосумісних смол для виробництва медичної та стоматологічної техніки	Стоматологічні та медичні прилади, хірургічні напрямні, протези
Ювелірні смоли	Матеріали для лиття по виплавленим моделям і формування з вулканізованої гуми Легко лити, зі складними деталями та міцним збереженням форми	Примірки майстер моделі для багаторазових форм, прикраси на замовлення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

49

Продовження таблиці 3.1

Матеріал	Властивості	Застосування
ESD смола	ESD-безпечний матеріал для покращення робочих процесів виробництва електроніки	Інструменти та кріплення для виробництва електроніки, антистатичні прототипи та компоненти кінцевого використання, спеціальні лотки для обробки та зберігання компонентів
Вогнезахисна (FR) смола	Вогнезахисний, термостійкий, жорсткий і стійкий до повзучості матеріал для внутрішніх і промислових середовищ з високими температурами або джерелами займання	Внутрішні деталі літаків, автомобілів і залізниць, пристосування та запасні частини для промислових середовищ, захисні та внутрішні компоненти побутової або медичної електроніки

3.2 3D-друк SLS

Інженери та виробники в різних галузях довіряють 3D-друку вибіркового лазерного спікання (SLS) за його здатність виготовляти міцні, функціональні деталі. Низька вартість деталі, висока продуктивність і відомі матеріали роблять технологію ідеальною для широкого спектру застосувань від швидкого створення прототипів до дрібносерійного або індивідуального виробництва.

Оскільки нерозплавлений порошок підтримує деталь під час друку, немає потреби в спеціальних опорних структурах. Це робить SLS ідеальним для складних геометрій, включаючи внутрішні елементи, вирізи, тонкі стінки та негативні

елементи. Як і SLA, SLS деталі також, як правило, більш ізотропні, ніж FDM. Частини SLS мають злегка шорстку поверхню через частинки порошку, але майже не видно ліній шару.

Вибір матеріалів для SLS обмежений порівняно з FDM і SLA, але доступні матеріали (табл. 3.2) мають відмінні механічні характеристики, міцність яких нагадує деталі, виготовлені під тиском. Найпоширенішим матеріалом для селективного лазерного спікання є нейлон, популярний інженерний термопластик із чудовими механічними властивостями. Нейлон легкий, міцний і гнучкий, а також стійкий до ударів, хімічних речовин, тепла, ультрафіолетового світла, води та бруду.

Таблиця 3.2 – Інженерні пластики

Матеріал	Властивості	Застосування
Нейлон 12	Міцний, жорсткий, міцний і довговічний, стійкий до ударів і багаторазового зношування, стійкий до ультрафіолету, світла, тепла, вологи, розчинників, температури та води	Створення функціональних прототипів, частини кінцевого використання, медичні прилади
Нейлон 11	Подібні властивості до нейлону 12, але з вищою еластичністю, подовженням при розриві та ударостійкістю, але меншою жорсткістю	Створення функціональних прототипів, частини кінцевого використання
TPU	Гнучкий, еластичний і гумовий, стійкість до деформації, висока стійкість до ультрафіолетового випромінювання	Створення функціональних прототипів, гнучкі, схожі на гуму деталі кінцевого використання
Нейлонові композити	Нейлонові матеріали, посилені склом, алюмінієм або вуглецевим волокном для додаткової міцності та жорсткості	Функціональне прототипування, структурні частини кінцевого використання

Окрім пластику, існує кілька процесів 3D-друку, доступних для 3D-друку з металу. Металеві FDM-принтери працюють подібно до традиційних FDM-принтерів, але використовують екструдовані металеві стрижні, скріплені полімерними сполучними. Готові «зелені» деталі потім спікають у печі для видалення сполучного матеріалу. Вибіркове лазерне плавлення (SLM) і пряме лазерне спікання металу (DMLS). Принтери SLM і DMLS працюють подібно до принтерів SLS, але замість сплавлення полімерних порошків вони шар за шаром сплавляють частинки металевого порошку за допомогою лазера. 3D-принтери SLM і DMLS можуть створювати міцні, точні та складні металеві вироби, що робить цей процес ідеальним для аерокосмічного, автомобільного та медичного застосування [10].

