

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра
за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

на тему: МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ
НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОТОПОЛІМЕРНОГО ДРУКУ

Проектував	_____	О. А. Вороной
Керівник роботи	_____	Д. І. Кузнецов
Нормоконтроль	_____	Д. І. Кузнецов
Завідувач кафедри	_____	А. І. Купін

Кривий Ріг
2022

Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Ступінь вищої освіти
Спеціальність

магістр
123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії

_____ А. І. Купін

“ ____ ” _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вороной Олександр Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Методи та засоби створення тривимірних об'єктів на основі технології фотополімерного друку

керівник роботи: Кузнєцов Денис Іванович, кандидат технічних наук, доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2022 року № ____

2. Строк подання студентом роботи 25.11.2022

3. Вихідні дані до роботи Проектування та налаштування програмно-апаратного комплексу на основі ардуіно мега

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вибір елементів логічної схеми. Моделювання тривимірних моделей. Налаштування електричної схеми. Тестування програмно-апаратного комплексу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація PowerPoint (15 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10.04.2022 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз тривимірного друку в наші часи	10.04.2022 – 25.04.2022 рр.	
2	Аналіз методик тривимірного моделювання	26.04.2022 – 10.05.2022 рр.	
3	Вибір елементів логічної схеми	11.05.2022 – 01.06.2022 рр.	
4	Моделювання тривимірних моделей деталей корпусу	02.06.2022 – 02.07.2022 рр.	
5	Налаштування електричної та логічної схеми	03.07.2022 – 01.08.2022 рр.	
6	Програмування скетчу проекту	02.08.2022 – 01.09.2022 рр.	
7	Регулювання режимів роботи	02.09.2022 – 10.10.2022 рр.	
8	Тестування роботи приладу	11.10.2022 – 01.11.2022 рр.	
	Порівняльна характеристика фотополімерного та FDM друку	02.11.2022 – 15.11.2022 рр.	
	Підготовка презентації PowerPoint	16.11.2022 – 25.11.2022 рр.	

Студент _____
(підпис)Вороной О. А.
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Кузнєцов Д. І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 107 сторінки, 157 рисунків, 14 таблиці, 21 використане джерело.

Мета проектування – проектування фотополімерного 3д принтера на основі Arduino mega.

Проект складається з п'яти розділів.

Перший розділ присвячено вибору електричних та логічних елементів системи.

Другий розділ присвячено моделюванню віртуального екземпляру деталей проекту

У третьому розділі проводиться налаштування електричної та логічної схеми

У четвертому розділі проводиться налаштування програмного коду.

У п'ятому розділі проводиться тестування проекту на предмет виявлення конструктивних недоліків.

PC, FDM, DLP, SLA, TFT, ФОТОПОЛІМЕР.

					КНУ.РМ.123.22.02.Р		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ		
Розробив	Вороной						
Перевірив	Кузнєцов						
Н.контроль	Кузнєцов						
Затвердив	Купін				КІ-21-М		

Explanatory note: 107 pages, 157 figures, 14 tables, 21 used sources.

The purpose of the design is to design a photopolymer 3D printer based on Arduino mega.

The project consists of five sections.

The first section is devoted to the selection of electrical and logical elements of the system.

The second section is devoted to modeling a virtual instance of project details

In the third section, the setting of the electrical and logical scheme is carried out

In the fourth section, the software code is configured.

In the fifth section, the project is tested to identify structural flaws.

PC, FDM, DLP, SLA, TFT, PHOTOPOLYMER

.

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ЗНАЙОМСТВО З ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ ТА ВИБІР	
АПАРАТНИХ МОДУЛІВ ПРИНТЕРА	10
1.1 Знайомство з технічним завданням проекту	10
1.2. Типи 3д принтерів сьогодення	14
1.3. DLP друк, яка заміна FDM друку.	18
1.4 Аналіз конструкції DLP принтера	20
1.5 Вибір осі Z на базі модулів Arduino.	21
1.6 Вибір елементів проектора та визначення часу засвітки.	26
Висновок:	35
2 ПІДГОТОВКА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТУ	36
2.1 Моделювання елементу для встановлення матриці.	36
2.2 Моделювання елементу кріплення крокового двигуна	37
2.3 Моделювання верхньої кінцевої частини вісі Z.	42
2.4 Підготовка 3д моделі рухомого столика фотополімерного принтера	43
2.5 Моделювання рухомої частини вісі Z.	45
2.6. Перевірка взаємних пропорцій елементів рухомої частини проекту.	47
2.7 Моделювання ванни для фотополімеру.	48
2.8 Зовнішній кожух блоку живлення.	51
2.9 Моделювання корпусу панелі керування.	52
Висновок:	54
3 ПІДГОТОВКА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА МОНТУВАННЯ	
МОДУЛІВ ПРИНТЕРА.....	55
3.1 Підготовка механічних елементів принтера.	55
3.2 Монтування механічних елементів конструкції.	59
3.3 Підготовка та налаштування силових модулів проекту.	64
3.4 Встановлення та корекція робочих напруг приладу.	64
3.5 Встановлення та налаштування елементів електричної схеми.	66
3.6 Встановлення та підключення UV підсвітки	68
3.7 Встановлення та підключення oled дисплею.....	69
3.8 Встановлення та підключення матриці ультрафіолетового проектора	71
3.9 Загальна перевірка ультрафіолетового проектора.	74
3.10 Встановлення та перевірка роботи кінцевих перемикачів	74
3.11 Підключення та тестування крокового двигуна	75
3.12 Оформлення загальної схеми та встановлення додаткових модулів	77
Висновок:	77
4 ПІДКЛЮЧЕННЯ БІБЛІОТЕК ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО	
КОДУ	78
4.1 Налаштування роботи кінцевих перемикачів	78
4.2 Налаштування роботи перемикача запуску процесу друку.	78
4.3 Налаштування роботи Oled дисплею.	78
4.4 Налаштування роботи ультрафіолетової підсвітки.	80
4.5 Налаштування роботи матриці 480x320 пікселів та підключення модуля SD карти.	81
4.6 Налаштування роботи крокового двигуна.	82
Висновок:	84

					КНУ.РМ.123.22.02.3			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ЗМІСТ			
Розробив	Вороной							
Перевірів	Кузнецов							
Н.контроль	Кузнецов							
Затвердив	Купін				KI-21-M			

5 НАЛАШТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ПРИНТЕРА.. 85

5.1 Підготовка файлів друку.....85

5.2 Труднощі налаштування та корекція параметрів принтера.91

5.3 Порівняльна характеристика якості друку фотополімерного принтера на апарату типу FDM.....94

Висновок:98

ВИСНОВКИ 99**СПИСОК ВИКОРСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 100****ДОДАТКИ..... 102**

Додаток А — Програмний код проекту102

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

FDM — fused deposition modeling;
 SLA — Service Level Agreement;
 DLP — Data Leak Prevention;
 ЧПК — Числове програмне керування;
 TFT — thin-film transistor;
 STL — stereolithography;
 BMP — Bitmap Picture.

					КНУ.РМ.123.22.02.ПС		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ		
Розробив	Вороной						
Перевірив	Кузнецов						
Н.контроль	Кузнецов						
Затвердив	Купін				КІ-21-М		

ВСТУП

3D принтери в наш час набувають все більшої популярності. Вже зараз перспективи 3D друку вкрай багатообіцяючі. Вчені активно розвивають існуючі методики 3D друку, розробляють нові технології і типи матеріалів, знаходять нові сфери застосування. Багато хто називає 3D друк технологією майбутнього, і цьому є причини. Методика здатна повністю перевернути звичний уклад життя, змінивши спосіб виробництва більшості речей. По суті, 3D принтер - це справжня багатофункціональна фабрика, невелика і компактна. За рахунок цього майбутнє 3D друку з упевненістю можна назвати успішним.

Актуальність роботи. 3D принтери здатні значно знизити виробничі витрати, за рахунок чого знизиться і собівартість виробів. Судячи по наростаючій тенденції до популяризації 3D технологій, в майбутньому основною товарною одиницею стане сировина для 3D друку. В цілому, перспективи 3D друку визначені для багатьох сфер. І зараз ми постараємося максимально їх розкрити.

В більшості сьогодні набули найбільшої популярності так звані FDM принтери, які використовуючи систему екструзійної подачі пластику наплавляють шари за допомогою технології ЧПУ. Модель організовується дуже швидко, але при тонкому аналізі видні шари пластику деталі.

Мета і завдання дослідження. Основною метою дослідження є проектування та аналіз фотополімерного друку, перевірка якості та порівняльна характеристика 2х типів 3д принтерів.

Об'єкт дослідження — саморобний фотополімерний 3д принтер на основі Arduino mega.

Предмет дослідження — методи та засоби створення тривимірних моделей на основі фотополімерного та FDM друку.

Методи досліджень. Використовуючи прототипування та експериментальний аналіз визначити переваги та недоліки фотополімерного друку.

Наукова новизна одержаних результатів. З метою збільшення якості друку було вдосконалено фотополімерний метод друку, якість якого на пряму залежить від роздільної здатності дисплею, а замість пластику використовується спеціальний фотополімер, який твердіє під дією ультрафіолетових променів.

2. Розроблено прототип фотополімерного принтеру, на базі Arduino mega, у основі електротехнічної конструкції якого виступають модулі для систем та дисплей TFT 480x320. [1,2,3].

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження дозволять правильно розподілити етапи друку при використанні SLA та DLP принтерів.

Апробація роботи. Апробація досліджень відбувалась на конференції KICM 2021 та 2022 років від Криворізького національного університету[1,5,4].

					КНУ.РМ.123.22.02.В		
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			
Розробив	Вороной				ВСТУП	Літера	Аркуш
Перевірив	Кузнєцов						
Н.контроль	Кузнєцов					KI-21-M	
Затвердив	Купін						

1 ЗНАЙОМСТВО З ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ ТА ВИБІР АПАРАТНИХ МОДУЛІВ ПРИНТЕРА

1.1 Знайомство з технічним завданням проекту

За технічним завданням вирішено провести тестове проектування DLP принтера з доступних комплектуючих на базі платформи Arduino (рисунок 1.1).

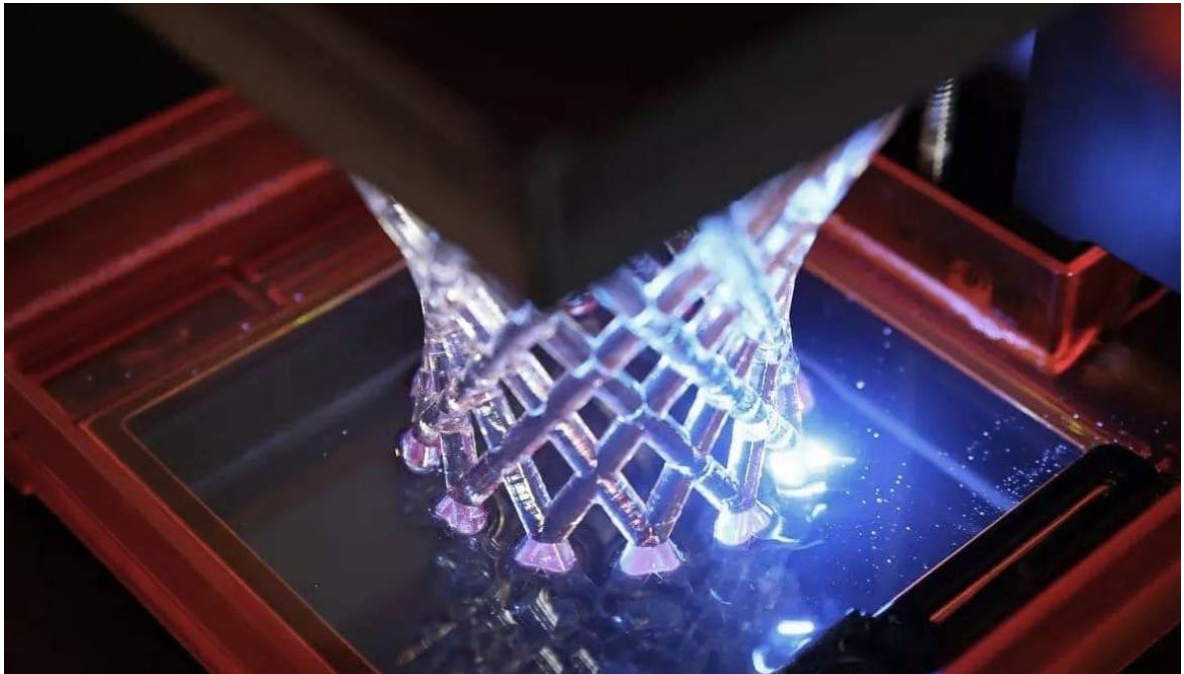


Рисунок 1.1 — Друк на фабричному DLP принтері

Перспективи 3D друку

Вже на сьогоднішній день 3д друк розповсюдився на кожен сферу діяльності людини. Різноманітні деталі як з пластику, так з металу, бетону та навіть в медицині. В першу чергу 3д принтери зачепили промисловість. Неймовірно велика кількість комплексних деталей друкується одночасно для полегшення праці та автоматизації виробництва[1,3,2,6].

Майбутнє 3D друку

Якщо спробувати уявити майбутнє 3D друку, уяву намалює досить цікаву картину. Якщо поглянути на зацікавленість вчених технологіями тривимірного біологічного моделювання, то в майбутньому ми побачимо 3д друк цілих органів людини. Крім того принтери тривимірного нарощування конструкції вже зачепили такі сфери, як:

Будівництво. 3Д друк будинків, або контурне будівництво, приваблює багатьох своєю футуристичністю і простотою.

					КНУ.РМ.123.22.02.01.3ЗТЗТВАМП							
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата								
Розробив		Вороной			ЗНАЙОМСТВО З ТЕХНІЧНИМ ЗАВДАННЯМ ТА ВИБІР АПАРАТНИХ МОДУЛІВ ПРИНТЕРА				Літера		Аркуш	Аркушів
Перевірив		Кузнецов										
Н.контроль		Кузнецов							КІ-21-М			
Затвердив		Купін										

Перші кроки в цьому напрямку вже зроблені. Піонерами в 3Д-друку будинків стали китайці, слідом за якими контурне будівництво відкрив для себе уряд Дубая. У цьому місті майбутнього вже побудовано перша 3D-друкована офісна будівля, а в найближчому майбутньому планується надрукувати цілий квартал. А буквально нещодавно на 3D принтері був створений перший друкований будинок в Європі (рисунок 1.2).

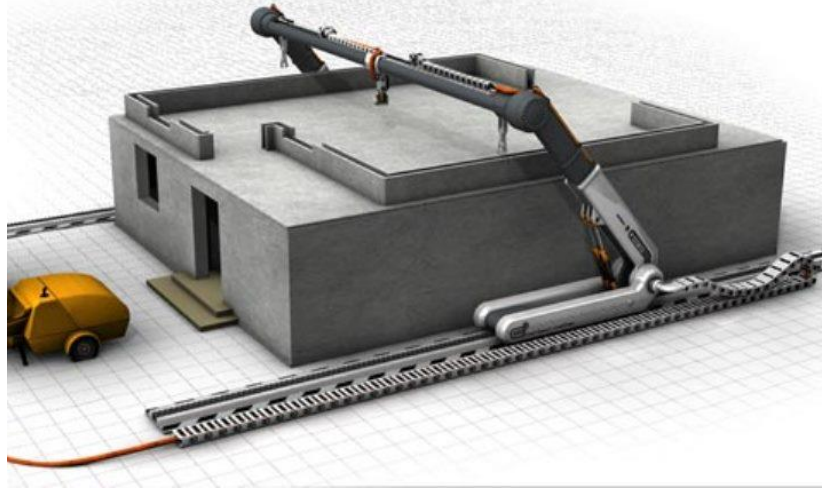


Рисунок 1.2 — 3д друк будинку

Електроніка. Перспективи цього напрямку, можливо, в майбутньому повністю ручну роботу. Вчені вважають 3Д друк електроніки майбутнім виготовлення цифрових приладів, і небезпідставно. В даний час активно проводяться дослідження властивостей графену і його застосування в аддитивном виробництві. Величезний прорив в цій області - створення на 3D-принтері графенового акумулятора з необмеженим терміном експлуатації (рисунок 1.3)[1,2,3,4].



Рисунок 1.3 — 3д друк електроніки

Автомобільна і аерокосмічна промисловість. Вже зараз 3д друк широко використовується при потоковому виробництві літаків та автомобілів (рисунок 1.4). Великі комплексні деталі друкуються одночасно, після чого збираються в єдину конструкцію. На МКС навіть є власний 3D принтер (рисунок 1.5).



Рисунок 1.4 — 3д друк елементів автомобіля



Рисунок 1.5 — 3д принтер на МСК

Фармацевтична промисловість. Майбутнє 3D друку - в виготовленні таблеток і інших лікарських засобів. Підтвердженням цьому є легалізовані в США таблетки від епілепсії, виготовлені за особливою методикою. Суть цієї перспективи 3D друку полягає в поступовому вивільненні активних речовин, завдяки чому замість безлічі таблеток можна буде випити всього одну (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 — 3д друк у фармацевтиці

Харчова промисловість. 3Д принтери для друку їжі поступово відвойовують простір в кафе і ресторанах. Хоча це, ймовірно, одна з найбільш сирих технологій 3Д-друку, потенціал закладений і в ній. Харчові 3Д принтери особливо цікаві можливістю приготування їжі для космонавтів, а також свободою прояви кулінарного таланту (рисунок 1.8).



Рисунок 1.7 — 3д друк шоколадом в кондитерській сфері

Майбутнє 3Д принтерів

Навіть 3д принтери сьогодення показують неймовірні успіх в роботі, але в майбутньому очікується значне підвищення їх надійності та швидкості роботи. Якість вихідного екземпляру друку підвищується з кожною версією принтерів. Принтери майбутнього очікувано зможуть похвастатись бесперебійною роботою, одночасною перевіркою та правкою деталей під час друку.

Масштабне поширення. Зважаючи на те, що в час автоматизації виробництва в процес створення виробів все частіше інтегрується електроніка та робототехніка, а використання 3д принтерів підвищує можливості процесу в рази.

Доступність. Продовжуючи попередній пункт необхідно зауважити, що при автоматизації друку комплексних деталей зменшиться їх собівартість, а тому зменшаться і ціни на виготовлений вихідний продукт. Така перевага дасть змогу до придбання виробів для людей з середнім бюджетом.

Збільшення області побудови. Якщо вже продовжувати про 3д принтери в промисловості, то необхідно зауважити, що розміри як обладнання та і вихідних елементів збільшуються в рази.;

Розширення спектру доступних матеріалів. друку, адже більшу кількість означає більше можливостей. Розробки спеціального обладнання та відповідних матеріалів ведуться багатьма фірмами і постійно з'являються новини про вихід нових полімерів. Серед матеріалів друку вже наявна безліч видів пластику, металу навіть органічних речовин [3,4,6].

1.2. Типи 3д принтерів сьогодення

За рахунок того, що друк 3д елементів розповсюдився на більшу частину сфер діяльності людини, то сам процес обробки 3д моделі розділився на 2 основні типи.

- Пряма потокова передача даних з комп'ютера на 3д принтер (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 — 3д друк з використанням потокової передачі даних з ПК

- Друк з зовнішнього носія, на якому заздалегідь збережено дані та файли поточного проекту (рисунок 1.9).

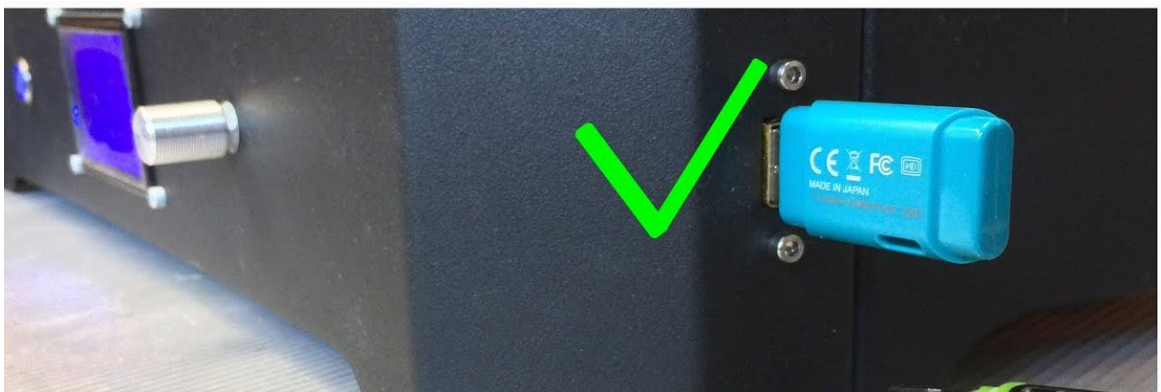


Рисунок 1.9 — 3д друк без використання потокової передачі даних з ПК

Технологія пошарового плавлення пластиком (полімером) FDM (Fusing Deposition Modeling) або FFF

є найпростішими та найпоширенішими пристроями для персонального та професійного використання у сфері адитивних технологій.

Принцип роботи даного принтеру полягає в потоковому наплавленні пластику по заздалегідь підготовленим доріжкам. При цьому головною перевагою є максимальна доступність та простота полімеру. В якості матеріалу для наплавлення використовується пластик PLA, ABS, PETG. Кожен вид має свої термічні властивості. При правильно обраному виді сировини можна отримати деталь з мінімальною осадкою та максимальним повторенням. При необхідності можна забезпечити мінімальну температуру

для роботи принтера, чи навпаки максимальні термічну стійкість вихідного продукту (рисунок 1.10) [4,5,2,7].



Рисунок 1.10 — 3д друк по технології FDM

На сьогоднішній момент це найпоширеніша технологія 3D-друку у світі. Головні плюси FDM технології:

- Щодо дешеві матеріали (від 1300 рублів за 1 кг)
- Широкий різновид витратних матеріалів (можуть бути гумоподібні, термостійкі, ударостійкі пластики і т.д.)
- Низька собівартість устаткування.
- Простота використання.

Технологія лазерної стереолітографії SLA (StereoLithography Apparatus)

3D-принтери цього виду побудовані на використанні фотополімерної рідини, яка твердне під впливом лазера, УФ або ІЧ і перетворюється на твердий пластик. Основною особливістю даного виду принтерів є методика твердіння фотополімеру. Лазер проходить по фотополімеру, під впливом якого той твердіє, організовуючи один шар моделі. Після повної підготовки шару, столик піднімається на один шар та процедура повторюється знову (рисунок 1.11) [16,17,13,12].

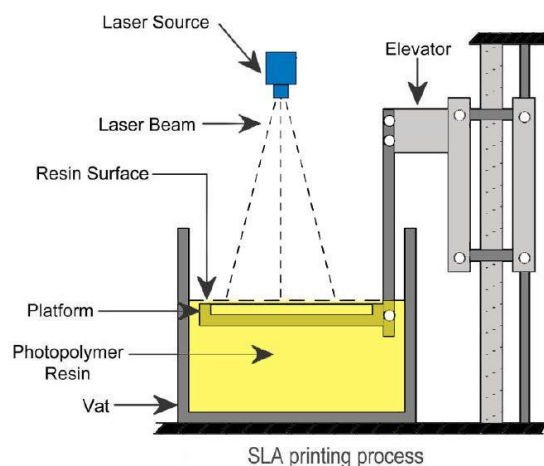


Рисунок 1.11 — 3д друк по технології SLA

Головні плюси цієї технології:

Якість деталізації моделі
Можливість друку моделей від 1 см (наприклад, ювелірні)
Мінімальний відсоток збоїв у роботі

З мінусів можна зазначити:

висока вартість обладнання (хоча з часом дешевшає)
Висока вартість витратного матеріалу

Технологія (Digital Light Processing)

Ця технологія дуже подібна до свого процесу виконання на метод SLA. Але головною відмінністю є не УФ, а звичайного світлового проєктора для затвердіння рідкого полімеру.

Цей фотополімер поступово доливається в платформу в міру його витрачання, а також під час процесу друку принтер закривається, щоб не вдалося засвітити саму модель (рисунок 1.12).

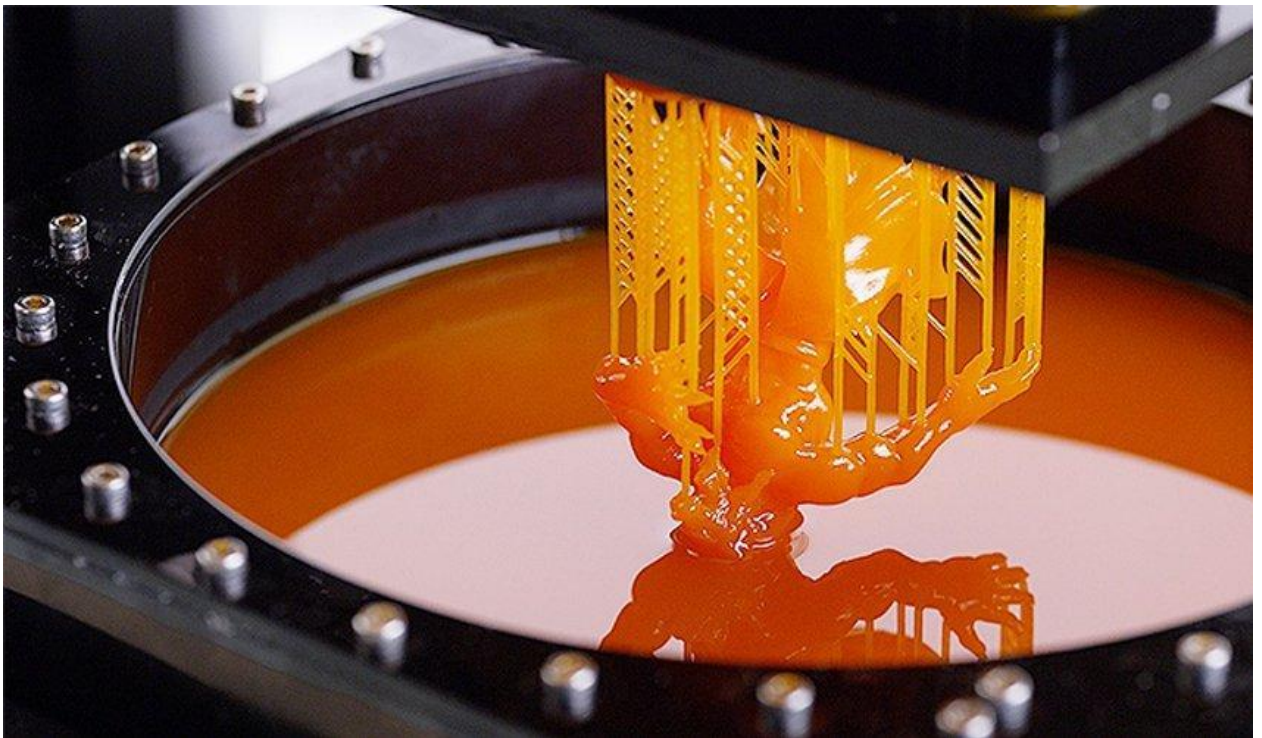


Рисунок 1.12 — 3д друк по технології DLP

Процес створення моделі дуже подібний до попереднього, тільки замість рідини використовується порошок. Спеціальний валик розподіляє його тонким рівномірним шаром у горизонтальній площині і потім за допомогою лазерного променя спікаються ділянки та тверднуть на даному шарі моделі.

Основа технології полягає у розпиленні різнокольорового затверджувача на тонкий шар дрібнодисперсного порошку в задані ділянки. Ці дії повторюються багато разів, завдяки чому утворюється необхідний елемент моделі. Час виготовлення деталей безпосередньо залежить від складності виконання [2,3,1,6].

При такому виготовленні потрібно ще й фінішне оброблення готової моделі - полірування щітками т.к. поверхні моделі в основному виходять шорсткими і пізніше просочення спеціальним суперклеєм (рисунок 1.13).

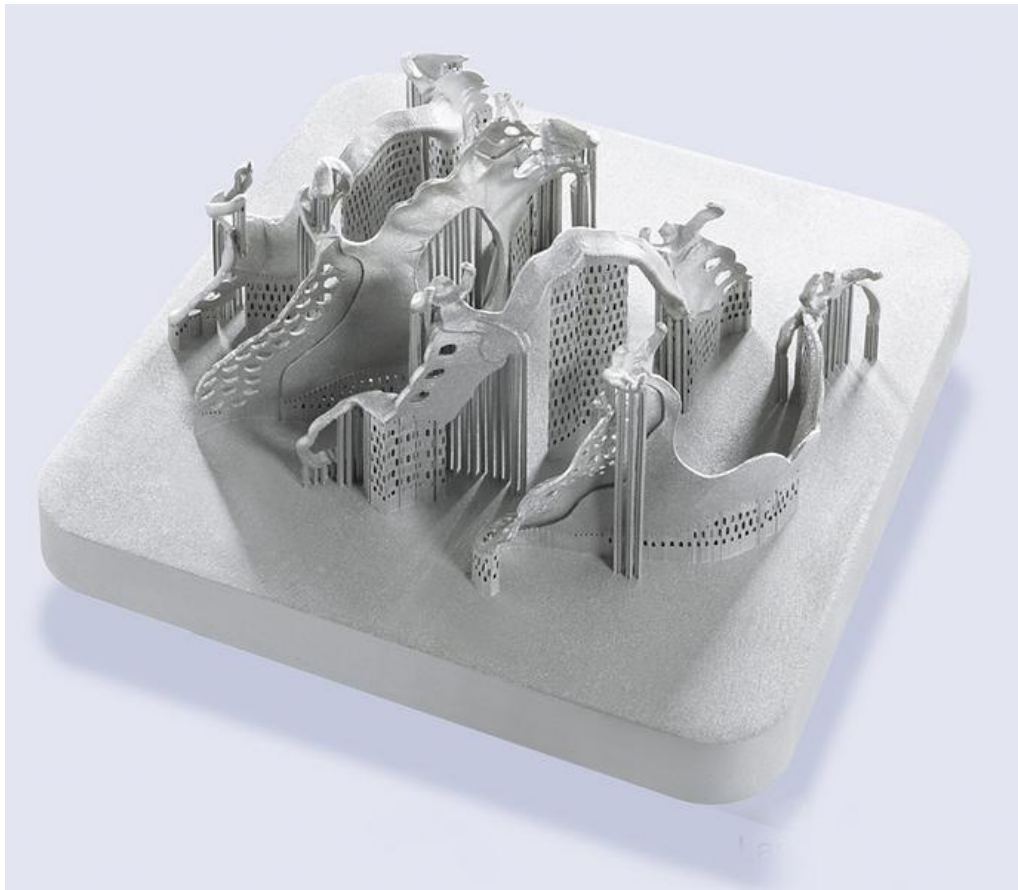


Рисунок 1.13 — 3д друк по технології MJF

Слід зазначити, що ця технологія з безвідходним виробництвом, тому що залишковий порошок повторно буде використаний для створення наступної моделі.

Головні плюси цієї технології:

Великий вибір використовуваних матеріалів

Безвідходне виробництво

Створення як дуже складних моделей, так і дрібних ювелірних виробів.

Швидкість створення вище, ніж у SLA

Метод наплавлення MJM (Multi Jet Modeling)

При використанні цього методу застосовують ультрафіолетовий спалах, щоб затвердів полімер. За допомогою головки розплавлений акриловий фотополімер (пластик) наноситься на платформу. Далі пластик піддається засвічуванню галогеновою лампою і матеріал твердіє. Також на матеріал наноситься побутовий віск для підтримки виступаючих частин і видаляється в результаті нагрівання в печі, навіть не залишаючи при цьому слідів [1,2,4,5].

Всі дії цієї технології повторюються багато разів для досягнення повного результату (рисунок 1.14).

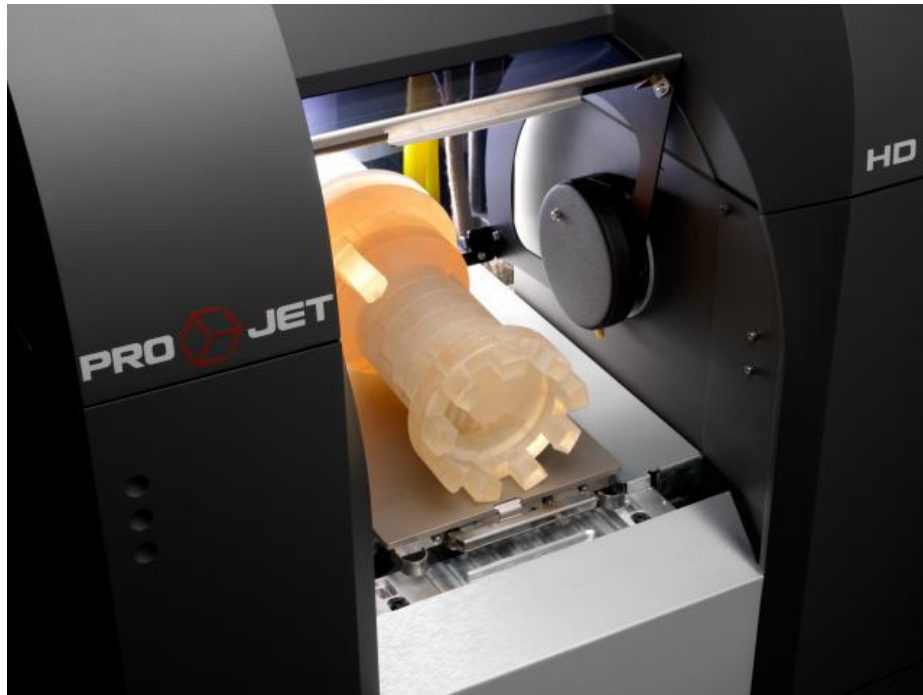


Рисунок 1.13 — 3д друк по технології MJM

1.3. DLP друк, яка заміна FDM друку.

За даними AMFG, асортимент 3D-принтерів зростає у всіх магазинах по всьому світу, про що свідчить те, що понад 70% підприємств знаходять нові програми для 3D-друку (Sculpteo, 2019). Крім того, кількість виробників, які використовують 3D-друк для повномасштабного виробництва, подвоїлася в період з 2018 по 2019 рік, і очікується, що загальний обсяг ринку перевищить 20 мільярдів доларів до 2022 року з очікуваним середнім показником між 18,2—27,2%. Це представляє широкий спектр галузей та варіантів використання, які просувають 3D-друк далі, ніж будь-коли раніше. Охоплюючи авіаційне, космічне та супутникове виробництво, аерокосмічна промисловість є найбільш передовою, коли справа доходить до 3D-друку та впровадження технологій. Суворі вимоги до функціональності обмежують 3D друк SLA просто тому, що матеріали погано працюють у складних умовах. Однак для розробки прототипів та внутрішніх компонентів кабіни були використані передові термопластичні матеріали для технології FDM, що мають покращену міцність або властивості ESD (переклад з англ. - Матеріали для електростатичного розряду). Як уже згадувалося раніше, переваги, притаманні створенню легких конструкцій із використанням FDM-друку, є унікальними вимогами аерокосмічного ринку (рисунок 1.14) [2,3,4,5].



Рисунок 1.14 — 3д друк елемента аерокосмічного модуля

Автомобільна галузь

Автомобільний ринок славиться використанням ABS-пластику та поліпропілену для створення прототипів та кінцевого продукту. Оскільки для більшості їх застосувань потрібні міцні та довговічні матеріали, FDM, як правило, є найпоширенішою технологією 3D-друку для прототипування, пристосувань, що спрямовують для свердління та виробництв невеликих обсягів. Зазвичай, автомобільним інженерам потрібні матеріали з покращеними властивостями хімічної стійкості, які продовжують працювати при дії бензину та інших хімічних речовин, що виправдовує використання FDM. Тим не менш, SLA має перевагу в друку прозорих деталей, що використовуються для тестування відбивачів та освітлювальних механізмів.

(рисунок 1.15) [7,6,9].



Рисунок 1.15 — Панель управління автомобіля надрукована на 3д принтері

1.4 Аналіз конструкції DLP принтера

DLP принтер складається з 5 основних компонентів друку:

- 1) Вісь Z;
 - 2) Столик
 - 3) Ванна для фотополімеру.
 - 4) Проектор зображення шару
 - 5) Мікрокомп'ютер чи мікроконтролер, який управляє етапами роботи.
- (рисунок 1.16).

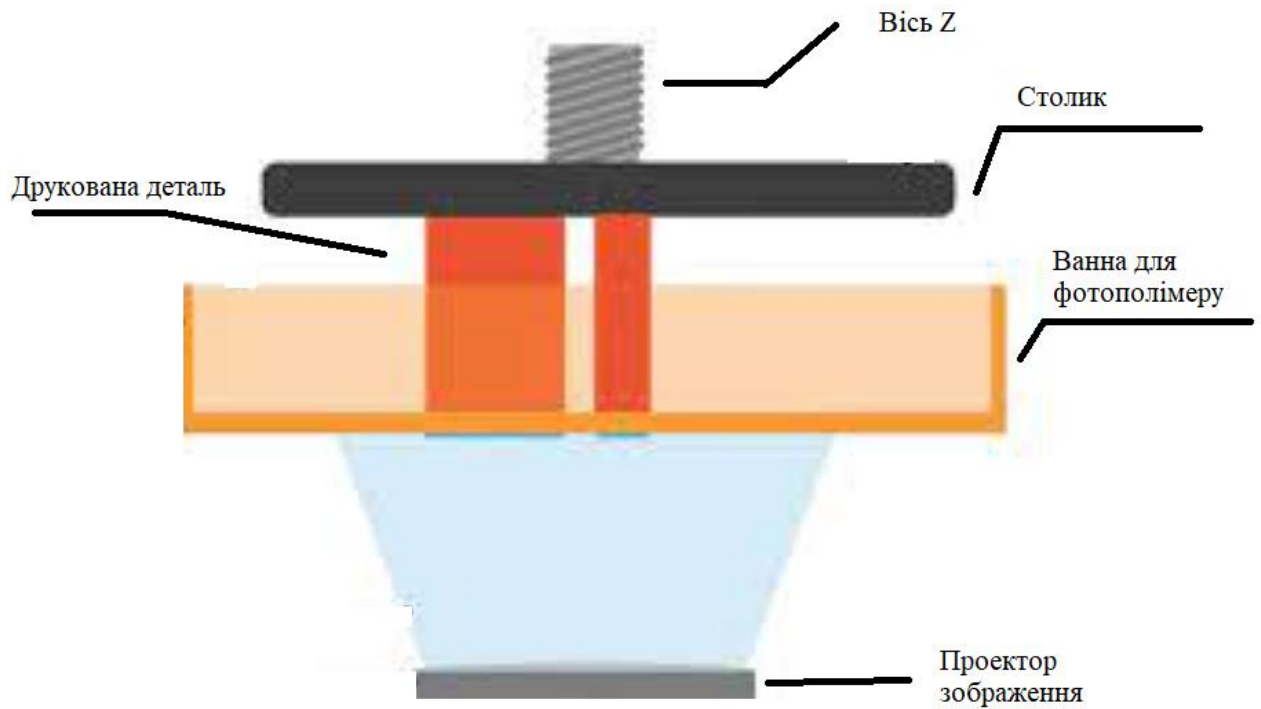


Рисунок 1.16 — Принцип роботи DLP принтера

Нарощування кожного шару при роботі принтера проводиться поетапно. Спочатку перед початком роботи в ванну заливається необхідна кількість полімеру.

- 1) Вісь підводить столик до нижньої точки друку.
- 2) Проектор вмикає подачу зображення на час, необхідний для твердіння шару.
- 3) Проектор вимикається.
- 4) Столик віддаляється від нижньої точки друку для додання смоли на наступний шар.
- 5) Столик підводиться на відстань рівно товщині наступного шару.
- 6) Вмикається зображення наступного шару [2,3,4].

1.5 Вибір осі Z на базі модулів Arduino.

Для переміщення столика з друкованою деталлю по осі Z необхідні механічні деталі, які забезпечать прицезійність руху та максимальне управління. Опорною частиною, конструкції слугуватимуть 2 лінійні направляючі діаметром 8 мм та довжиною 300 мм (рисунок 1.17).

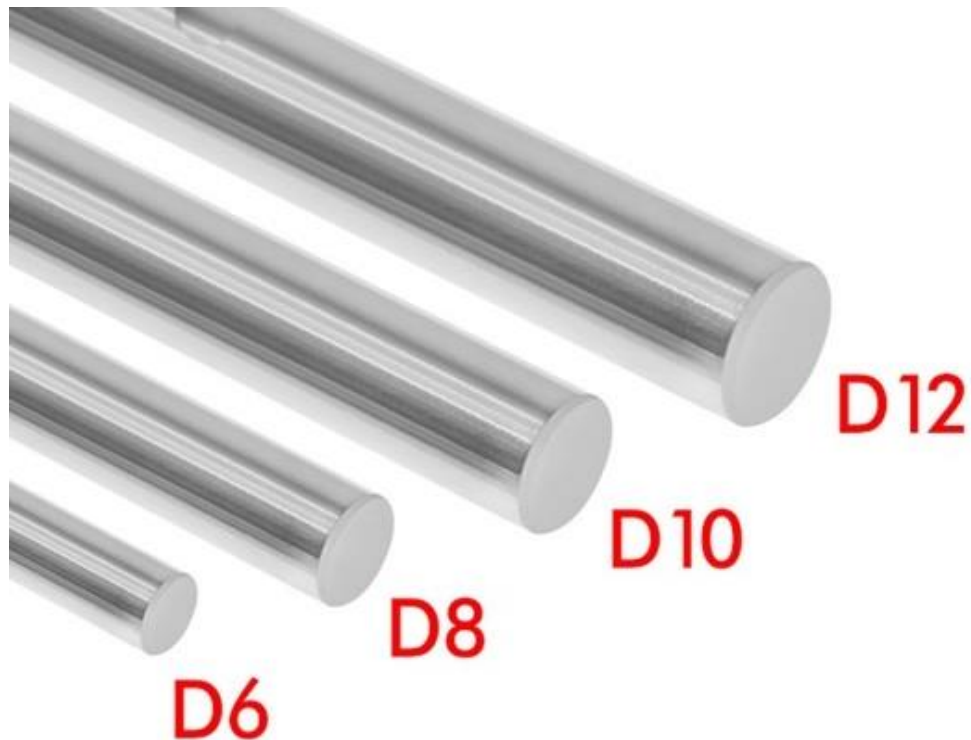


Рисунок 1.17 — Лінійні направляючі різних розмірів

Для зменшення тертя між деталями та підтримання рівномірного руху обрано 2 лінійних підшипника з внутрішнім діаметром 8 мм (рисунок 1.18) [1,2,3,4].



Рисунок 1.18 — Лінійні підшипники без кріплень

Замість простої шпильки для максимальної прицезійності буде встановлено гвинтову передачу з трапецивидною різьбою. Даний тип поворотної системи використовується в фабричних принтерах FDM, DLP та SLA (рисунок 1.19)[1,3].

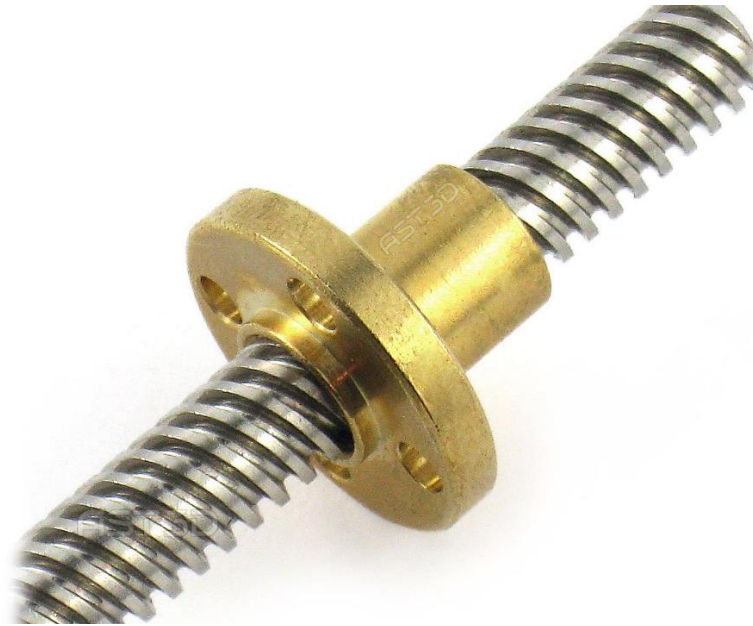


Рисунок 1.19 — Шарики-гвинтова передача

Стокова гайка, яка поставляється в комплекті з гвинтовою передачею не досягає необхідної прицезійності та має деякий люфт за рахунок не достатньо правильної формовки різьби. Для забезпечення необхідної точності виробу її замінено на спеціальну систему з антивібраційною пружиною (рисунок 1.20).



Рисунок 1.20 — Гайка з захистом від вібрацій

Для встановлення крокового двигуна у робоче положення та передачі поворотного імпульсу на шарико-гвинтову передачу необхідно обрати перехідну муфту. На одному кінці має внутрішній діаметр 5 мм, який відповідає діаметру осі крокового двигуна NEMA 17, а з іншого 8 мм для встановлення шарико-гвинтової передачі. Загалом муфти є 2х видів, а саме фіксовані та з можливістю поворотного рефлексу. Муфти другого типу за рахунок не фіксованого центру передають крутний момент з одного боку на інший навіть під невеликим кутом. Така система збільшить робочий срок приладу та зменшить тертя кріплення елементів конструкції (рисунок 1.21) [2,4,7,6].



Рисунок 1.21 — Муфта з функцією поворотного рефлексу

Загальна система у готовому до встановленні вигляді показана на рисунку . Перед поточним встановленням на своє робоче положення спочатку лінійні підшипники буде запресовано на посадочні місця в елементі кріплення столика вісі Z. Після перевірки на наявність люфту лінійні направляючі будуть запресовані на місця в корпусі приладу. Двигун буде встановлено в робоче положення та під'єднано до шарико-гвинтової передачі через муфту перехідник. Останнім кроком буде встановлення гайки з системою захисту від вібрації (рисунок 1.22) [4,5,7,6].