Популярні металеві матеріали для 3D-друку:

- титан легкий і має чудові механічні характеристики. Він міцний, твердий і дуже стійкий до нагрівання, окислення та кислоти;
- нержавіюча сталь має високу міцність, високу пластичність, стійкість до корозії;
- алюміній легкий, міцний, міцний і має хороші теплові властивості;
- інструментальна сталь — це твердий, стійкий до подряпин матеріал, який можна використовувати для друку кінцевих інструментів та інших високоміцних деталей;
- нікелеві сплави мають високу міцність на розтяг, повзучість і міцність на розрив, стійкі до тепла та корозії.

Порівняно з технологіями 3D-друку з пластику, 3D-друк на металі значно дорожчий і складніший, що обмежує його доступність для більшості підприємств. Крім того, 3D-друк SLA добре підходить для робочих процесів лиття, які виробляють металеві деталі за нижчою ціною, з більшою свободою проектування та за менший час, ніж традиційні методи.

Іншою альтернативою є гальванічне покриття деталей SLA, яке передбачає нанесення пластикового матеріалу на шар металу за допомогою електролізу. Це

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

поєднує деякі з найкращих якостей металу — міцність, електропровідність, стійкість до корозії та стирання — зі специфічними властивостями первинного (зазвичай пластичного) матеріалу.

Висновок до третього розділу.

У третьому розділі було вивчено речовини, які застосовуються в FDM та SLA 3D-друку, з докладним описом переваг та недоліків кожного з цих матеріалів для друкування. Найбільш вживані матеріали для 3D-друку FDM — це ABS, PLA та різні їх комбінації. Крім того, було проаналізовано технологію 3D-друку SLS. Інженери та виробники в різних сферах довіряють 3D-друку селективного лазерного спікання (SLS) через його здатність створювати міцні, функціональні деталі, а незначна вартість деталі, висока продуктивність та вже відомі матеріали роблять технологію ідеальною для широкого діапазону застосувань.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

4 Розрахунки що підтверджують працездатність 3D принтера

4.1 Конструкція 3D-принтера Mark 3

Конструкція 3D-принтера Mark 3 – куб, який має основу з алюмінієвого профілю верстатного типу перерізом 20*20мм (рис.4.1), та ззовні обшитий фанерою товщиною 4мм (рис.4.2). Завдяки обшивці він має перевагу, таку як можливість друкувати великі деталі з ABS пластику та інших пластиків, які вимагають закритого корпусу та відсутності різких перепадів температур. Це забезпечує стіл на 220В, що в свою чергу пришвидшило нагрів столу, тим самим підігрівається і весь принтер всередині.