Рисунок 1.22— Вісь Z в повній комплектації

Для того, щоб зменшити тертя у верхній частині між гвинтовою передачею та корпусом вирішено використати підшипник з внутрішнім діаметром 8 мм.
(рисунок 1.23)



Рисунок 1.23 — Підшипник з внутрішнім діаметром

Змінювати положення столика буде кроковий двигун пета 17 під управління драйверу з діленням кроку 1х32. Експериментальним методом визначено, що:

1 крок двигуна при налаштуваннях 1х32 кроку піднімає столик на висоту 0, 05 мм. Звідси можна розрахувати, що для деталі висотою 70 мм необхідно буде близько 1400 шарів при максимальній якості друку (рисунки 1.24-1.25)
(таблиця 1.1) [8,7,12].



Рисунок 1.24 — Кроковий двигун пета 17

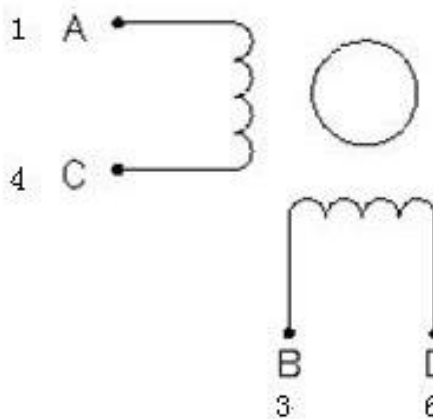


Рисунок 1.25 — Двофазна схема крокового двигуна пета 17

Таблиця 1.1 — Номінальні параметри крокового двигуна

Параметр	Значення
Номінальний струм	1.7 А
Опір обмотки	1.5 Ом
Індуктивність обмотки	2.8 мГн
Момент утримання	4 кг/см
Кут повороту на 1 крок	1.8 °

Для максимально точного коригування роботи двигуна та управління ним через мікроконтролер необхідно обрати драйвер крокового двигуна. Кожна з моделей має свої переваги та недоліки, але через найбільшу надійність та точність роботи вирішено обрати драйвер 8824 з ділення кроку на 32 (рисунки 1.26-1.27) [12,8].

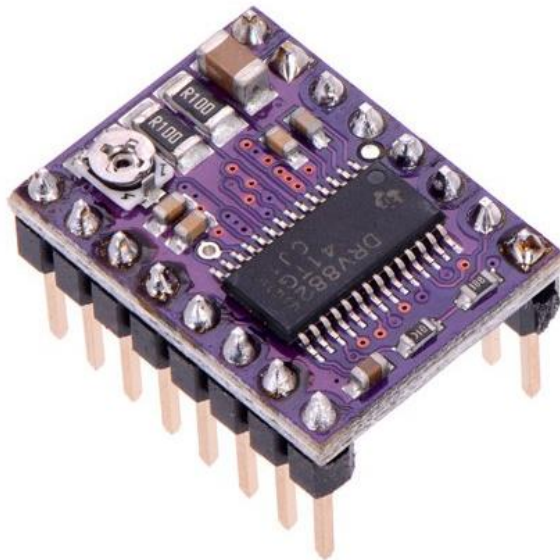


Рисунок 1.26 — Драйвер крокового двигуна

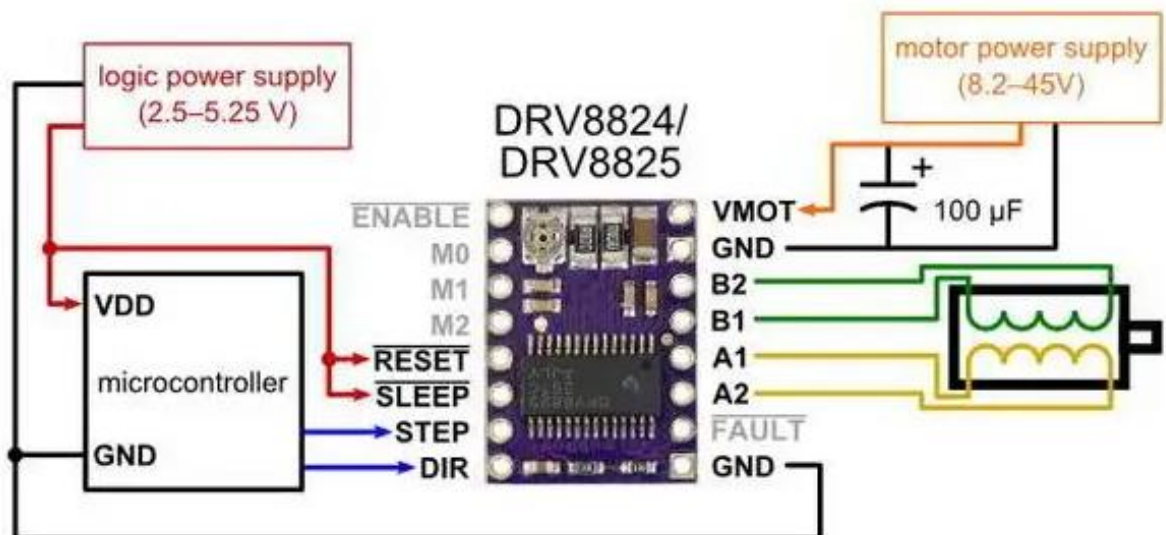


Рисунок 1.27 — Схема підключення драйвера крокового двигуна

1.6 Вибір елементі проектора та визначення часу засвітки.

В якості фотополімеру для принтера обрано полімер від компанії Plexiwire. За паспортом полімеру визначено, що нормальна довжина хвилі ультрафіолету становить близько 405 nm (рисунок 1.28) [21,20,19].



Рисунок 1.28 — Фотополімерна смола від компанії Plexiwire

Так, як на базі стандартних шилдів не представляється ліцензійних проекторів ультрафіолетового випромінювання, вирішено забрати власний на базі модулю 480x320 пікселів, створеного спеціально для Arduino mega (рисунок 1.29) (таблиця 1.2) [17,15,10].

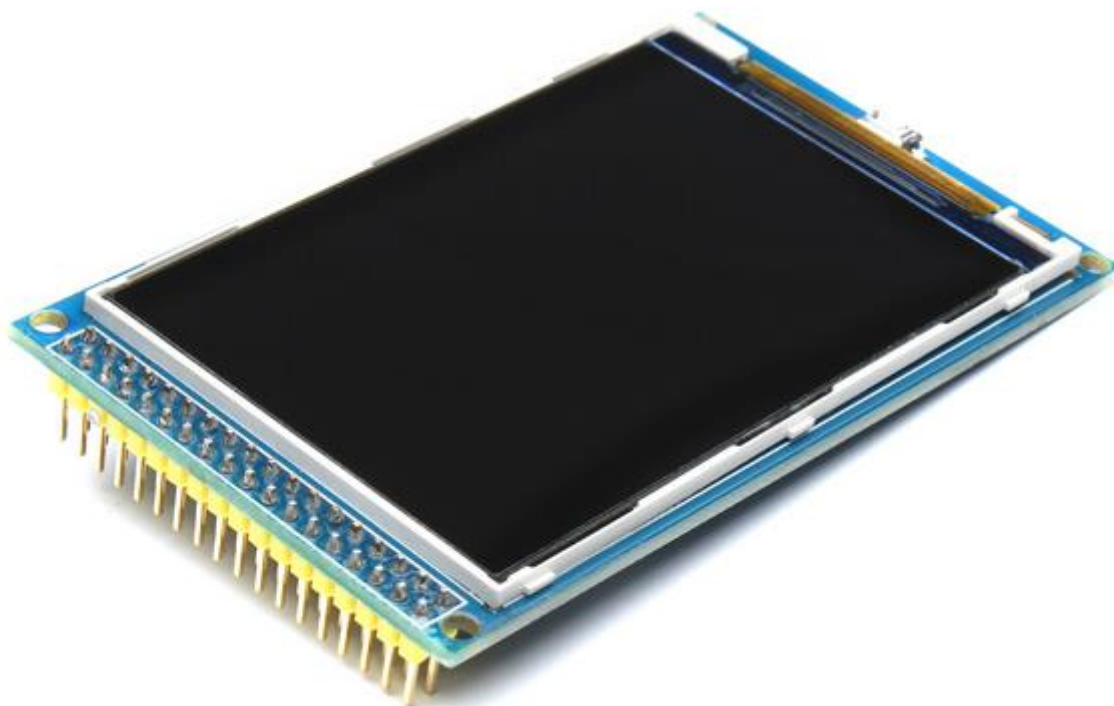


Рисунок 1.29 — Дисплей 480x320 пікселів

Таблиця 1.2 — Номінальні параметри дисплею

Параметр	Значення
Контролер	ILI9486
Матриця	TFT
Діагональ	3,5 дюйми
Роздільна здатність	480×320 (RGB)
Розмір	85×55 мм
На нижній стороні плати дисплея встановлено роз'єм для картки SD.	

Для організації проектора видалено білу підсвітку дисплею для її подальшої заміни на ультрафіолетову (таблиця 1.3).

Для використання в якості ультрафіолетової підсвітки у вільному доступі знайдено ультрафіолетові світлодіоди 405 nm 3 Вт (рисунок 1.30).

Таблиця 1.3 — Номінальні параметри ультрафіолетових світлодіодів

Навантаження, U	3,2-3,4 В
Струм, I	500 мА-600мА



Рисунок 1.30 — Приклад розміщення світлодіодів

В обраній схемі підключення 5 панелі 3 послідовних з'єднань світлодіодів. Розраховано, що

$$U_{in} = 3.4V \cdot 3 = 10.2V$$

Максимальний струм, поданий на підсвітку не повинен перевищувати напругу 9 В, для справної роботи підсвітки. Подальші параметри підсвітки будуть розраховані експериментально [17,16,14].

Ультрафіолетова підсвітка буде розташована під дисплеєм та вмикатиметься за допомогою реле (рисунок 1.31).



Рисунок 1.31 — Принцип взаємного розміщення світлодіодів та дисплею.

Так як максимальна напруга на ультрафіолетову підсвітку не перевищуватиме 9 В, то в якості системи керування вирішено використати реле з 12В DC (рисунок 1.32) [15,18].



Рисунок 1.32 — Реле переключення живлення

Експериментальним методом визначено, що мінімальний час засвітки деталі на один шар становить 7-10 с. Для правильної фіксації деталі на рухомому столику перші 5-10 шарів повинні бути засвітлені на 10 с більше ніж інші [5,4,17].

В якості елемента живлення обрано блок живлення на 120 Вт (рисунок 1.33) (таблиця 1.4)



Рисунок 1.33 — Блок живлення 120 Вт

Таблиця 1.4 — Номінальні параметри блоку живлення

Назва	Значення
Потужність	120 W
Вхідна напруга	220V
Тип блоку живлення	Імпульсний
Тип охолодження	Пасивне
Клас якості:	Standard
Тип корпусу:	Негерметичний
Корпус	Перфорований
Вихідна напруга	12V
Вихідний струм	10 A
Ступінь захисту	IP20
розміри	199x98x42
Температура роботи	-25~40 °C

Для управління всіма етапами роботи принтера обрано мікроконтролер на базі Arduino mega. Платформа сумісна з дисплеєм 480х320 пікселів та забезпечить керування кожною частиною проекту (рисунок 1.34)(таблиця 1.5).

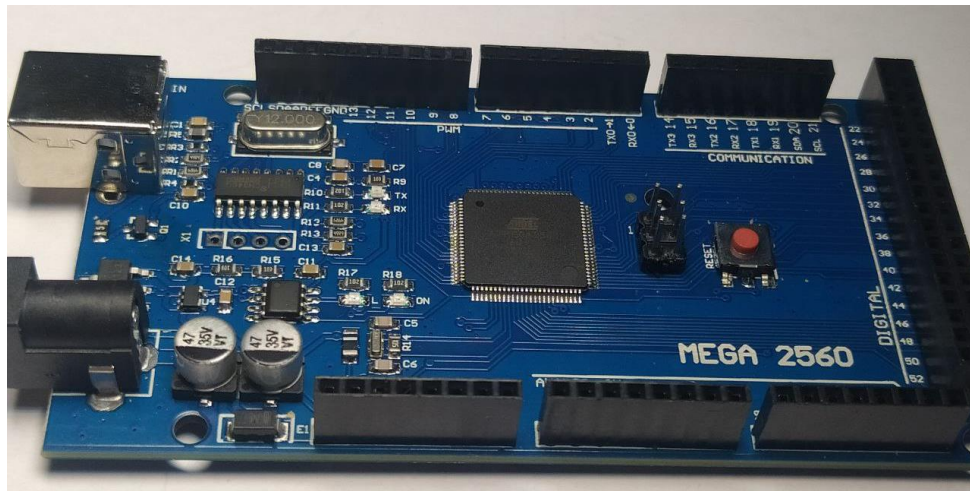


Рисунок 1.34 — Arduino mega

Таблиця 1.5 — Номінальні параметри Arduino mega

Характеристика	значення
Мікроконтролер	ATmega2560
робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (гранична)	6-20В
Цифрові входи/виходи	54 (з яких 15 можуть використовуватися як ШИМ-виходів)
Аналогові входи	16
Максимальний струм одного висновку	40 мА
Максимальний вихідний струм виведення 3.3V	50 мА
Flash-пам'ять	256 КБ, з яких 8 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	8 КБ
EEPROM	4 КБ
Тактова частота живлення	16 МГц

Зважаючи на переваги та недоліки розглянутих систем передачі вирішено, що у випадку 3д друку кількість шарів може становити декілька сотень, або навіть тисяч. В цьому випадку і час друку збільшується в раз в порівнянні із звичайним друком на струменевому чи лазерному принтері [9,21,20].

Через це необхідно забезпечити максимальну захищеність процесу друку. Найбезпечнішим варіантом потокової передачі зображення на дисплей є незалежна від зовнішніх систем та мереж робота.

Для проектування програмно-апаратного комплексу вирішено використати метод з зовнішнім накопичувачем.

Через відсутність модуля для підключення usb накопичувача до Arduino вирішено використати модуль microSD Card Adapter (рисунок 1.35) [13].

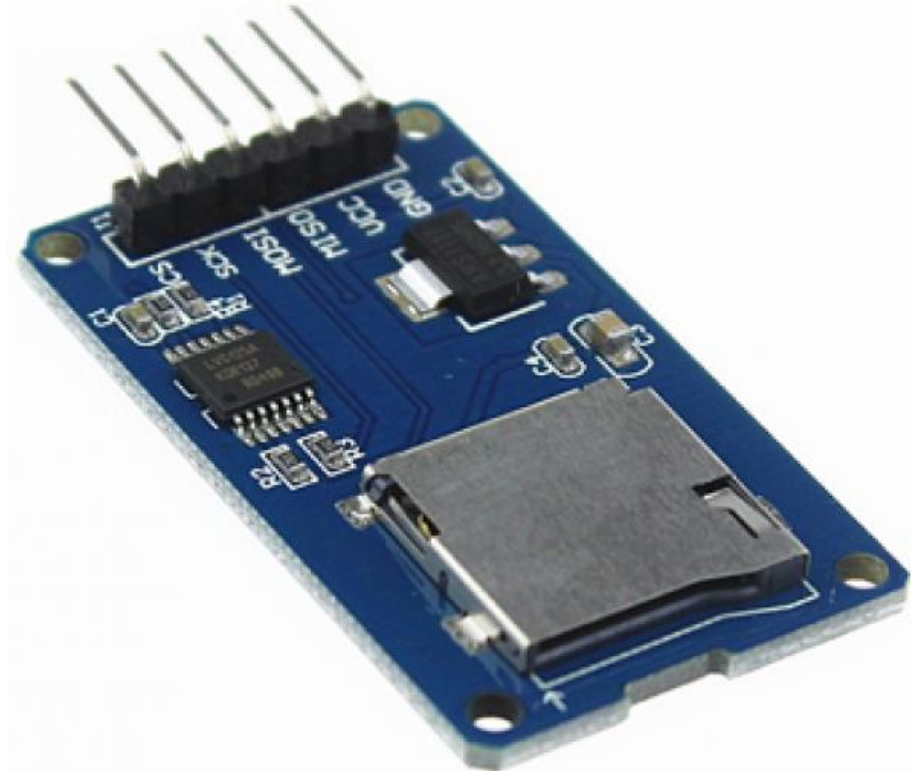


Рисунок 1.35 — Модуль SD карти для підключення до Arduino

Обраний модуль підключається до Arduino по шині SPI. Значення контактів модулю подано на рисунку 1.36 [13,15].

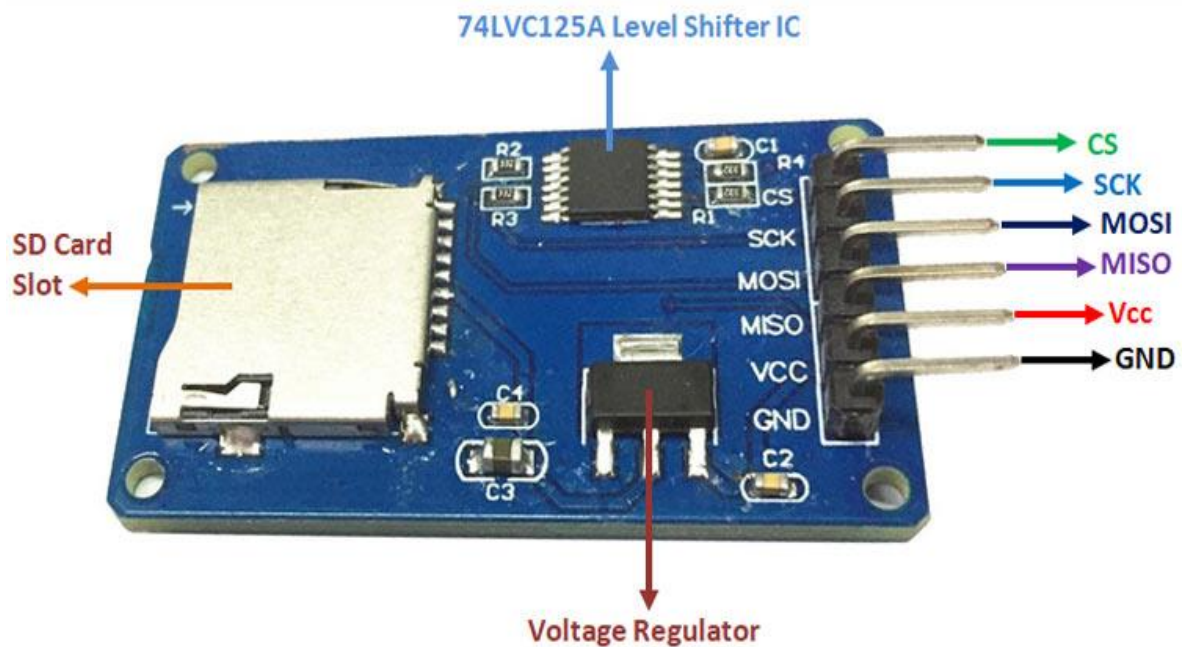


Рисунок 1.36 — Піни модулю SD card

Схему підключення модулю SD карти подано на рисунку 1.37 (таблиця 1.6).

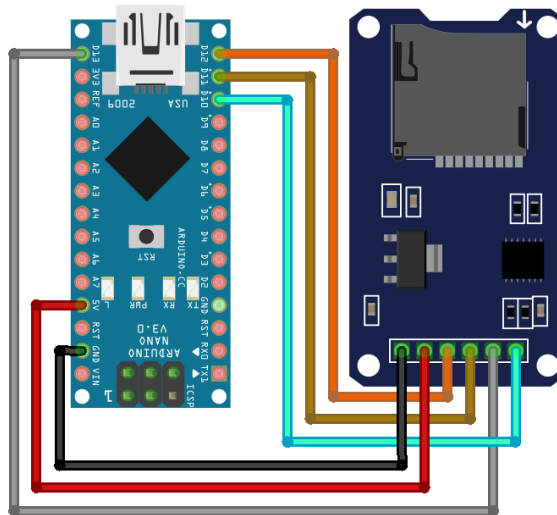


Рисунок 1.37 — Схема підключення модулю sd card

Таблиця 1.6 — Значення контактів модулю.

Pin Type	Pin Description
GND	Ground
VCC	Voltage Input
MISO	Master In Slave Out(SPI)
MOSI	Master Out Slave In(SPI)
SCK	Serial Clock(SPI)
CS	Chip Select(SPI)

Для запису зображень шарі на карту пам'яті вирішено використати перехідник з sd карти на usb. Основним завданням перехідника буде адаптувати карту пам'яті для встановлення в стандартний інтерфейс USB (рисунок 1.38) [15,16,20].



Рисунок 1.38 — Перехідник з sd карти на usb

Так, вихідна напруга блоку живлення становить 12В необхідно обрати понижуючий перетворювач для адаптації живлення окремих частин проекту, а саме мікроконтролера на базі Arduino, яка споживає 5 В, дисплей 480х320 пікселів та інших елементів конструкції. Поточні напруги живлення модулів подано в таблиці 1.7 [21,20,15].

Таблиця 1.7 — Номінальні параметри живлення елементів схеми

Апаратний модуль	Значення напруги живлення
Arduino mega	+5В
Oled display	+5В
Ультрафіолетова підсвітка	+7..9В
Релле	+5В
Кроковий двигун	+12В
Драйвер крокового двигуна	+5В
Дисплей 480х320	+5В

За вище зазначеними параметрами вирішено, що необхідно використати 2 модулі XL4015-E1 5А пониження напруги з регулюванням струму. Головною перевагою обраного силового елемента є мінімальні втрати струму при конвертації.

Завдяки регульованим струмом цей модуль можна використовувати для зарядки літій-іонних і свинцево-кислотних акумуляторів, живлення світлодіодних стрічок. Можна застосувати блок живлення зі стабілізацією струму. З його допомогою можна заряджати складання з декількох банок 18650. В іншому понижуючий CC/CV перетворювач XL4015-E1, призначений для зниження напруги від 32 до 1,25 вольт від стабілізованих джерел живлення. Є можливість регулювати не тільки напругу, але і струм. Регулювання напруги здійснюється плавно багатообертовим потенціометром від 1,25 до 32 вольт (рисунок 1.39) (таблиця 1.8) [13,19].

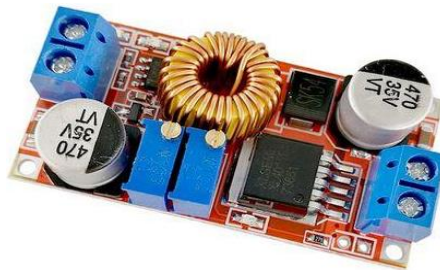


Рисунок 1.39 — Понижуючий модуль напруги

Таблиця 1.9 — Номінальні параметри модуля конвертації напруги

Характеристика	Значення
Втрати під час освіти	4%
Вхідна напруга	від 8 до 36 В
Вихідна напруга	від 1,25 до 32 В
Сила вихідної напруги	5А;

Для підвищення безпечності проекту вирішено додати в конструкцію функцію відключення живлення змінного струму. В наявності є фізичний перемикач струму з ключем. Струм буде подаватися на блок живлення через перемикач. В цьому випадку принтер буде неможливо увімкнути без ключа викладача (рисунок 1.40) [2,9].



Рисунок 1.40 — Перемикач з ключем

В якості перемикача запуску процесу друку використано кнопку без фіксації стану включення. Перемикач подаватиме стан логічної 1 на один з цифрових входів проекту (рисунок 1.41) [8,7].



Рисунок 1.41 — Перемикач без фіксації стану

Для забезпечення коректної роботи вісі Z в проект буде вмонтовано кінцеві перемикачі в позиції нижньої та верхньої мертвих точок (рисунок 1.42) [7,5,1].



Рисунок 1.42 — Кінцевий перемикач без фіксації стану

Для виводу інформації щодо поточного шару вирішено використати невеликий oled RGB дисплей 0.95" I2C 128x64. У зв'язку з тим, що шина SPI буде використовуватися для передачі даних на матрицю ультрафіолетового проектора даний дисплей чудово підходить для взаємодії з користувачем. Oled RGB дисплей 0.95" для передачі даних використовує шину I2C. За рахунок цього забезпечена простота підключення та максимальна швидкість обробки даних (рисунок 1.43) (таблиця 1.10) [15,11].

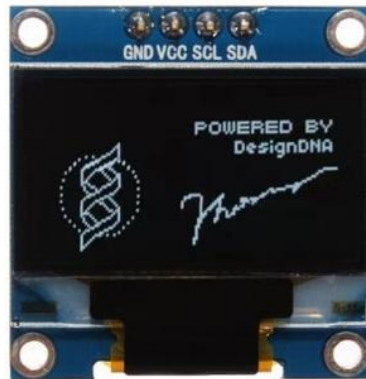


Рисунок 1.43 — Oled RGB дисплей 0.95" I2C 128x64

Таблиця 1.10 — Номінальні параметри дисплею Oled RGB 0.95" I2C 128x64

Характеристика	Значення
Розмір екрану	0.96
Тип екрану	OLED
Роз'єм	4-pin
Напруга живлення	3.3-6В
Роздільна здатність дисплея	128 * 64
Товщина	11 мм
Ширина	25 мм
Висота	25 мм
Вага	4.0 грам
Драйвер OLED модуля	SSD1306
Кут огляду	160 градусів
Цоколювка роз'єму	VCC: Напруга живлення GND: Загальний SCL: Шина тактування даних SDA: Шина даних

Висновок:

В ході виконання першого розділу кваліфікаційної роботи магістра проаналізовано стан тривимірного друку в наші часи в різних сферах діяльності людини. В якості приладу проектування визначено тип 3д принтера. Обрано елементи схеми для проектування.

2 ПІДГОТОВКА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТУ

2.1 Моделювання елементу для встановлення матриці.

Так, в якості ультрафіолетового проектора обрано ультрафіолетову підсвітку та матрицю від дисплею 480х320 пікселів, першим кроком є підготовка елементу кріплення матриці у верхній частині корпусу. За даними з офіційної документації шилду 480х320 пікселів для Arduino mega визначено, що робочі розміри дисплею без текстолітової плати становлять 82х54 мм. Шлейф дисплею має довжину 5 мм. Текстолітова плати довжиною 89 мм

(рисунок 2.1) [12,9].

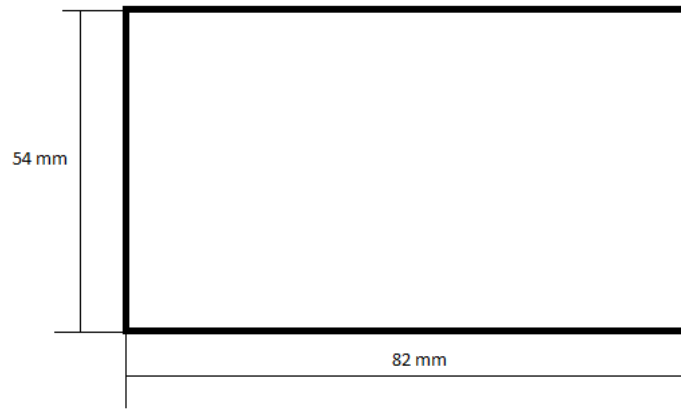


Рисунок 2.1 — Фізичні розміри дисплею 480х320 пікселів

Використовуючи визначені параметри шилду змодельовано посадкове місце для встановлення матриці проектора. Глибина заниження дисплея у поверхні становить 2 мм. Занижена частина продовжена за коротким краєм для встановлення шлейфа живлення та передачі даних матриці 480х320 пікселів

(рисунок 2.2) [9,10].

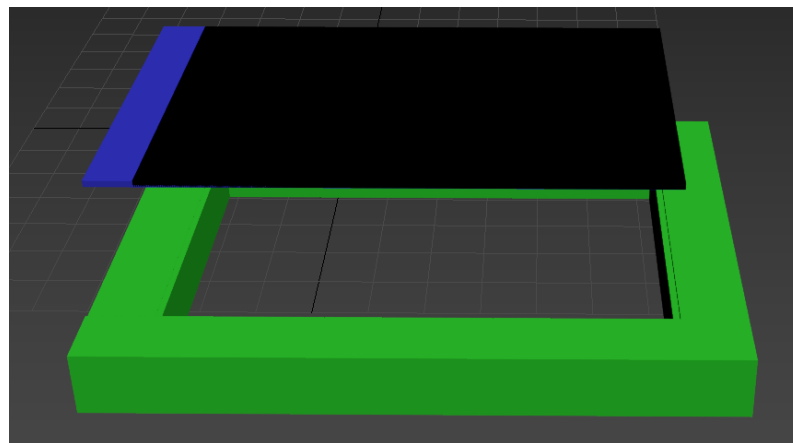


Рисунок 2.2 — Перший етап площадки для встановлення матриці

					КНУ.РМ.123.22.02.02.ПТМП			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПІДГОТОВКА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТУ			
Розробив	Вороной							
Перевірив	Кузнєцов							
Н.контроль	Кузнєцов				Літера Аркуш Аркушів КІ-21-М			
Затвердив	Купін							

Після встановлення дисплею з шлейфом живлення організовано елементи кріплення для текстолітової плати шилда під кутом 90 градусів до матриці та верхньої частини корпусу приладу. Глибина пазу для плати встановлено за довжиною модуля 89 мм.

Після підготовки елементів кріплення дисплею підготовлено посадкове місце для ультрафіолетової підсвітки, розташованої на невеликій відстані під матрицею. При налаштуванні кріплень світлодіодів розраховано можливість динамічного коригування відстані між ультрафіолетовою підсвіткою та матрицею шилду 480x320 (рисунок 2.3) [13,18].

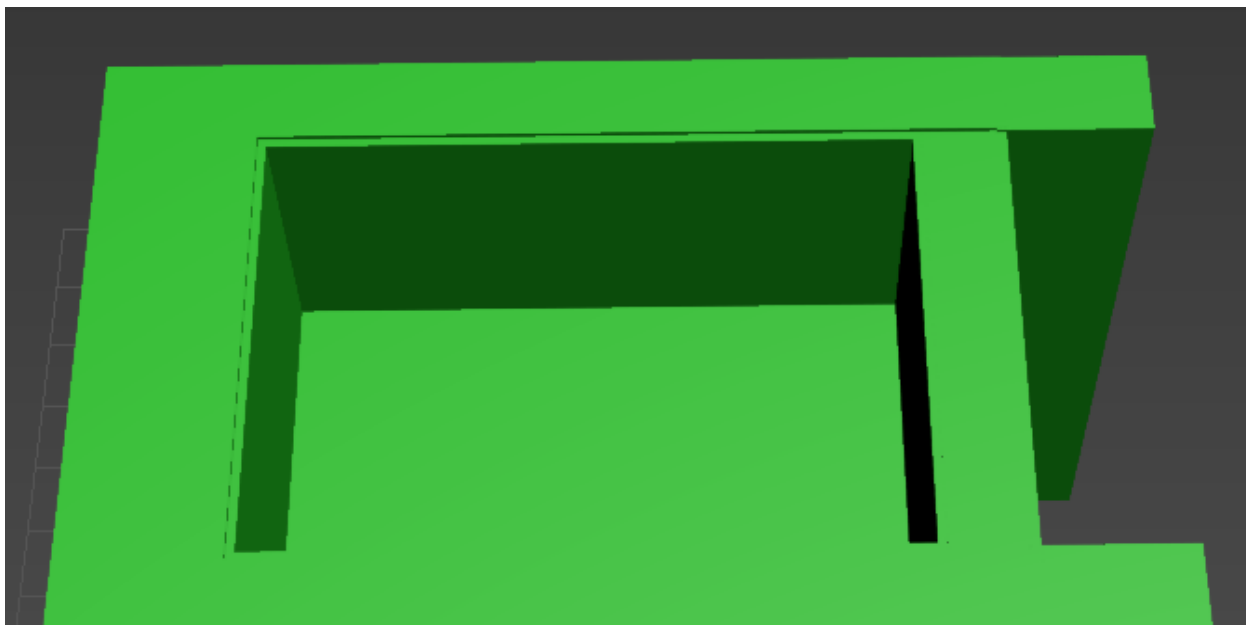


Рисунок 2.3 — Моделювання площадки для ультрафіолетових світлодіодів

2.2 Моделювання елементу кріплення крокового двигуна

Для максимально точної моделі кріплення з офіційного публічного ресурсу отримано графічні дані двигуна (рисунок 2.4) [12,9,8].

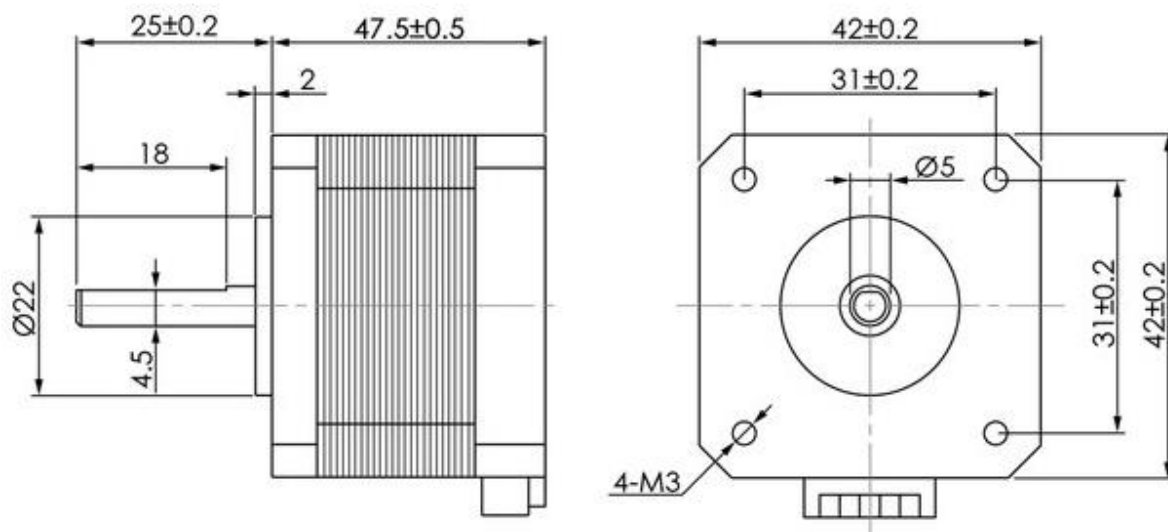


Рисунок 2.4 — Фізичні параметри крокового двигуна

Першим кроком була підготовка монтажних кріплень крокового двигуна та лінійних направляючих вісі Z. Центральний отвір моделі крокового двигуна 22 мм для забезпечення відсутності люфту елемента. Отвори для гвинтів 3 мм для гвинтів М3. Розраховуючи на те, що місце для двигуна шириною та глибиною 42 мм отвори для лінійних направляючих вирішено встановити по краям двигуна на відстані 80 мм один від одного діаметром 8 мм. Відстань розрахована з запасом на подальше встановлення кінцевого перемикача нижньої точки руху столика принтера (рисунок 2.5) [16,14].

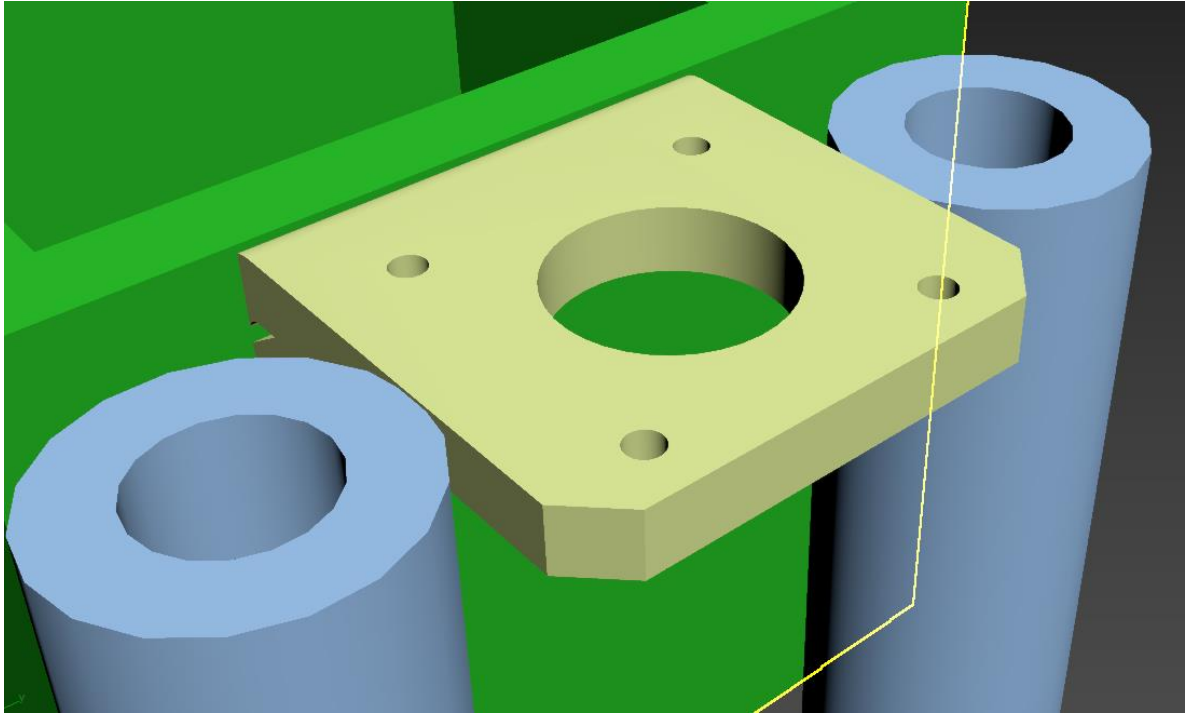


Рисунок 2.5 — Перший етап моделювання кріплень крокового двигуна

Зважаючи на розміри двигуна та лінійних направляючих об'єднано елементи кріплень та заповнено пусті місця конструкції (рисунок 2.6).

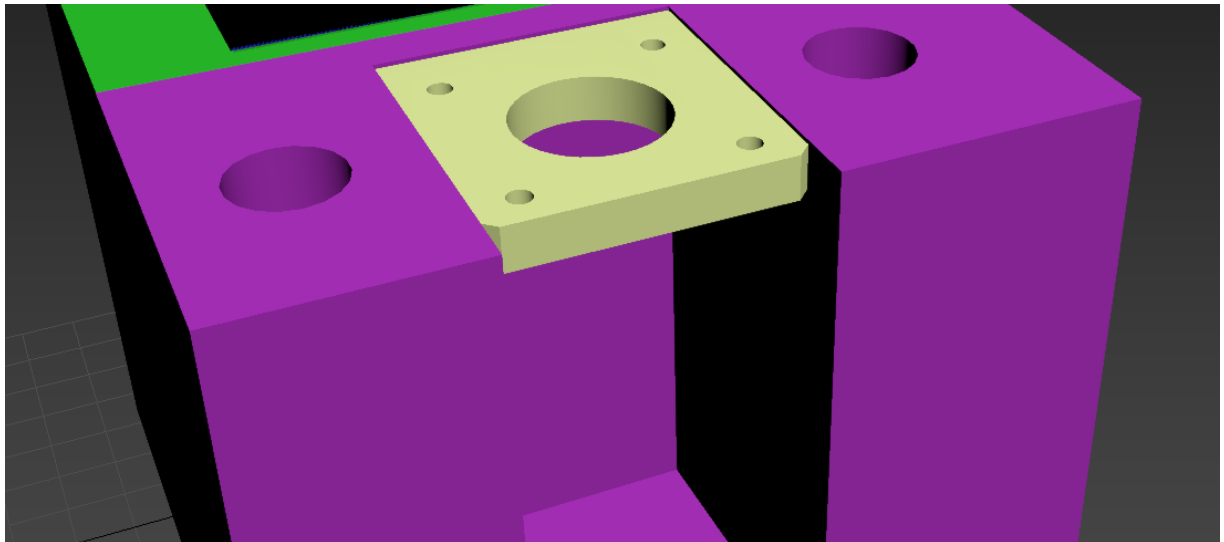


Рисунок 2.6 — Другий етап моделювання кріплень крокового двигуна

Після моделювання попередній модуль під'єднано до елемента кріплення дисплею матриці ультрафіолетового проектора. Задні стінки обох елементів головного корпусу підлаштовано між собою для подальшого склеювання в єдину конструкцію (рисунок 2.7) [12,14].

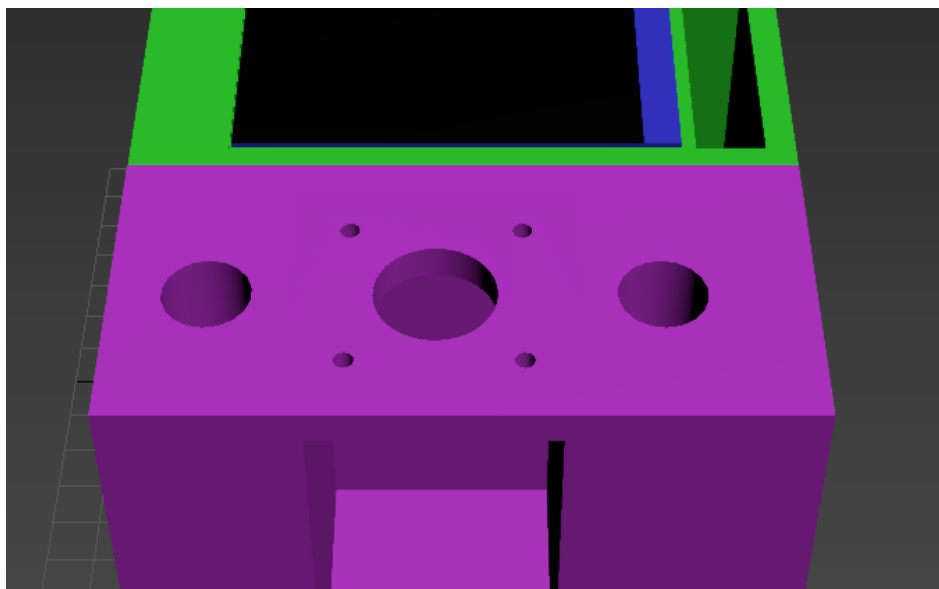


Рисунок 2.7 — Об'єднання елементів головного корпусу

Для перевірки правильності розрахованих моделей у вільному доступі було завантажено віртуальні моделі шарико гвинтової передачі та крокового двигуна. Динамічно перевірено правильність конструкції з урахуванням руху елементів (рисунок 2.8).

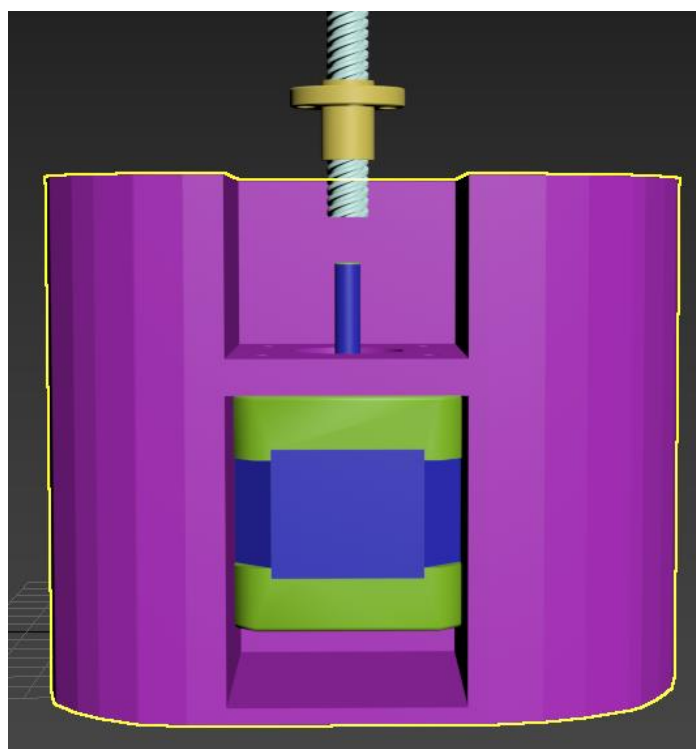


Рисунок 2.8 — Встановлення віртуальних елементів конструкції в робоче положення

За даними у вільному доступі створено віртуальну модель перехідної муфти для кріплення вісі Z.

Розміри муфти:

діаметр = 15 мм

довжина = 30 мм

Враховуючи на те, що подальші моделі будуть друкуватися на 3д принтері, а елементи схеми встановлюватимуться в товщі корпусу вирішено зменшити висоту кріплення крокового двигуна до 60 мм. В цьому випадку перехідна муфта перестає бути прихованою в корпусі та піднімається на висоту 10 мм над його поверхнею (рисунок 2.9) [14,17,20].

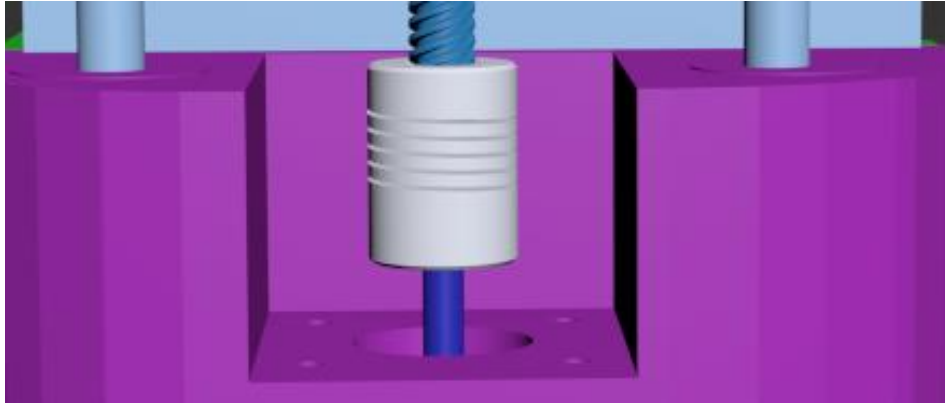


Рисунок 2.9 — Встановлення віртуальної муфти

Для зменшення витрат пластику при друкуванні елементів корпусу кути модулю крокового двигуна вирішено заокруглити під кутом 105 градусів на довжині 80 мм. Для вирішальної перевірки всіх пропорцій корпусу встановлено всі його елементи, серед яких:

- Кроковий двигун;
- 2 лінійні направляючі;
- Перехідна муфта;
- Шарико-гвинтова передача (рисунок 2.10).