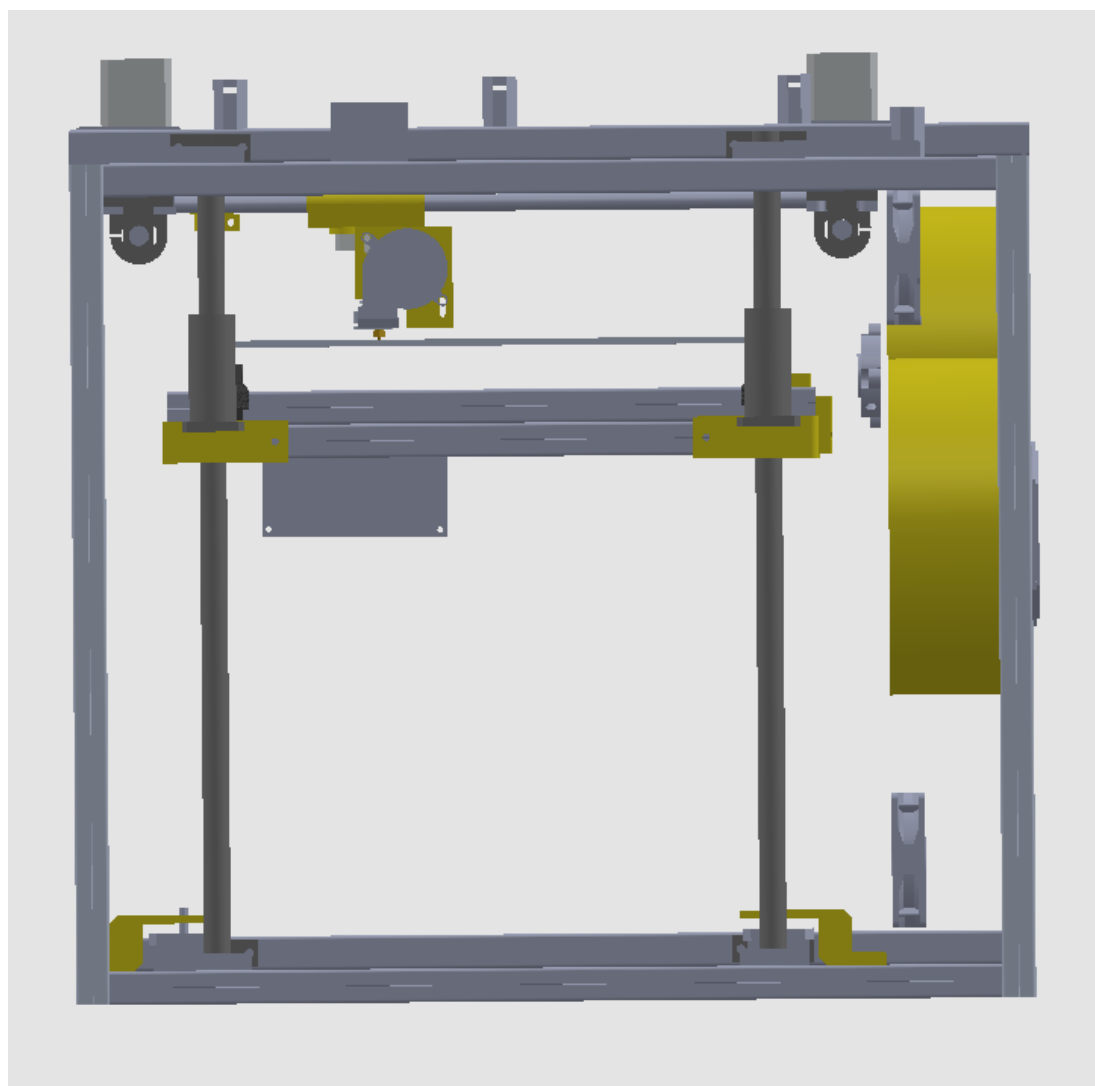


Рисунок 4.1 - Основа 3D-принтера Mark 3

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
54

Кінематику було обрано Core-XY (рис.4.3) саме через переваги описанні у розділі 1.2 різновиди кінематичних схем. Завдяки кубічній формі його легко транспортувати, налагоджувати та обслуговувати. Для полегшення монтажу та налашки, електронну частину було розміщено вертикально на задній стінці принтера, а на боковій спроектовано 2 катушкотримача, які розміщені в окремій секції. тому було встановлено 2 вентилятора для циркуляції повітря. Тобто, ще на етапі проектування я заклав щоб в 3D принтері одразу пластик подавався та підсушувався, адже це суттєво впливає на якість друку. Кінематику я обрав Core XY, так як вона дозволяє прискорити друк, через відсутність моторів на рухомих каретках (мотори закріплені на корпусі принтера та є нерухомі)