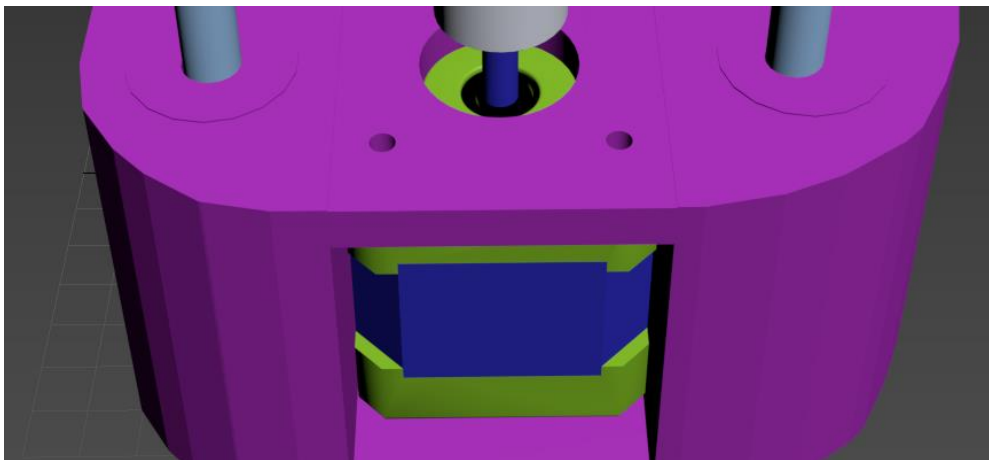


Рисунок 2.10 — Заокруглення кутів корпусу

Різниця між висотами модуля ультрафіолетового проектора та елемента кріплення крокового двигуна визначена та становить 30 мм. Для подальшого комфортного прокладання кабелів живлення та передачі даних в нижній частині елемента вісі Z встановлено внутрішній простір довжиною 100 мм, шириною 35 мм та глибиною 30 мм (рисунок 2.11) [16,14,15].

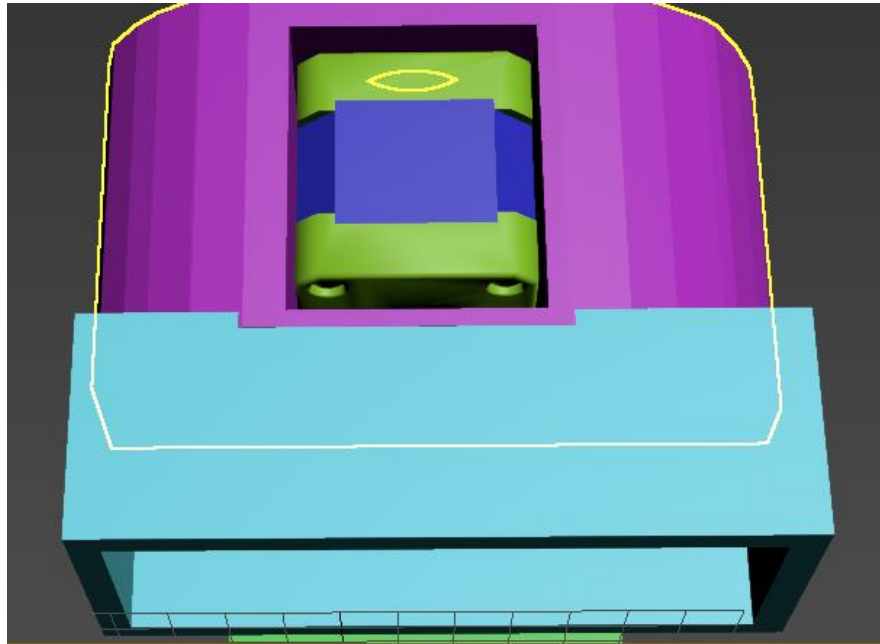


Рисунок 2.11 — Встановлення нижнього відсіку

Вирішальним етапом підготовки моделі головного корпусу є об'єднання нижніх частин елементів. В подальшій роботі даний простір буде використано для монтування частини елементів електротехнічної схеми, серед яких буде модуль Arduino mega та порт підключення живлення принтера (рисунок 2.12).

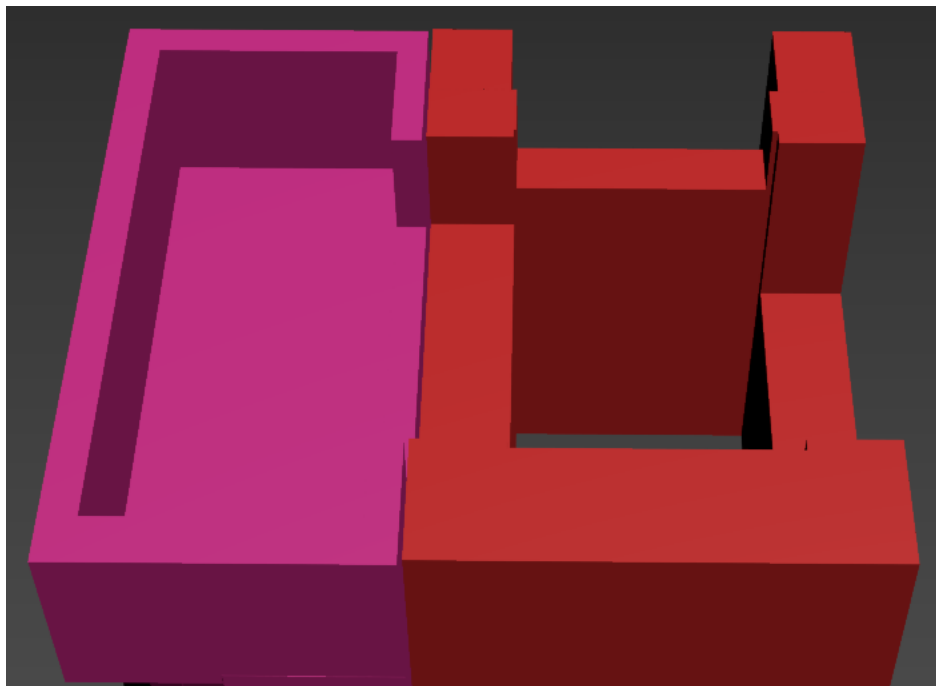


Рисунок 2.12 — Об'єднання внутрішніх елементів головного корпусу

2.3 Моделювання верхньої кінцевої частини вісі Z.

Для зменшення тертя між гвинтовою передачею та верхньою частиною вісі Z в конструкції вирішено використати підшипник. Зважаючи на те, передача діаметром 8 мм, то найбільш підходящий підшипник має зовнішній діаметр 16 мм. Дані щодо розмірів підшипника показано на рисунку 2.13.

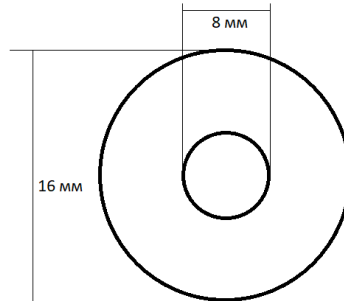


Рисунок 2.13 — Графічні параметри підшипника

За даними з попереднього рисунку у верхній частині вісі Z створено посадкове місце діаметром 16 мм для подальшого встановлення підшипника (рисунок 2.14) [8,10].

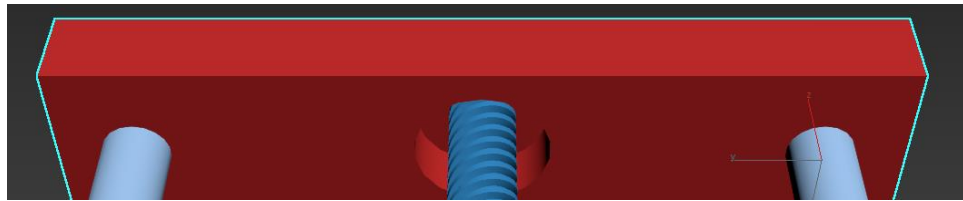


Рисунок 2.14 — Моделювання посадкового місця для підшипника

З розрахунку на те, що відстань між центрами лінійних направляючих 80 мм та їх діаметру 8 мм по краям деталі створено отвори для їх подальшого запресування (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 — Моделювання посадкового місця для лінійних направляючих

Вирішальним етапом було заокруглення кутів деталі (рисунок 2.16).

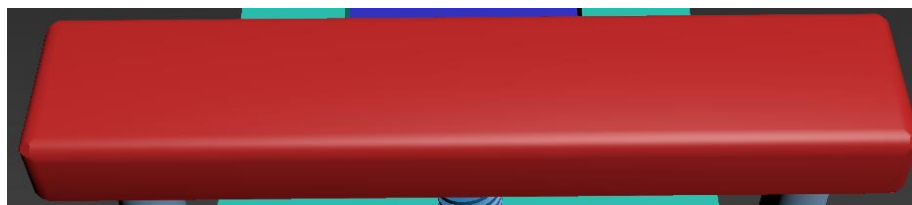


Рисунок 2.16 — Заокруглення кутів деталі

2.4 Підготовка 3д моделі рухомого столика фотополімерного принтера

Першим етапом створення столика був розрахунок розмірів нижньої площадки. Вважаючи, що дисплей ультрафіолетового проектора має розміри 51 мм та 82 мм, то нижня площадка визначена з увагою на простір для руху фотополімера, а саме 48х79 мм. Крім того необхідно пам'ятати те, що верхня частина столику має мати таку форму, щоб полімер стікав з її поверхні. Враховуючи густоту полімеру та розмір зазору для його руху вирішено змінити положення верхньої частини столику відносно нижньої на кут, який становить 15 градусів (рисунок 2.17) [2,3,6].

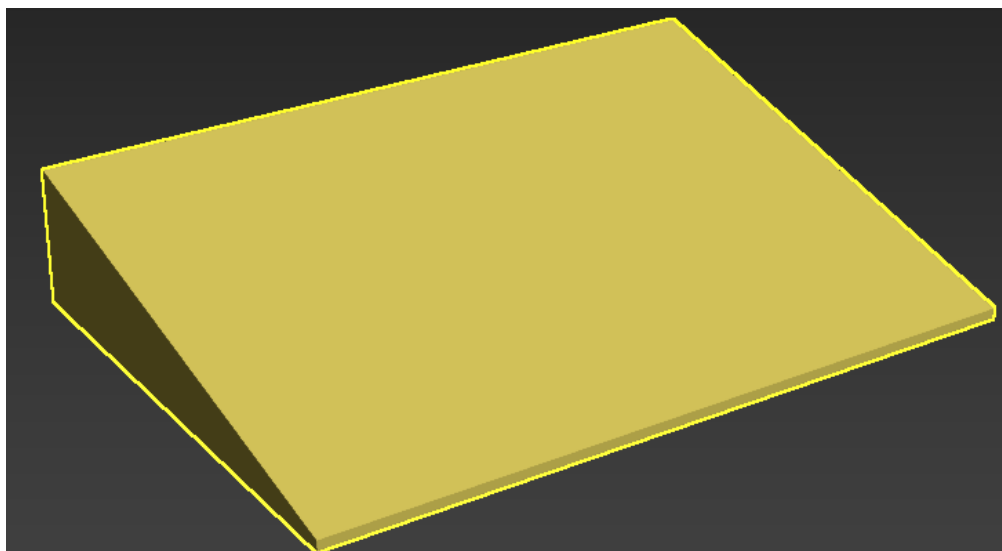


Рисунок 2.17 — Перший етап моделювання столика

Другим етапом є підготовка кріплення столика з можливістю його коректування по вісі Y. Кріплення встановлено з двох сторін столика на віддаленні від центра на 15 мм. Кріплення столика вирішено скласти з 2х деталей, всередину яких встановлюється перехідний модуль (рисунок 2.18).

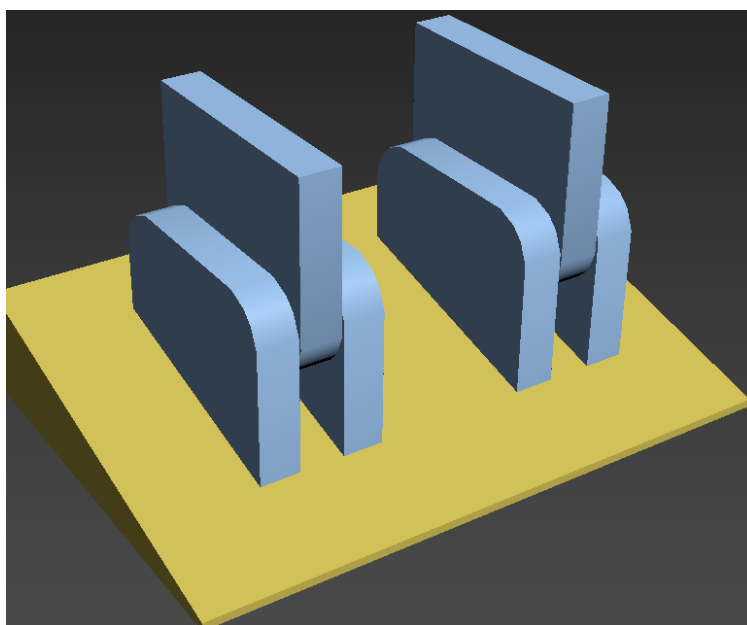


Рисунок 2.18 — Моделювання кріплень столика

Форму кріплення поворотного столика змінено з урахуванням на встановлення гвинтів діаметром 10 мм. Товщина кожної стінки кріплення встановлено 5 мм. Загальна товщина кожного з двох елементів кріплення становить 15 мм (рисунок 2.19) [8,9,11].

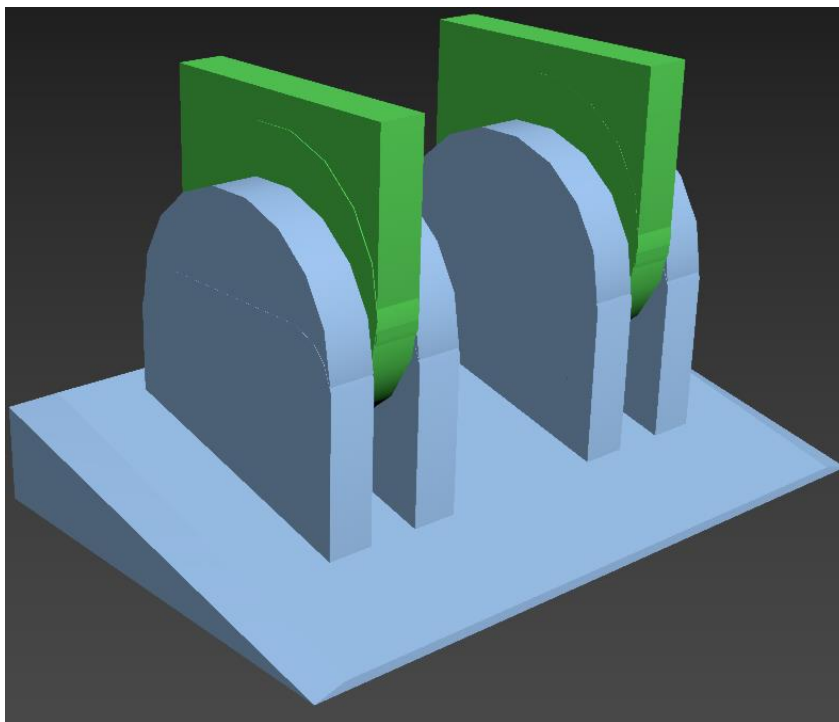


Рисунок 2.19 — Заокруглення кріплення столика

Остаточним етапом підготовки віртуальної моделі поворотного столика є організація отвору для гвинтів кріплення діаметром 10 мм та фінішне заокруглення всіх кутів столика для підвищення продуктивності стікання фотополімеру з верхньої частини (рисунок 2.20).

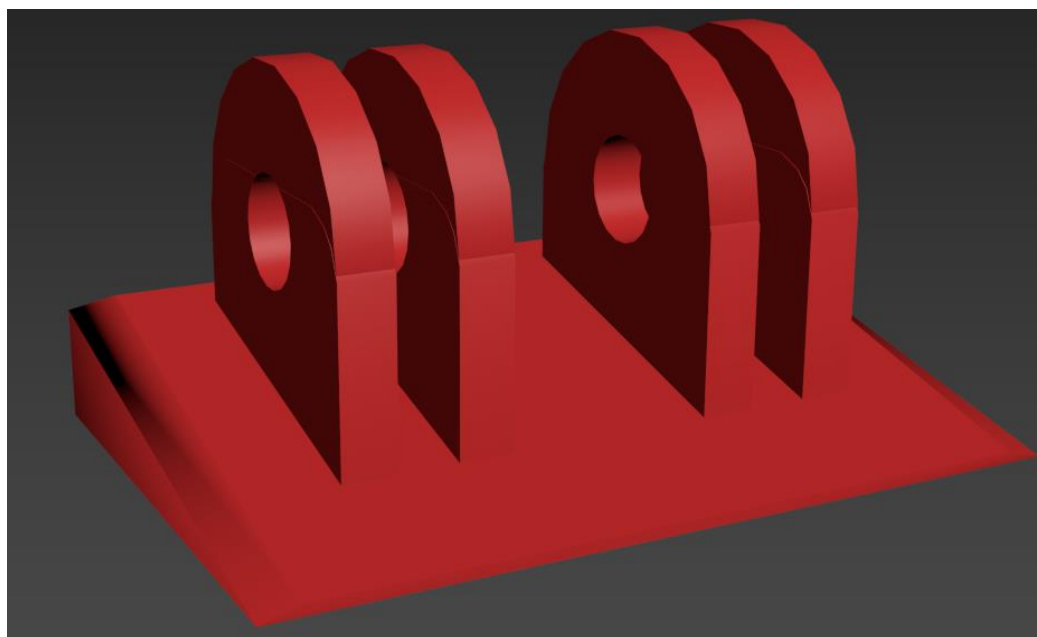


Рисунок 2.20 — Остаточна підготовка столика

Після підготовки столика організовано перехідний елемент його кріплення. Нижні стінки для монтажу столика встановлено товщиною 5 мм. Верхню опорну частину конструкції вирішено збільшити до 10 мм для підвищення її надійності. При цьому перехідна частина в подальшому буде кріпитися до рухомої частини вісі Z за рахунок двох опорних площадок по бокам конструкції (рисунок 2.21) [12,13].

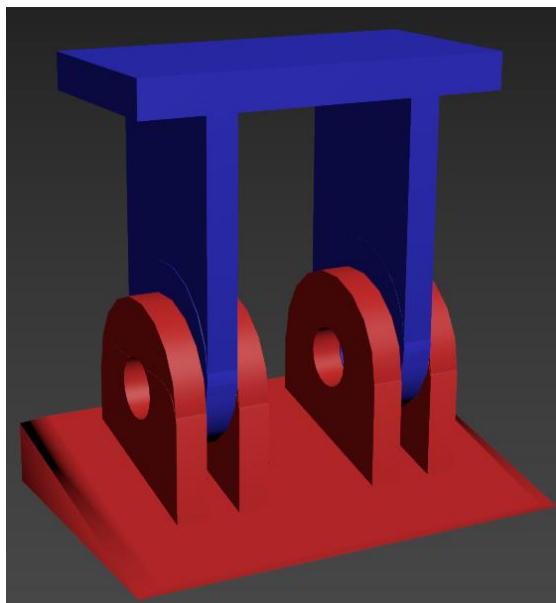


Рисунок 2.21 — Підготовка перехідного елемента

2.5 Моделювання рухомої частини вісі Z.

Для визначення розмірів посадкових місць лінійного підшипника у відкритому доступі отримано таблицю міжнародного стандарту лінійних підшипників. Зважаючи на те, що в проекті використовуються елементи LM8SUU, то діаметр отворів повинен бути 15.5 мм, а довжина 17 мм (рисунок 2.22) [8,9,13].

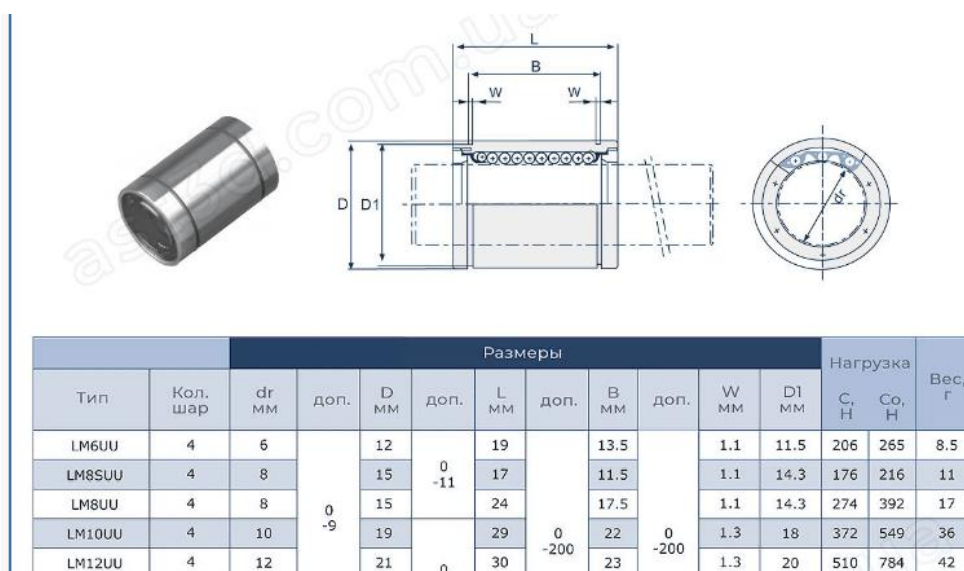


Рисунок 2.22 — Номінальні параметри лінійного підшипника

Використовуючи дані з публічних ресурсів створено початкову панель товщиною 17 мм. Отвори для лінійних направляючих визначено діаметром 15.5 мм на віддалені один від одного на відстані 80 мм. В центрі моделі створено отвір діаметром 8 мм. З нижньої частини моделі отвір 8 мм збільшено до 16 мм та глибину 10 мм. Після перевірки всіх налаштувань проведено моделювання 4-х отворів діаметром 3 мм для монтажних гвинтів гайки з захистом від вібрацій (рисунки 2.23 – 2.24) [15,13].

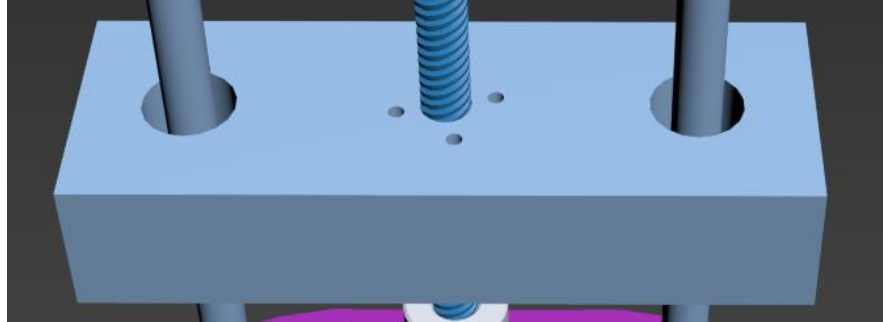


Рисунок 2.23 — Верхня частина рухомого елемента вісі Z

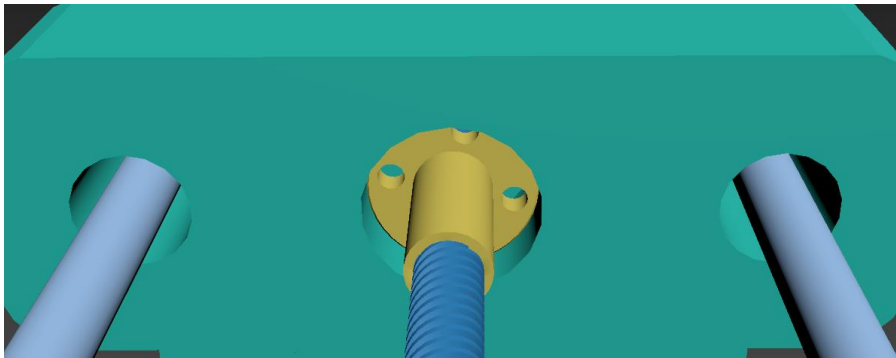


Рисунок 2.24 — Нижня частина рухомого елемента вісі Z

Використовуючи дані розмірів перехідного модуля з пункту 2.4 продовжено модель рухомої частини вісі Z. Опорні пази в передній частині деталі створено довшими, ніж довжина перехідної деталі поворотного столика на 10 мм для організації можливості регулювання поточних координат столика відносно ультрафіолетового проектора (рисунок 2.25) [15,13].

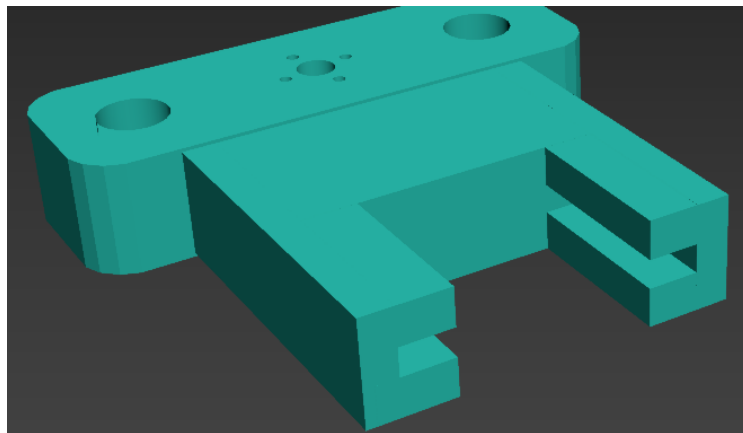


Рисунок 2.25 — Загальний вигляд рухомого елемента вісі Z

2.6. Перевірка взаємних пропорцій елементів рухомої частини проекту.

Після окремого налаштування всіх елементів поворотної системи проведено тестування їх взаємного розташування та пропорцій. Перехідний елемент встановлено в пази рухомого елемента вісі Z (рисунок 2.26).

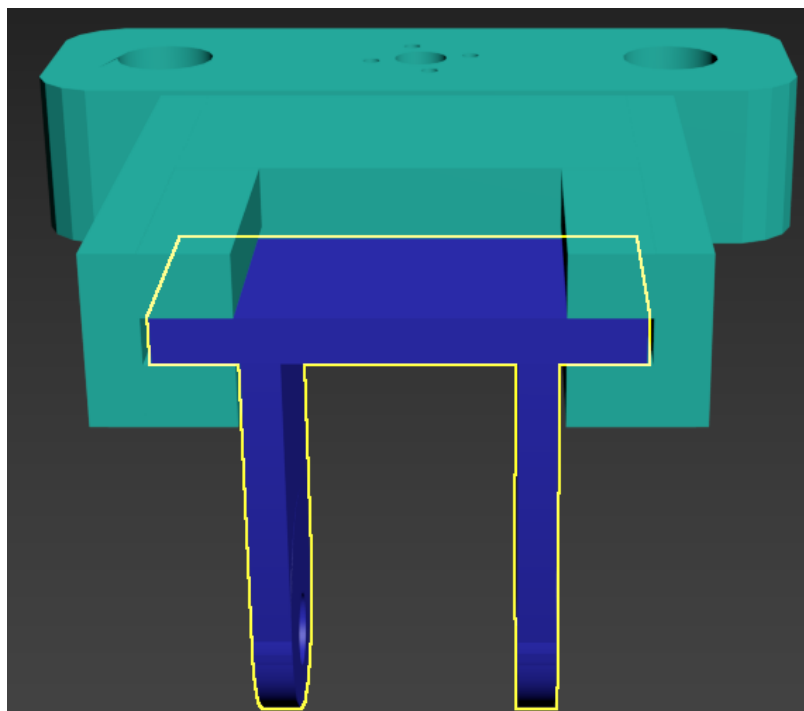


Рисунок 2.26 — Встановлення перехідного елемента

Встановлено поворотний столик в нижній частині перехідного модуля. При повороті столика елементу не заважають зовнішні комплектуючі. Змінюючи положення перехідного елемента спостерігається регулювання положення столика відносно матриці а нижній частині. Пропорції шарико-гвинтової передачі повністю відповідають розмірам лінійних підшипників та гайки головної осі (рисунок 2.27) [15,13].

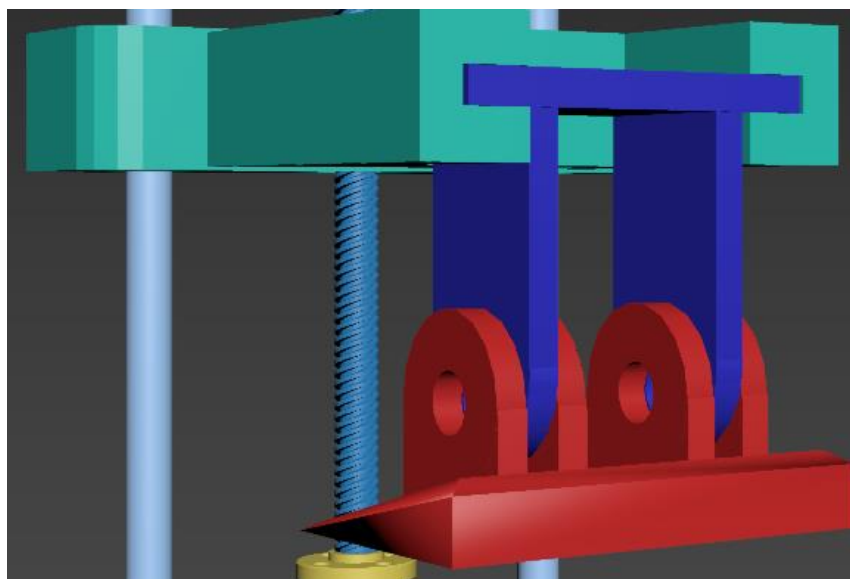


Рисунок 2.27 — Встановлення столика

2.7 Моделювання ванни для фотополімеру.

Ванну для фотополімеру вирішено організувати у вигляді барабану. Корпус ванни буде складатися з 3х деталей. Поліетиленова плівка затискатиметься за рахунок навантаженої посадки однієї деталі в іншій. Остання деталь натягуватиме плівку в стан барабану. Внутрішній та зовнішній елементи подано на рисунках . Розраховуючи на внутрішнє навантаження від фотополімеру встановлено, що товщина внутрішньої стінки становитиме 4 мм (рисунок 2.28) [16,17,19].

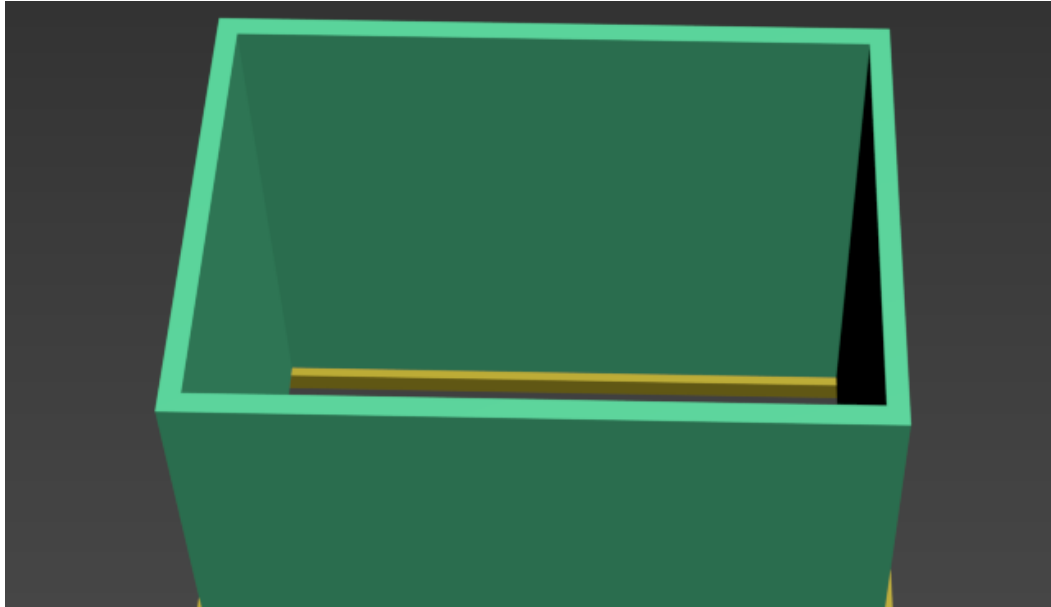


Рисунок 2.28 — Внутрішня частина ванни

Зовнішня частина ванни повинна витримувати навантаження фотополімеру, а також навантаженої посадки внутрішньої деталі в ній, тому стінки в ній вирішено збільшити до 5 мм (рисунок 2.29) [16,17,19].



Рисунок 2.29 — Зовнішня частина ванни

Нижній елемент ванни слугує модулем натягу, тому вирішено встановити його товщиною 5 мм (рисунок 2.30).



Рисунок 2.30 — Нижня частина ванни

Для перевірки точності моделювання деталі тимчасово об'єднано між собою. Зовнішні розміри ванни становлять 71x94x45 мм. Враховуючи внутрішні розміри деталі об'єм ванни становить 190 см.куб (рисунок 2.31).

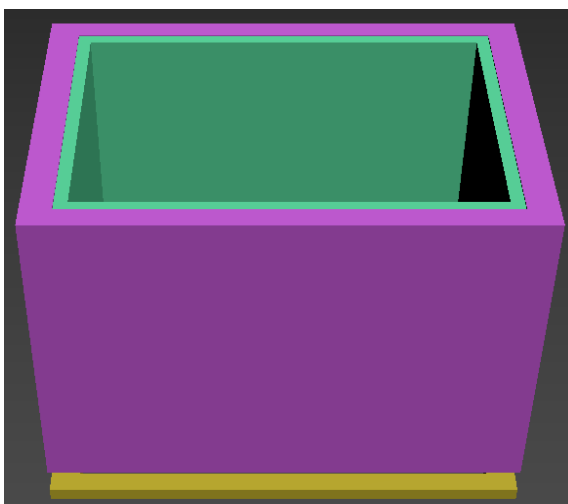


Рисунок 2.31 — Взаємне розташування елементів ванни

Для посилення конструкції при затисканні поліетиленової плівки у верхній частині внутрішнього елемента додано посилюючий борт товщиною 5 мм (рисунок 2.32) [16,17,19].

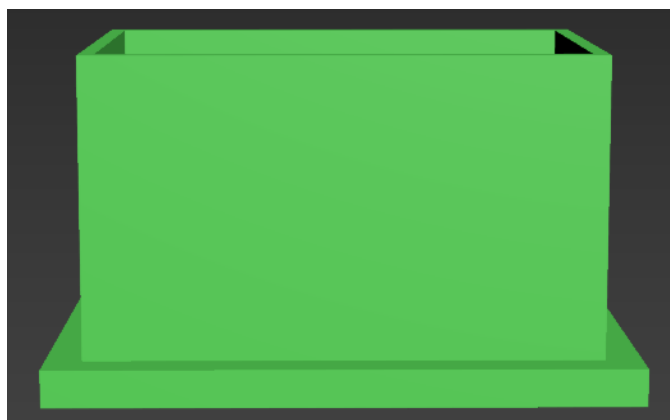


Рисунок 2.32 — Встановлення борту внутрішньої деталі

Остаточно забрана модель конструкції подана на рисунку 2.33.

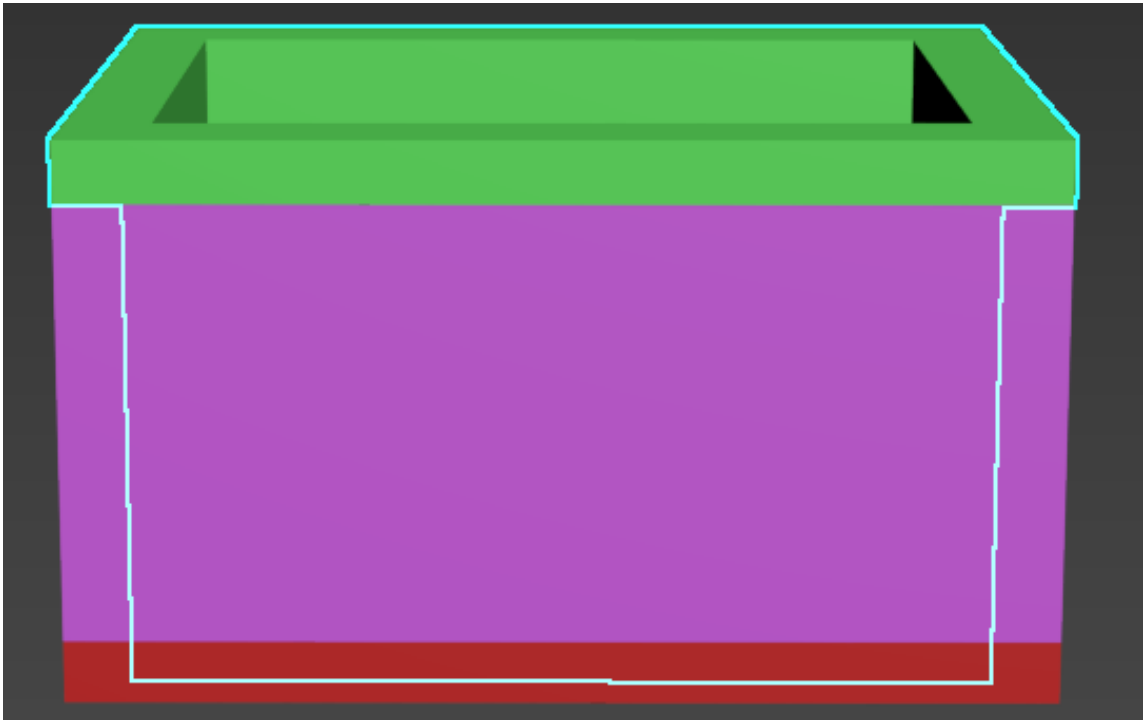


Рисунок 2.33 — Перевірка правильності розташування елементів ванни

При організації робочого процесу необхідна правильна фіксація ванни на верхній частині головного корпусу. При цьому для подальшої роботи з принтером треба налаштувати її комфортний демонтаж. Кріплення вирішено встановити у вигляді кліпси з автоматичною системою затиску. Кожна кліпса складається з 2 частин. Зовнішній елемент встановлено на ванні для полімеру. Його внутрішня частина буде частиною поверхні корпусу. Загалом фіксуючих елементів буде 4, по одному на кожен кут деталі (рисунок 2.34).

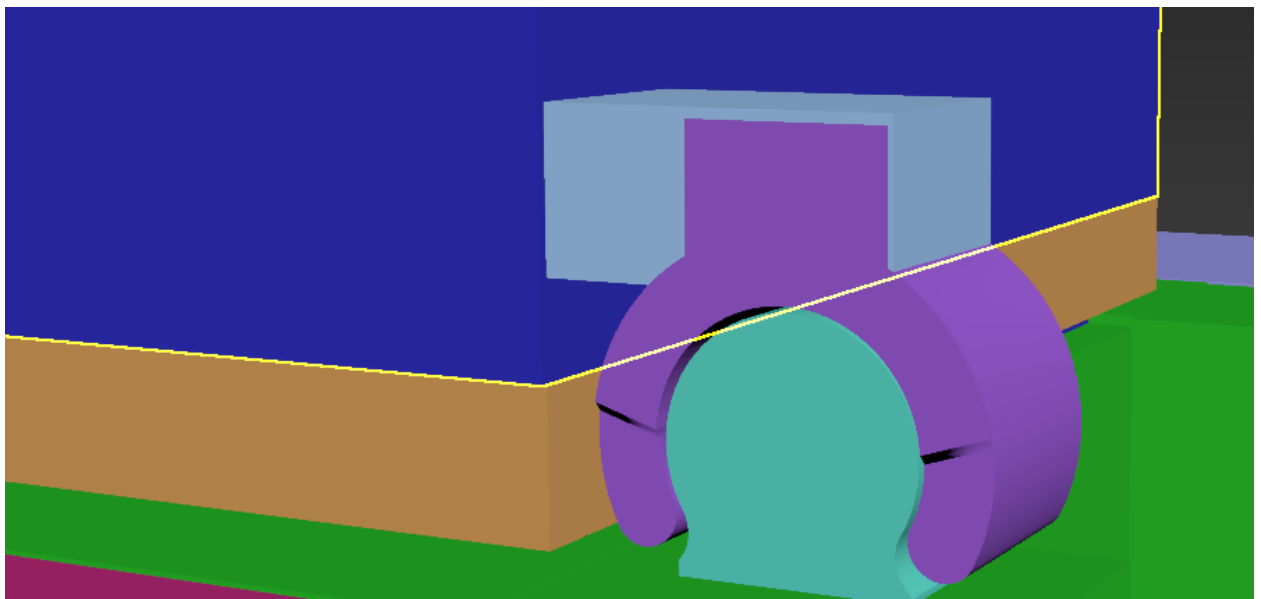


Рисунок 2.34 — Перший етап встановлення кріплень ванни

Загальний вигляд елементів кріплення ванни для фотополімеру подано на рисунку 2.35 [17,8,9].

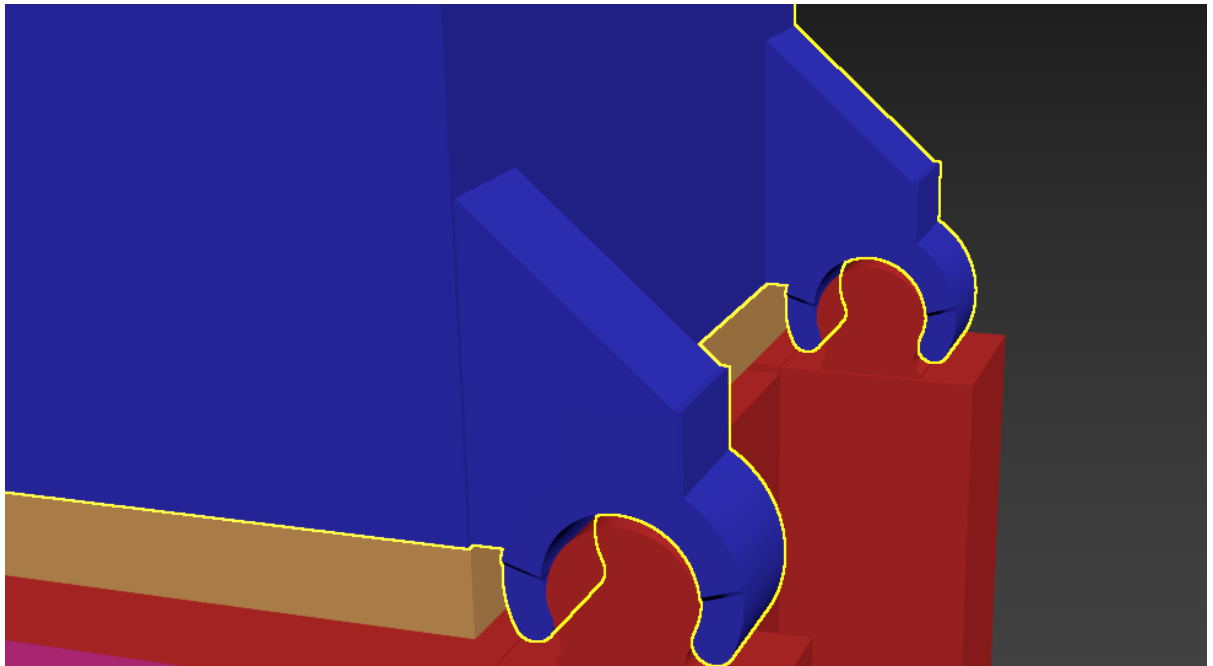


Рисунок 2.35 — Другий етап встановлення кріплень ванни

2.8 Зовнішній кожух блоку живлення.

Контакти зовнішнього блоку живлення надто відкриті. У зв'язку з цим є ризик нещасних випадків. Для виключення можливості доторкання користувача до небезпечних модулів вирішено створити невеликий кожух, який закриватиме контактну групу від людей та впливу зовнішнього середовища. Контактна група має комплексну форму, через що кожна стінка кожуху має різні розміри та буде щільно притискатися до корпусу силового модуля (рисунок 2.36) [16,17,19].