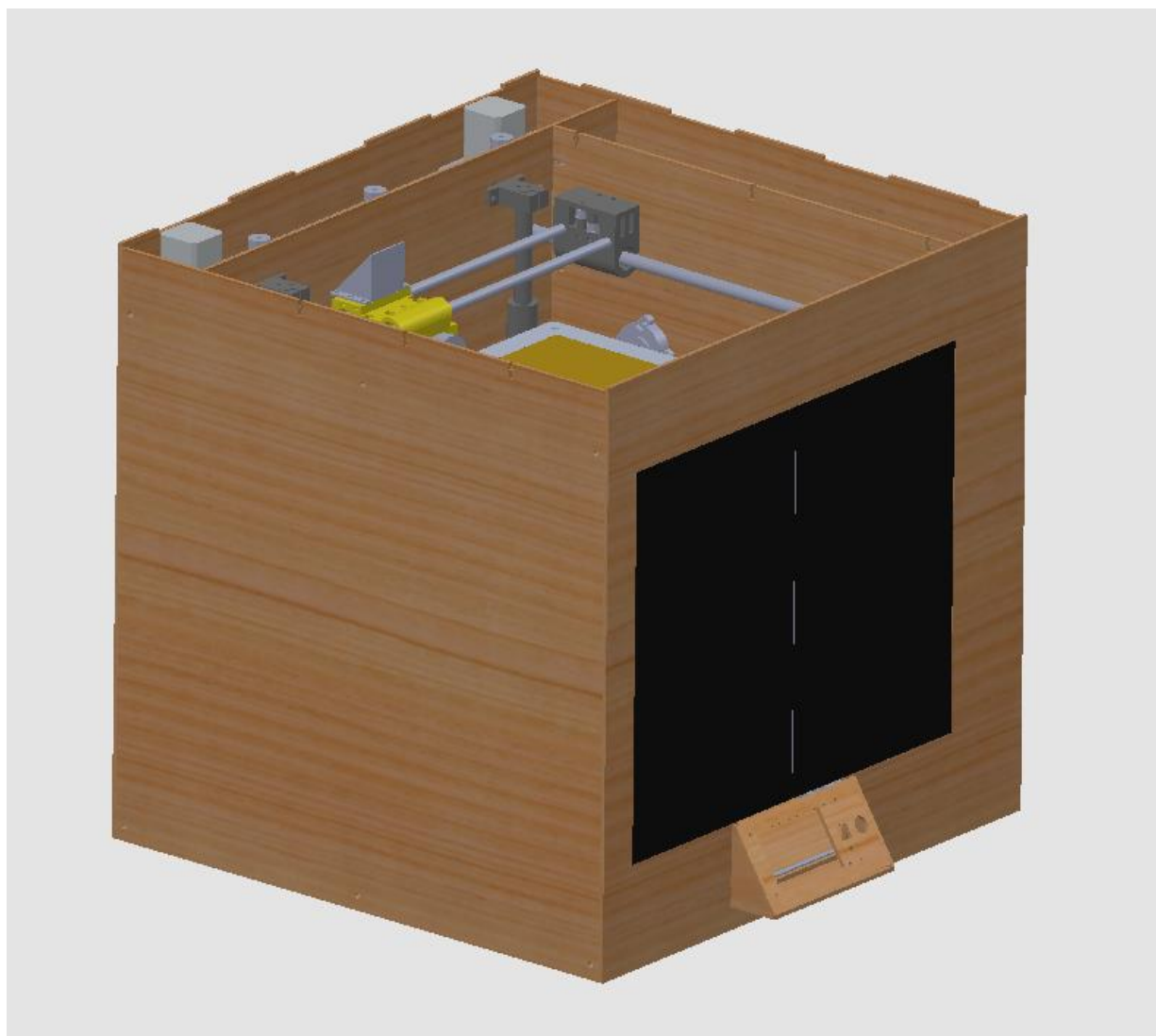


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

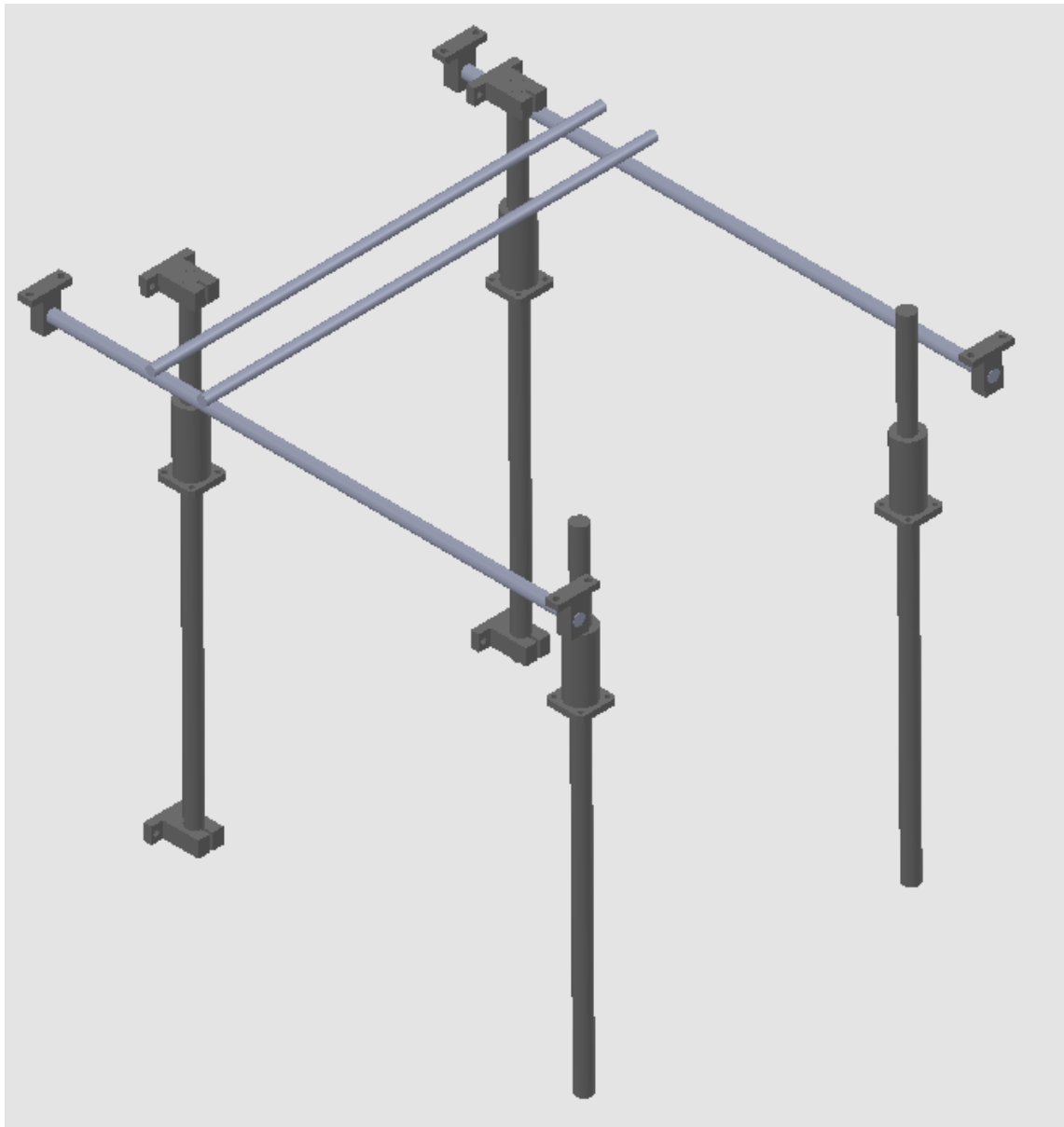


Рисунок 4.3 – Вали для кінематики Core XY

Також було проведено модернізацію першої версії 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості, а саме замінена конструкція підйомної платформи на якій відбувається друк, так як попередня версія не мала достатньої жорсткості, та під час друку виникало зміщення шарів по вісі Z, яке чітко видно на центральній моделі(рис4.4). Замість надрукованих деталей та алюмінієвого профілю 20*40мм, було спроектовано одну суцільну сталеву плиту (рис. 4.5). Стіл було виготовлено на підприємстві за допомогою верстата лазерної різки та листогиба з ЧПУ. Після виготовлення було проведено антикорозійні роботи, такі як ґрунтування та фарбування [БРМА 25.04.00.000]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
56



Рисунок 4.4 - Зображення зміщення шарів по вісі Z

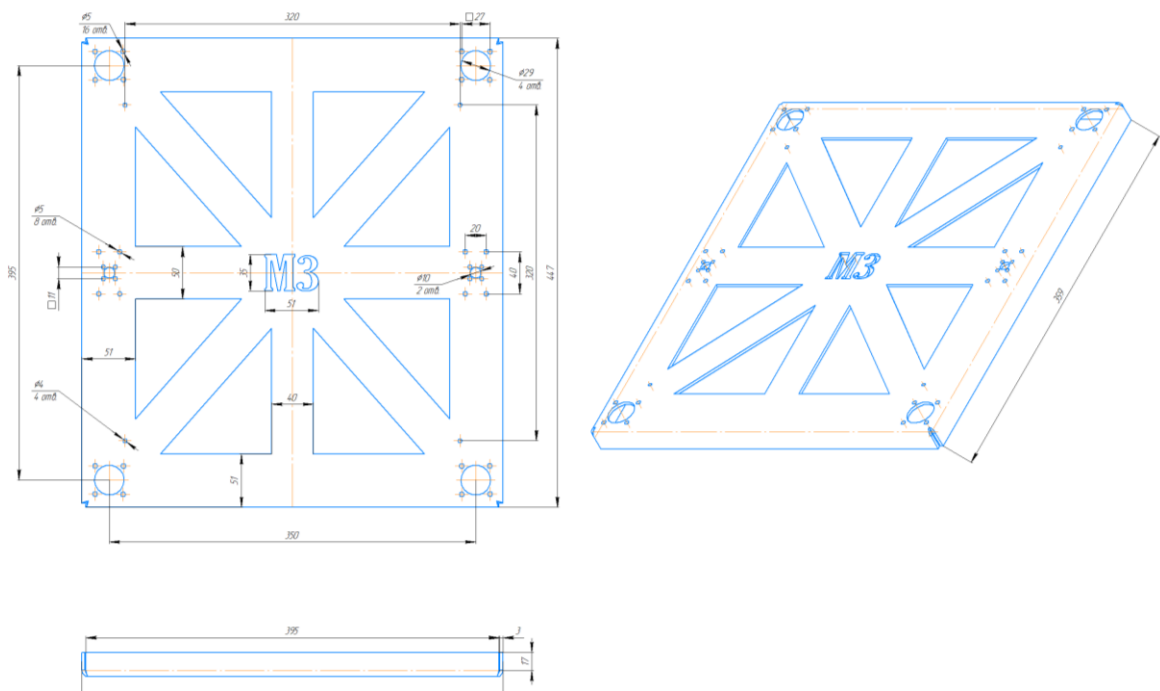


Рисунок 4.5 – Стіл 3D принтера МК3.07.01.25.000-1

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
57

4.2 Розрахунок гвинтової пари для вісі Z

Для переміщення столу на 3D принтері Mark 3 використовується гвинтова пара. Ходовий гвинт з трапецеїдальною різьбою призначений для руху нагрівальної платформи 3D принтера по осі Z. Відсутність люфту та хороша стійкість до корозії забезпечується високою якістю матеріалу складових. Іде в комплекті з гайкою з трапецеїдальним різьбленням Т8*8 мм. Гвинт є чотирьохзахідним [11].

Параметри для розрахунку:

Зовнішній діаметр $d=8$ мм;

Крок різьби $P=8$ мм;

Сила $F=50$ Н;

Коефіцієнт тертя $f=0.1$.

Розрахунок:

Зовнішній діаметр $d=8$ мм;

Крок різьби $P=8$ мм;

Сила $F=50$ Н;

Коефіцієнт тертя $f=0.1$.

Середній діаметр різьби

Глибина різьби h для трапецієподібного профілю:

$$h=0.5 \cdot P \quad (4.1)$$

$$h=0.5 \cdot 8=4 \text{ мм}$$

Середній діаметр:

$$d_{cp}=d-0.5 \cdot h \quad (4.2)$$

$$d_{cp}=8-0.5 \cdot 4=6 \text{ мм}$$

Передаточне число (i):

$$i=2\pi \cdot d_{cp}/P \quad (4.3)$$

$$i = 2\pi \cdot 6/8 = 12\pi/8 \approx 4.712$$

Кут підйому різьби (φ):

$$\tan \varphi = \frac{P}{\pi \cdot d_{cp}} \quad (4.4)$$

$$\tan \varphi = \frac{8}{\pi \cdot 6} = 0.424$$

$$\varphi = \arctan(0.424) = 22.97^\circ.$$

Момент сили на гвинті (ММ):

$$M = (F \cdot P / 2\pi) \cdot (1 + \pi \cdot f \cdot d_{cp} \cdot (1/P)) \quad (4.5)$$

Розрахуємо частини:

$$M = F \cdot P / 2\pi = 50 \cdot 8 / 2\pi \approx 63.66 \text{ Н/мм}$$

$$\pi \cdot f \cdot d_{cp} \cdot 1/P = \pi \cdot 0.1 \cdot 6 \cdot 1/8 \approx 0.235$$

Підставимо:

$$M \approx 63.66 \cdot (1 + 0.235) \approx 63.66 \cdot 1.235 \approx 78.58 \text{ Н/ мм}$$

Коефіцієнт корисної дії (η):

$$\eta = \frac{\tan \varphi}{\tan(\varphi + \rho)} \quad (4.6)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Де $p = \arctan(f) \approx 5.71^\circ$

$$\eta = \frac{22.97^\circ}{\tan(22.97^\circ + 5.71^\circ)} = \frac{0.424}{0.546} \approx 0.777(77.7\%).$$

Результати розрахунків:

Середній діаметр: $d_{cp} = 6$ мм

Передаточне число: $i \approx 4.712$

Кут підйому різьби: $\phi \approx 22.97^\circ$

Момент сили: $M \approx 78.58$ Н\мм

ККД: $\eta \approx 77.7\%$.