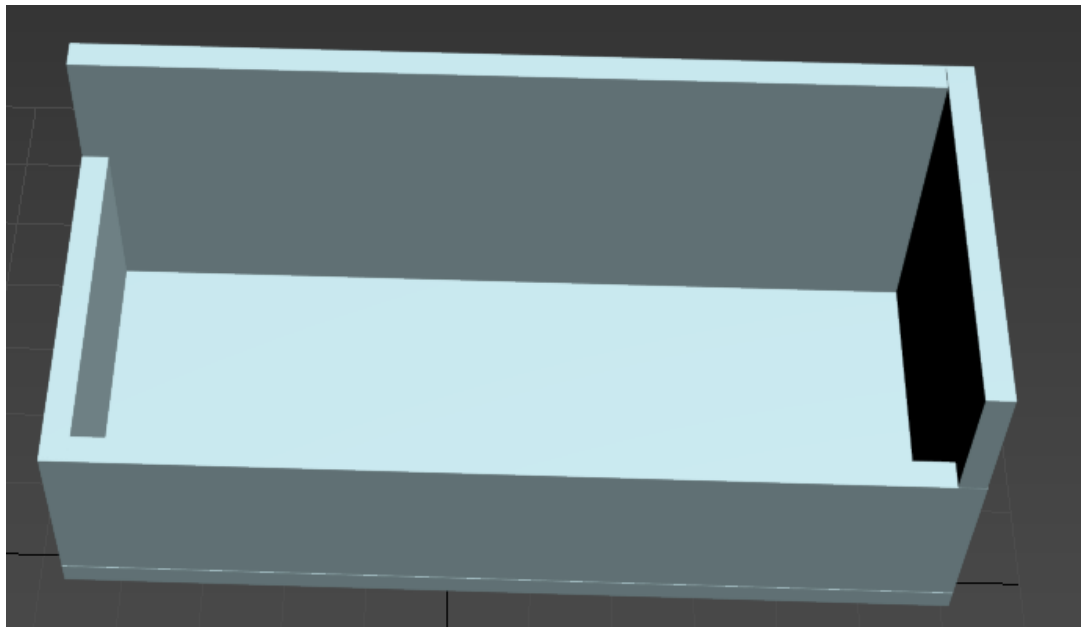


Рисунок 2.36 — Моделювання кожуху блоку живлення

2.9 Моделювання корпусу панелі керування.

Панель управління приладом в першу чергу слугуватиме для виводу інформації щодо поточного етапу друку. Модуль буде складатися з 3х частин, а саме дисплею, перемикача подачі живлення та перемикача запуску процесу друку.

Для встановлення перемикача живлення змінного струму з ключем в корпус у вільному доступі отримано фізичні параметри модуля. Судячи з креслень офіційного ресурсу отвір для фіксації повинен бути діаметром 16 мм, а довжина вільного місця в панелі становитиме 35-40 мм з урахуванням контактної групи та кабелів (рисунок 2.37) [16,17,19].

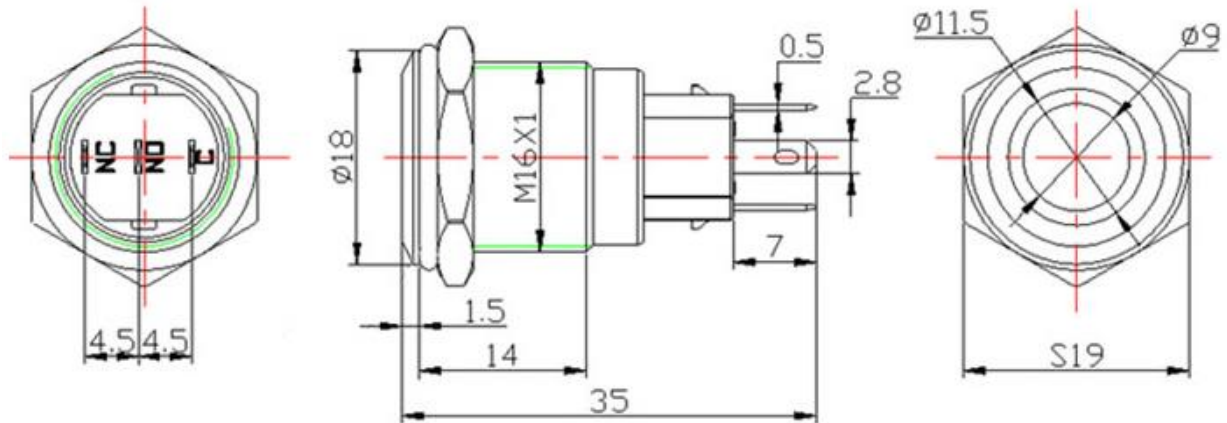


Рисунок 2.37 — Фізичні параметри перемикача з ключем

Другим етапом є моделювання посадкового місця для перемикача запуску процесу друку. Так, як і на прикладі попереднього модуля визначено параметри схеми. Елемент має діаметри посадки 19 мм та довжину встановлення 37-45 мм (рисунок 2.38) [17,8,9].

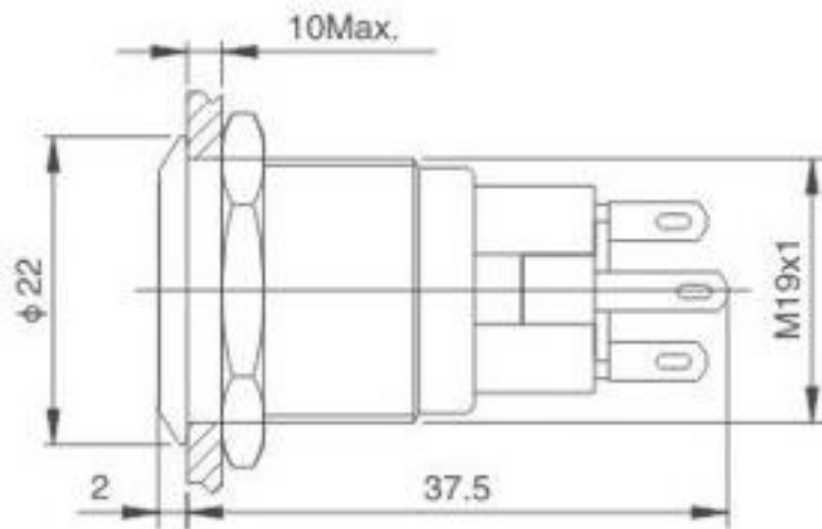


Рисунок 2.38 — Фізичні параметри перемикача запуску друку

Останнім елементом в схемі панелі керування є дисплей Oled 0.96. За даними з вільного ресурсу отвір матиме прямокутну форму розмірами 21 мм по довжині та 13 мм по ширині (рисунок 2.39).

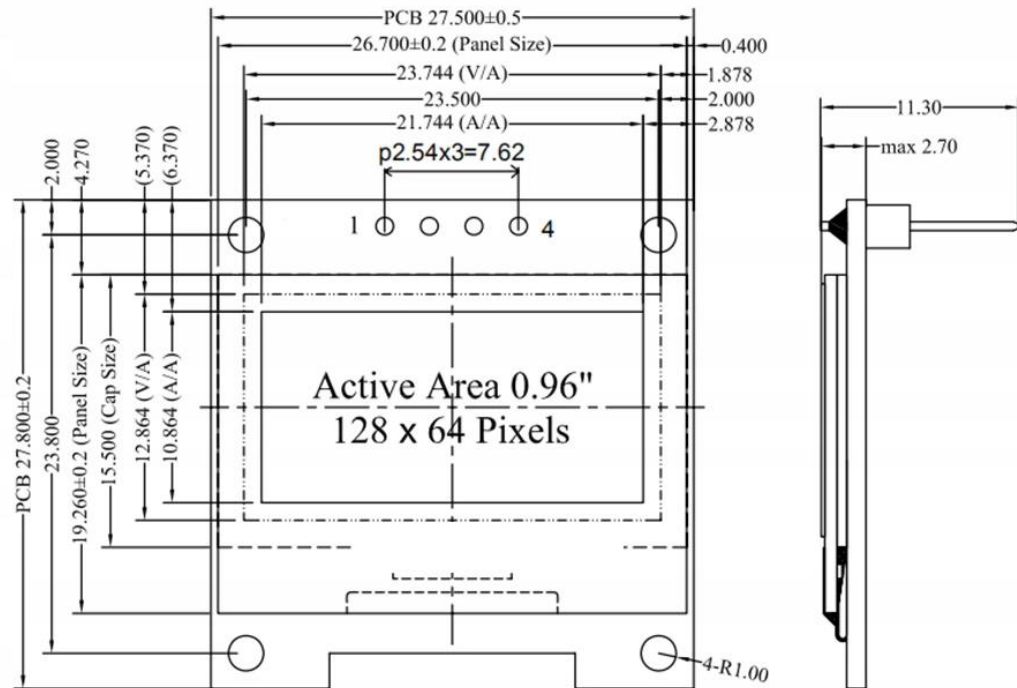


Рисунок 2.39 — Фізичні параметри oled дисплею

Враховуючи всі раніше отримані розміри змодельовано панель керування з вмонтованими в ній елементами індикації та управління. Для комфортного управління елементи встановлено під кутом 60 градусів до нижньої поверхні столу (рисунок 2.40) [17,8,9].

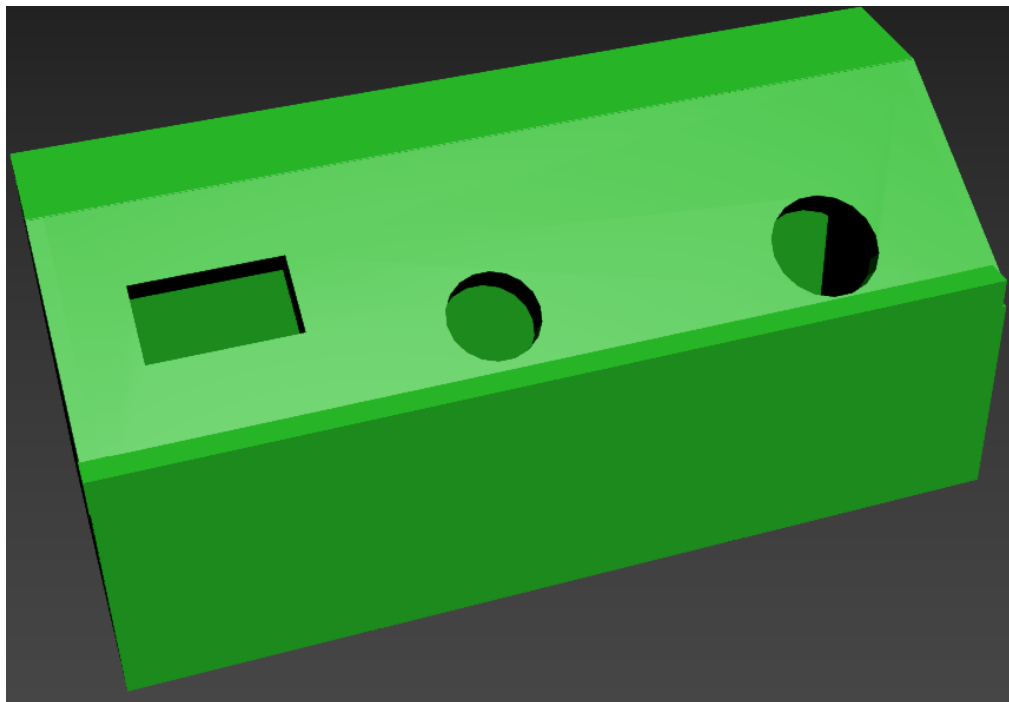


Рисунок 2.40 — Базова частина панелі керування

Остаточним етапом є моделювання елементів індикації призначення модулів панелі та інформація щодо виконавця роботи (рисунки 2.41-2.42).



Рисунок 2.41 — Елемент індикації призначення перемикачів



Рисунок 2.42 — Інформація про виконавця

Панель з встановленими елементами індикації показано на рисунку 2.43.



Рисунок 2.43 — Панель керування в повному обсязі.

Висновок:

В ході виконання другого розділу кваліфікаційної роботи магістра було проведено розрахунки фізичних параметрів елементів схеми. На основі отриманих даних проведено тривимірне моделювання елементів принтера для їх подальшого друку на 3д принтері.

3 ПІДГОТОВКА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА МОНТУВАННЯ МОДУЛІВ ПРИНТЕРА

3.1 Підготовка механічних елементів принтера.

На основі 3д моделей корпусу, розрахованих в попередньому розділі, на 3д принтері надруковано їх фізичні оригінали. Враховуючи, що мірою моделювання використовувався 1 мм, то відповідність між віртуальним та реальним прототипами становить 1:1.

Надруковано фізичний столик осі Z. Конструкція деталі розрахована так, що за рахунок 2-х верхніх петель виконується можливість точного коригування куту нахилу столика. При збереженні налаштованості кріплення деталей затягуватиметься на гвинт з гайкою. Діаметр гвинта становить 10 мм, що забезпечить необхідну прицезійність та міцність конструкції. Нижня площадка має плоску гладку поверхню для монтування сталльної пластини. Верхня частина столика нахилена відносно нижньої на кут 30 градусів для безперебійного руху фотополімерної смоли. Крім цього відносно верхньої поверхні організовано невелику заокруглення на кут 45 градусів (рисунок 3.1). [8,9].

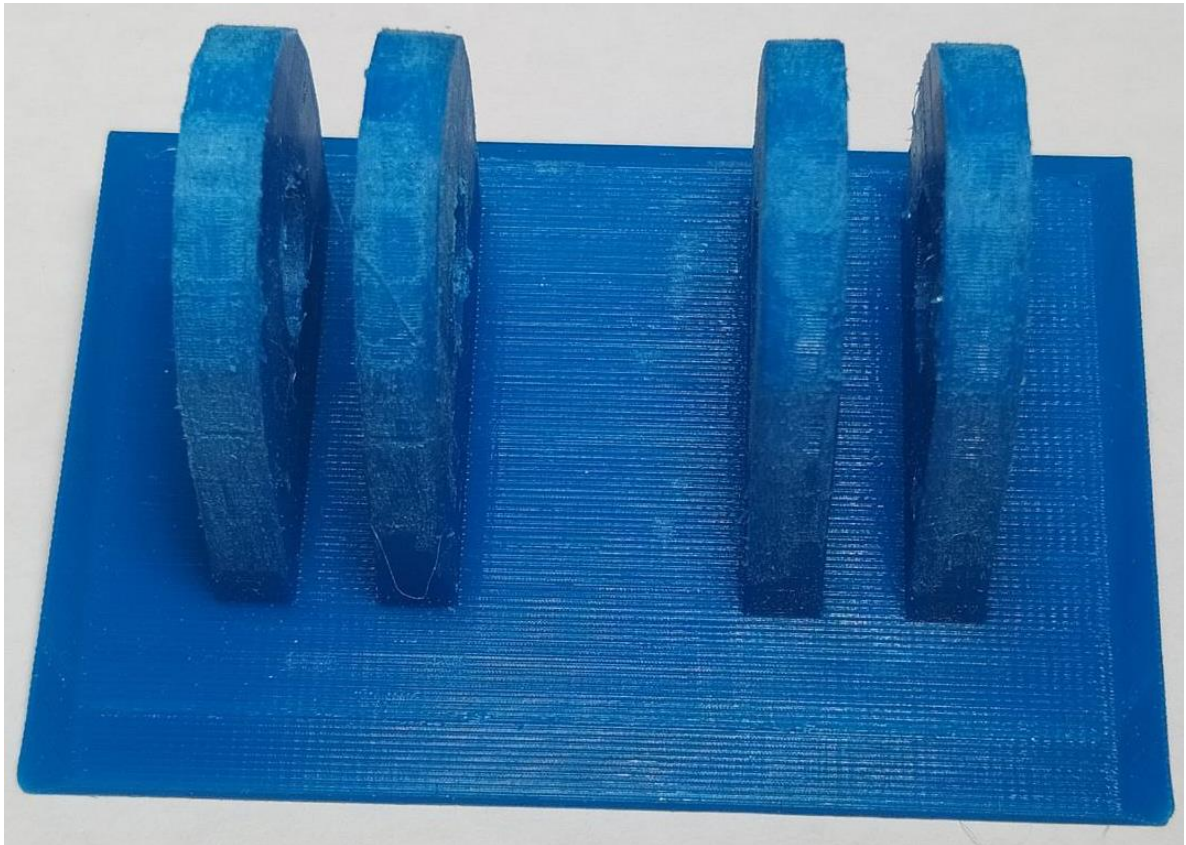


Рисунок 3.1 — Столик принтера

					КНУ.РМ.123.22.02.03.ПОЕММП							
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПІДГОТОВКА ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА МОНТУВАННЯ МОДУЛІВ ПРИНТЕРА				Літера		Аркуш	Аркушів
Розробив	Вороной											
Перевірив	Кузнецов											
Н.контроль	Кузнецов											
Затвердив	Купін				КІ-21-М							

Надруковано головний елемент корпусу. Деталь складається з верхньої підложки, на якій в подальшому буде вмонтовано кінцевий перемикач. Внутрішня частина пола та розрахована з врахуванням розмірів крокового двигуна. На верхній частині організовано елементи кріплення крокового двигуна та фіксації. В нижній частині організовано невеликий простір для конектора живлення та силових ліній приладу (рисунок 3.2) [13,18,11].

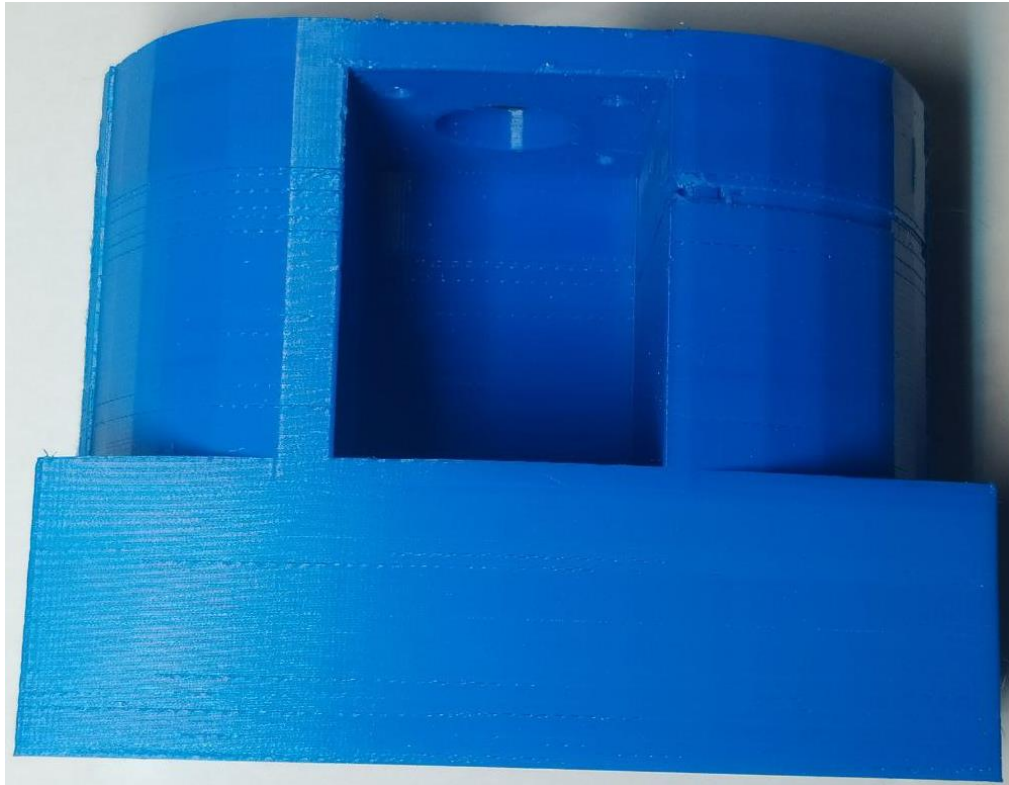


Рисунок 3.2 — Корпусна частина принтера

Надруковано захисний кожух блоку живлення (рисунок 3.3).

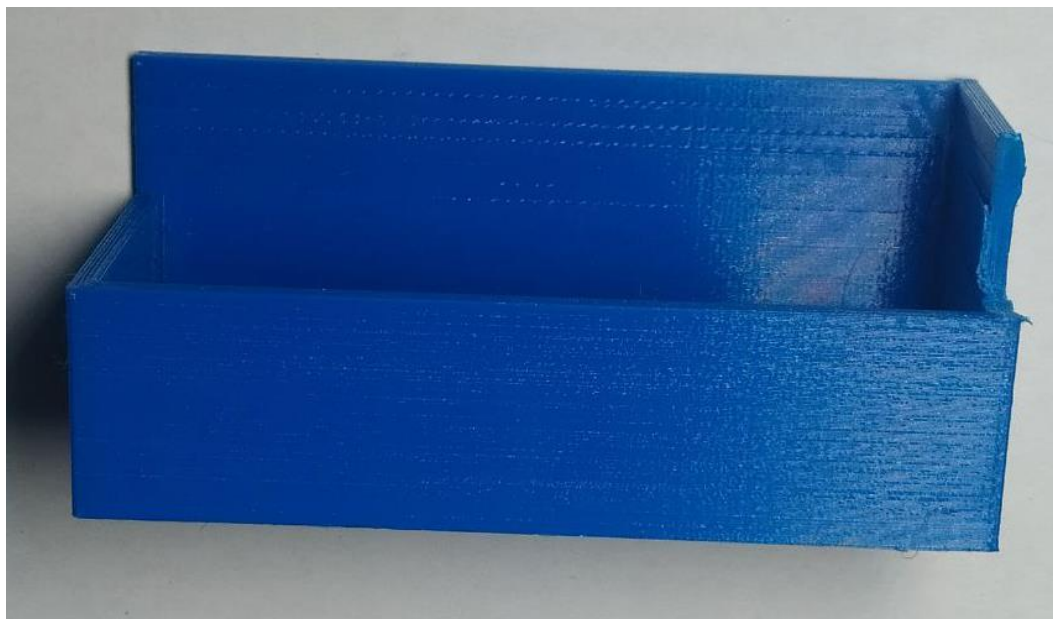


Рисунок 3.3 — Захисний корпус блоку живлення

Ванна для фотополімеру складається з 3х частини. На основі 3д моделей надруковано окремо кожен елемент з урахуванням пропорцій. Внутрішній модуль має доволі тонкі стінки, для максимальної компактності деталі (рисунок 3.4) [13,16,9].



Рисунок 3.4 — Внутрішня частина корпусу ванни для фотополімеру

Зовнішню частину ванни організовано з більш товстими стінками, а саме 6 мм (рисунок 3.5). Масивність деталі та відсутність пор в ній забезпечить міцність загальної конструкції [13 ,16,9].