Загальні характеристики 3D принтера Mark 3:

- кінематика Core XY;
- робоча область друку 300*304*280 мм (ширина, довжина, висота відповідно);
- версія прошивки Marlin 2.0.1;
- керуюча плата Makerbase mks Robin Nano v3.1;
- драйвери крокових двигунів TMC2209;
- живлення 24 V, нагрівальний стіл 220 V;
- закритий тип принтера;
- сенсорний екран;
- підтримка Wi-fi модуля для передачі файлів;
- автопаркування по вісям XY без кінцевиків;
- можливість друкувати широким спектром пластиків;
- доступність запасних частин на ринку;
- відкритий доступ до електронної частини, що полегшує налагоджувальні процеси та зменшує вірогідність перегрівання елементів.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 4.6 детально зображено складальне креслення всього 3D принтера, з специфікацією елементів, їх розташуванням під позиціями та габаритними розмірами [БРМА 25.03.00.000 СК].

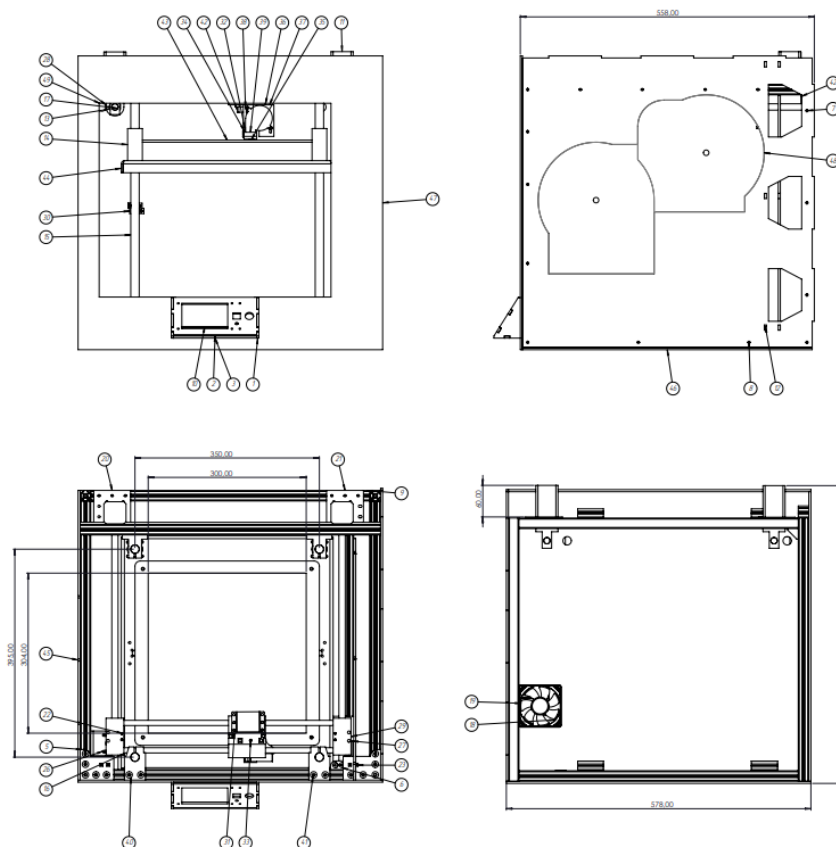


Рисунок 4.6 – Складальне креслення 3D принтера Mark 3

Висновок до четвертого розділу.

В четвертому розділі було оглянуто конструкцію 3D принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості, описано переваги та загальні характеристики. Для переміщення столу на 3D принтері Mark 3 використовується гвинтова пара. Також проведено розрахунок гвинтової пари.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
61

Висновки

Роботу присвячено актуальній темі – розробці 3D-принтера для потреб легкої промисловості. У роботі детально проаналізовано сучасні технології тривимірного друку, класифікацію принтерів за типами кінематики, принципи їх конструктивного виконання, застосування у виробництві, а також особливості вибору електронної та механічної складової пристрою.

Робота охоплює повний спектр технічного аналізу: від огляду типів принтерів, підбору кінематичної схеми, електронних компонентів і крокових двигунів до організації праці з 3D-принтером. Вибір кінематики Core-XY обґрунтований техніко-економічними перевагами, а проектування механізмів та електронної системи керування супроводжується технічними характеристиками, графічними ілюстраціями та принциповими схемами.

Слід відзначити належний рівень оформлення пояснювальної записки, її логічну структуру, обґрунтованість висновків та відповідність матеріалу поставленим завданням. Висвітлено практичні аспекти застосування 3D-друку в умовах воєнного часу та перспективи впровадження у сфері легкої промисловості. Розрахункова частина підтверджує працездатність запропонованої конструкції.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Казмірук, З. (2023, 22 травня). У Львові вперше в Україні будують школу за допомогою 3D-принтера.

ZAXID.NET. URL: https://zaxid.net/u_lvovi_vpershe_v_ukrayini_buduyut_shkolu_za_dopomogoyu_3d_printera_n15640392 (дата звернення: 05.06.2025)..

2. 3D-друк FDM. Пояснення простими словами. (б. д.). 3D друк, 3D принтери, 3D ручки, 3D пластик в Україні. URL: <https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/103-3d-printing-fdm-explained-in-simple-words> (дата звернення: 05.06.2025).

3. Конвеєрний 3D-принтер Blackbelt | Купити в Україні. (б. д.). 3DDevice. URL: <https://3ddevice.com.ua/product/3d-prynter-blackbelt/> (дата звернення: 06.06.2025).

4. Прикладні основи 3D-друку (Панчук Віталій Георгійович): 3D друк або адитивні технології. (б. д.). Платформа дистанційного навчання ІФНТУНГ. URL: <https://dn.nung.edu.ua/mod/page/view.php?id=53775> (дата звернення: 06.06.2025).

5. Технологічне обладнання швейного виробництва: Навчально – методичний посібник для самостійної роботи студентів/ уклад. Л.М. Хоменко.– Умань: ФОП Жовтий О.О., 2016. – 134 с.

6. Кінематика 3D-принтерів. Види та особливості. Робимо свій вибір. – 3Dprinter. (б. д.). 3Dprinter – Сайт з продажу 3д принтерів, послуг 3д друку тощо. URL: <https://www.3dprinter.ua/kinematyka-3d-prynteriv-vydy-ta-osoblyvosti-robymo-svij-vybir/> (дата звернення: 07.06.2025).

7. Плата керування Makerbase MKS Robin Nano v3.1 - Screwmaker. (б. д.). ScrewMaker. URL: <https://screwmaker.com.ua/plata-keruvannya-makerbase-mks-robin-nano-v3-1> (дата звернення: 07.06.2025).

8. Nema 17 – шаговий двигатель 3D принтера, 0.4N.m – 3Dprinter. (б. д.). 3Dprinter – Сайт з продажу 3д принтерів, послуг 3д друку тощо. URL: <https://www.3dprinter.ua/ru/shop/nema-17/> (дата звернення: 08.06.2025).

9. Що таке PLA пластик: характеристики та властивості. Український виробник матеріалів для 3D друку. LBL - URL: <https://lbl-corp.com/ru/blog/shcho-take->

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

[pla-plastyk-kharakterystyky-ta-vlastyvoli/?srsltid=AfmBOoqTo6H5ea3XwCSBl0e-Owzt0-uqge3FmWBKJWsqYuI4ipll0eSf](https://easy3dprint.com.ua/uk/yak-pratsyuue-3d-printer-z-metalu/) (дата звернення: 08.06.2025).

10. Як працює 3D принтер з металу: основи технології. Центр 3D друку в Україні. URL: <https://easy3dprint.com.ua/uk/yak-pratsyuue-3d-printer-z-metalu/> (дата звернення: 09.06.2025).

11. Ходовий гвинт з трапецеїдальним різьбленням Т8*8 мм х 500 мм | Якісний 3D друк пластиком та нейлоном високої точності у Києві, Харкові, Львові, Одесі, Дніпропетровську за найкращою ціною. (Б. Д.). Якісний 3D друк пластиком та нейлоном високої точності у Києві, Харкові, Львові, Одесі, Дніпропетровську за найкращою ціною. | Послуги 3D друку у Харкові.
URL:<https://3dreams.com.ua/product/ходовий-гвинт-з-трапецеїдальної-різьблення-3/> (дата звернення: 09.06.2025).

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		