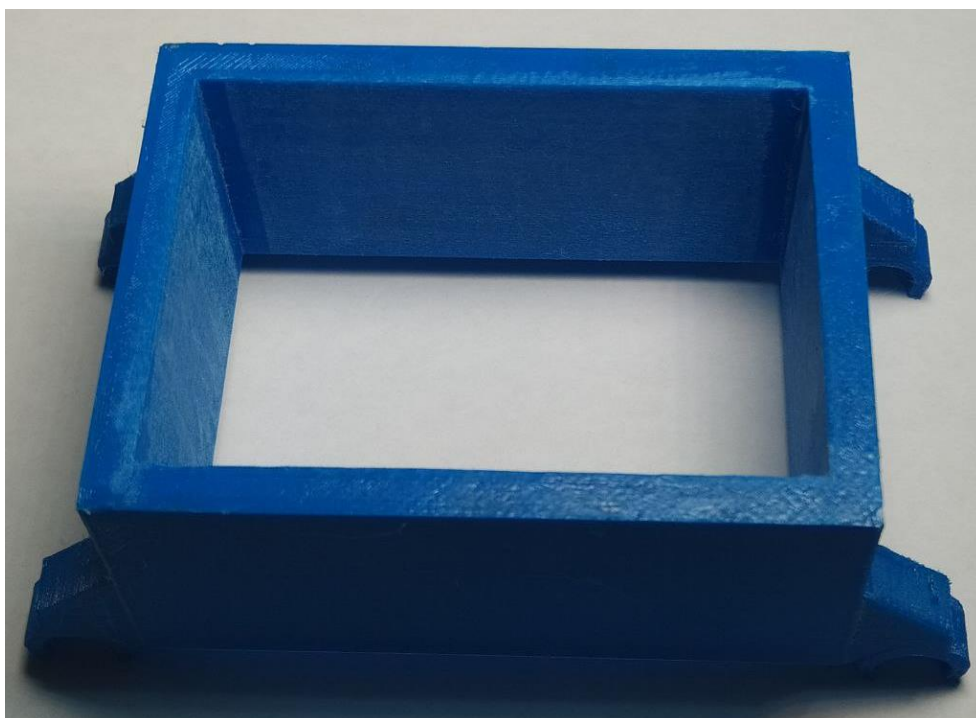


Рисунок 3.5 — Зовнішня частина корпусу ванни для фотополімеру

Надруковано нижню частину ванни. В подальшому даний елемент натягуватиме поліетиленову плівку організовуючи дно ванни (рисунок 3.6).

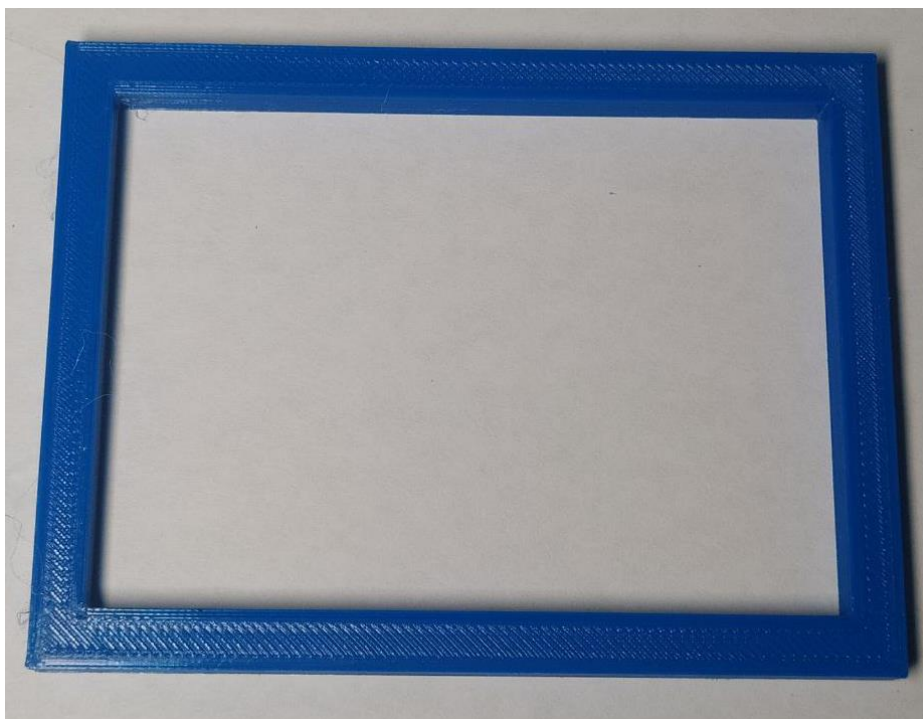


Рисунок 3.6 — Нижня частина корпусу ванни для фотополімеру

Надруковано перехідний елемент кріплення столика (рисунок 3.7). Даний елемент в подальшому буде встановлено в вісі Z. В нижній частині модуля буде закріплено столик. За рахунок рельсового кріплення деталі організовується можливість коригування положення столика відносно матриці ультрафіолетового проектора [18,11 ,9].

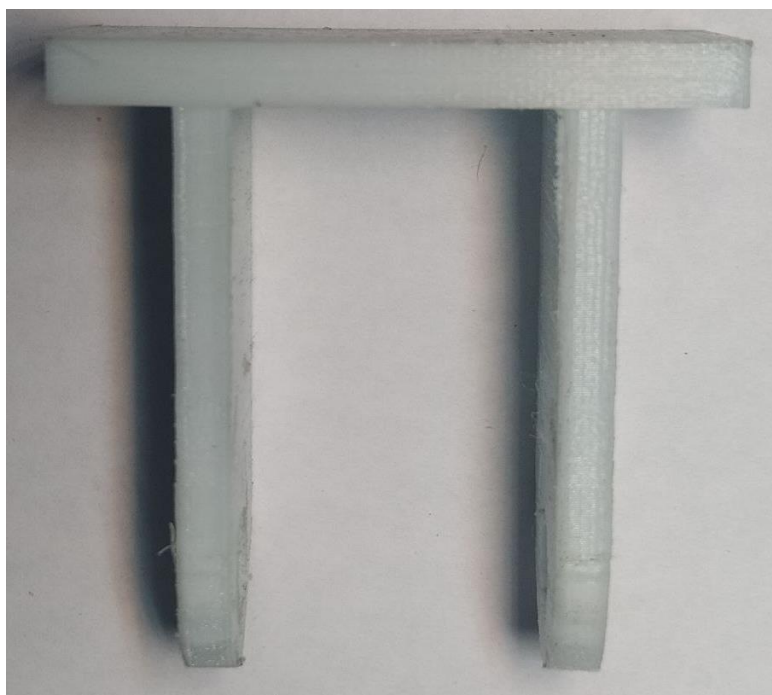


Рисунок 3.7 — Монтажний елемент столика на вісі Z

На основі 3д моделей надруковано пластикові елементи вісі Z, а саме верхній монтажний елемент та рухому деталь (рисунки 3.8-3.9).

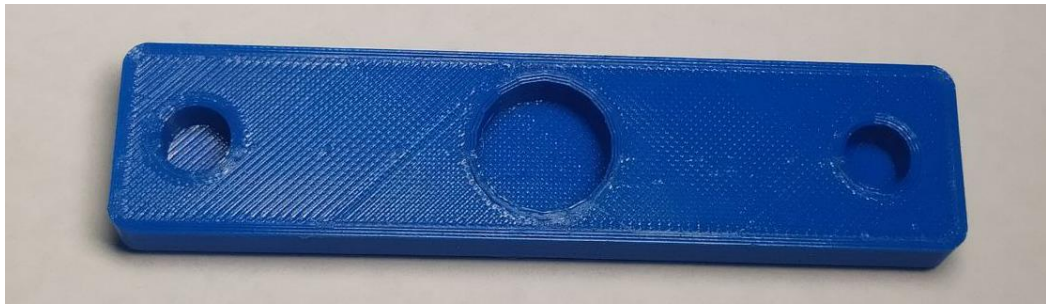


Рисунок 3.8 — Верхній елемент вісі Z

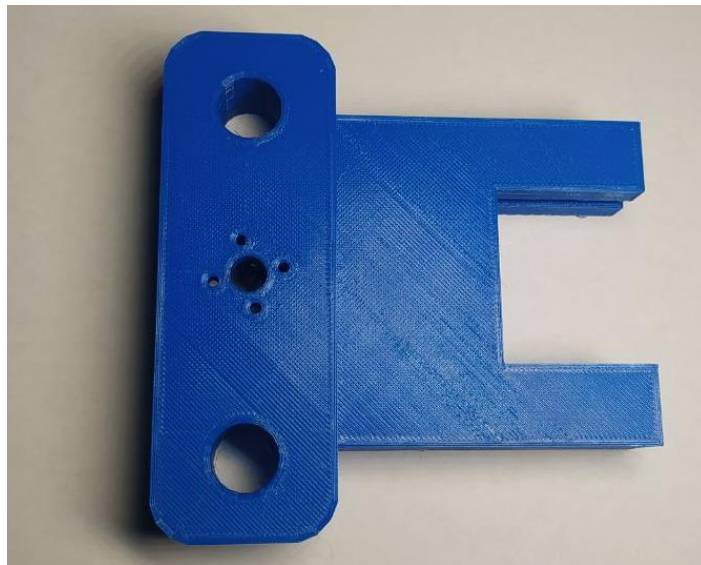


Рисунок 3.9 — Рухомий елемент вісі Z

3.2 Монтування механічних елементів конструкції.

Першим етапом є організація модулів вісі Z. Встановлено гайку з системою захисту від вібрації на головну вісь. Встановлено лінійні підшипники на направляючі для перевірки їх сумісності (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 — Стальні елементи вісі Z.

Використовуючи ефект навантаженої посадки встановлено лінійні підшипники в посадкові місця в корпусі рухомої частини (рисунк 3.11) [13,18 16,9].



Рисунок 3.11 — Рухома частина вісі Z

Встановлено кроковий двигун та лінійні направляючі в посадкове місце корпусної частини. Встановлено гнучку муфту для подальшого монтування головної вісі (рисунк 3.12).

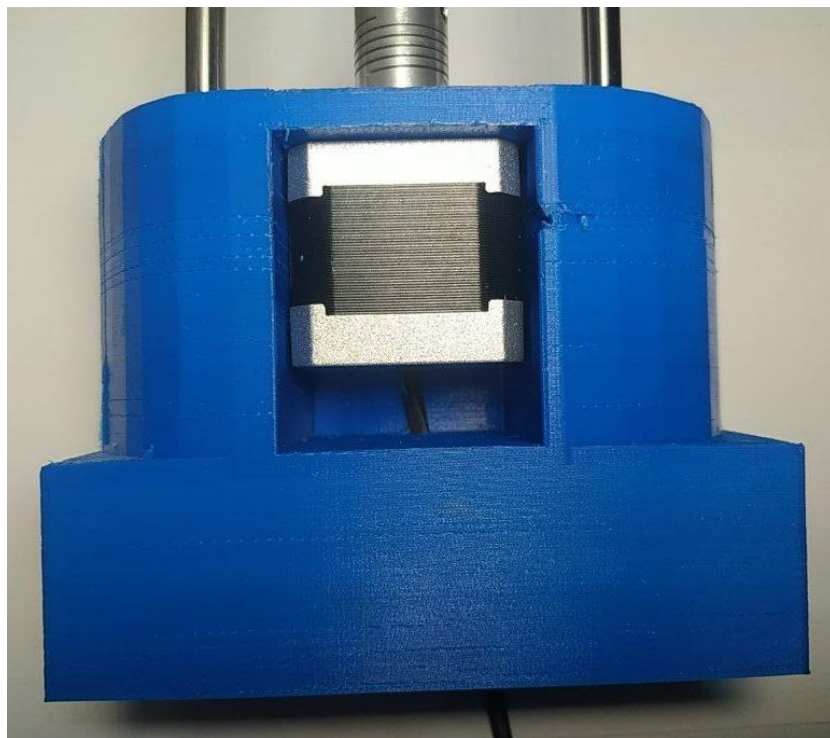


Рисунок 3.12 — Кроковий двигун в корпусі

Об'єднано головний корпус з рухомою частиною для перевірки роботи механічних запчастин (рисунок 3.13).

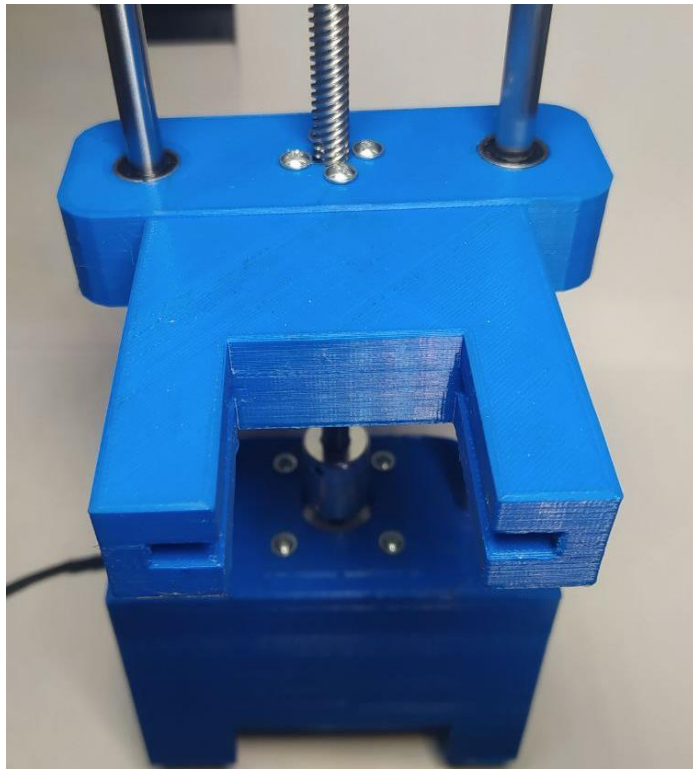


Рисунок 3.13 — Вісь Z в повному зборі

Остаточним кроком є встановлення верхньої частини вісі Z. Встановлено підшипник в посадкове місце верхньої деталі. Під'єднано останні елемент у верхній частині конструкції (рисунок 3.14) [13 ,16,9].



Рисунок 3.14 — Верхня частина вісі Z

Після повної організації вісі Z проведено повну перевірку її роботи. Трапецивидний гвинт рухається без перебоїв. Рухома частина переміщається на лінійних направляючих з використанням лінійних підшипників. У верхній точці руху за рахунок підшипника організовано мінімальний рівень тертя між корпусом та центральним гвинтом [11,16,9].

Після проведення перевірки механічних елементів приладу конструкцію було розібрано та пофарбовано. В нижній та верхній частинах вісі Z встановлено кінцеві перемикачі. Перемикачі слугуватимуть маяками та визначатимуть мінімальну та максимальну точки руху столика (рисунок 3.15).

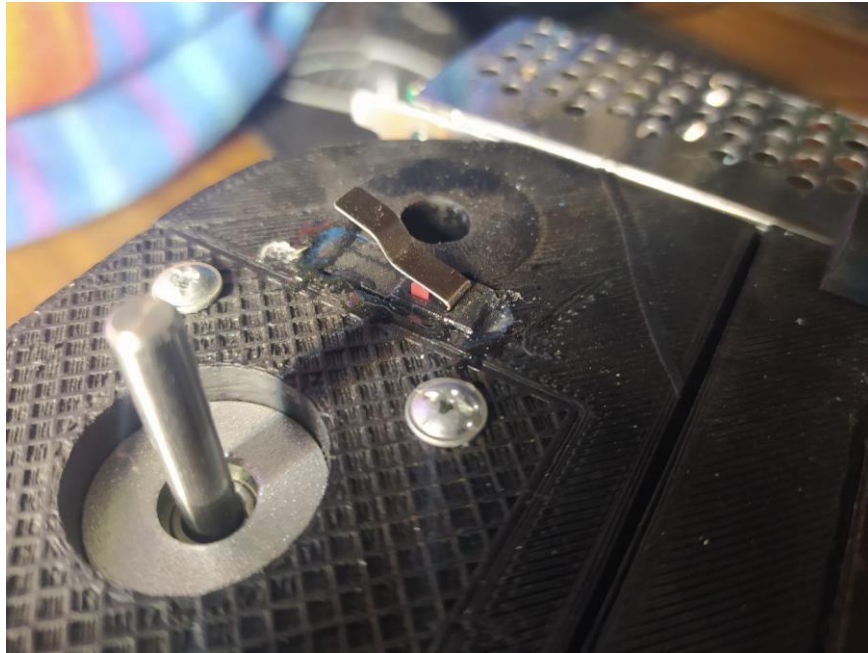


Рисунок 3.16 — Встановлення нижнього кінцевого перемикача

Елементи механізму зміни положення столика встановлено у свої робочі положення (рисунок 3.17) [16,9].



Рисунок 3.17 — Нижня частина вісі Z

Встановлено рухомий елемент в початкове положення (рисунок 3.18).

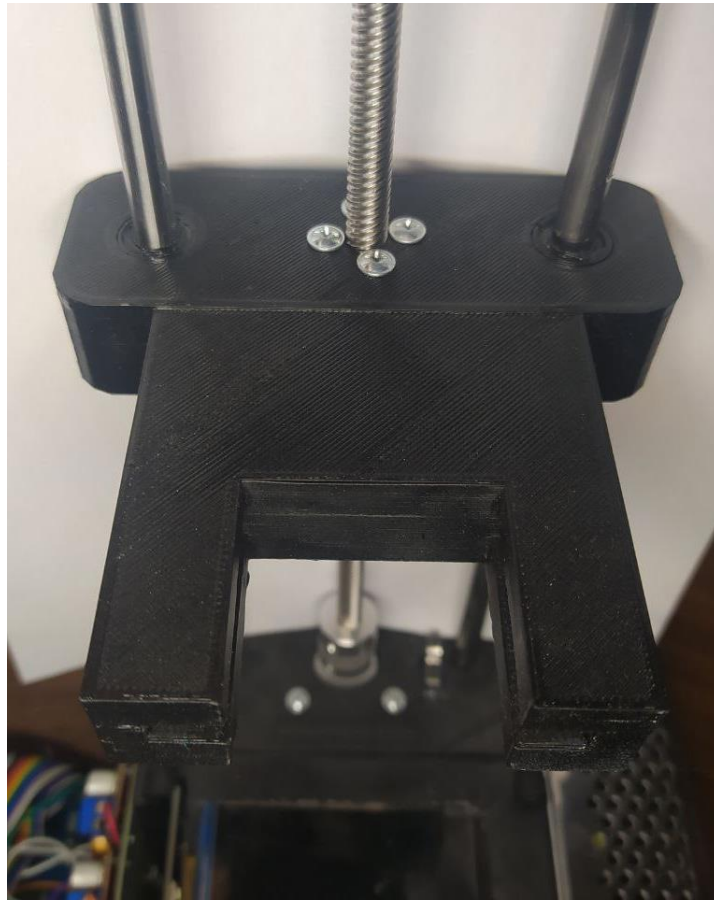


Рисунок 3.18 — Вісь Z в повному обсязі

Об'єднано елементи рухомого столика з можливістю налаштування кута платформи відносно ультрафіолетового проєктора (рисунок 3.19).



Рисунок 3.19 — Рухомий столик в повному обсязі

3.3 Підготовка та налаштування силових модулів проекту.

Враховуючи, що вихідна напруга блоку живлення становить +12В, проведено корекцію понижуючих перетворювачів для подальшого живлення елементів цифрової схеми. Для комфортного підключення та налаштування модулів вирішено встановити окремі комплектуючі схеми на текстолітовій платі (рисунок 3.20). Серед елементів на платі виділено:

- Понижуючий перетворювач напруги +12В у +5В.
- Понижуючий перетворювач напруги +12В у +8.4В.
- Драйвер крокового двигуна.
- Реле ультрафіолетової підсвітки [13,18 ,9].

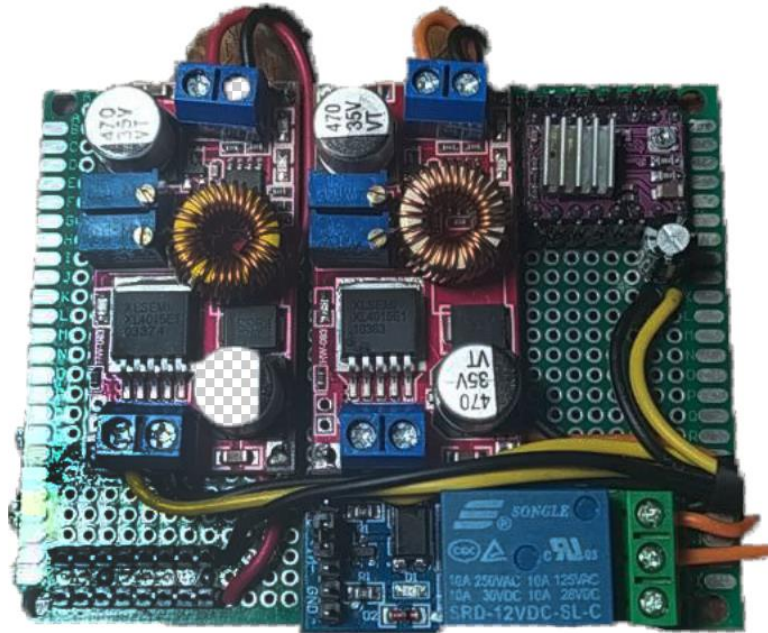


Рисунок 3.20 — Плата живлення

3.4 Встановлення та корекція робочих напруг приладу.

Першим кроком налаштування є встановлення напруги на виході блоку живлення 12 В. Для визначення необхідних параметрів використано мультиметр з функцією вимірювання напруги постійного струму (рисунок 3.21) [13, 11,16].



Рисунок 3.21 — Параметри вихідної напруги блоку живлення

Змінюючи положення потенціометра на платі понижуючого перетворювача 1 встановлено вихідну напругу на виході 5 В (рисунок 3.22).

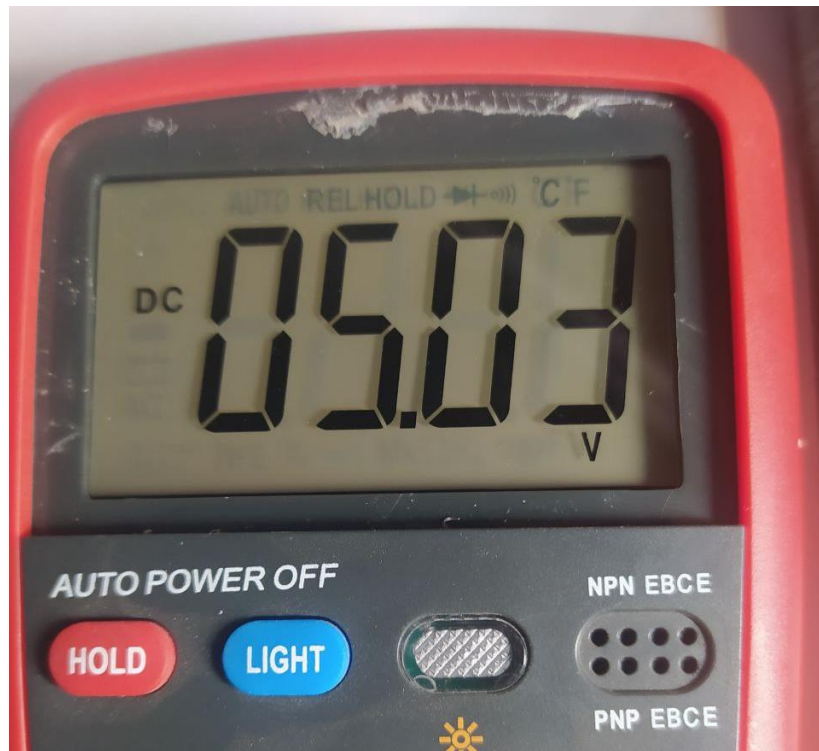


Рисунок 3.22 — Параметри вихідної напруги блоку понижуючого перетворювача +12В в +5В

Змінюючи положення потенціометра на платі понижуючого перетворювача 2 встановлено вихідну напругу на виході 8.4В (рисунок 3.23).

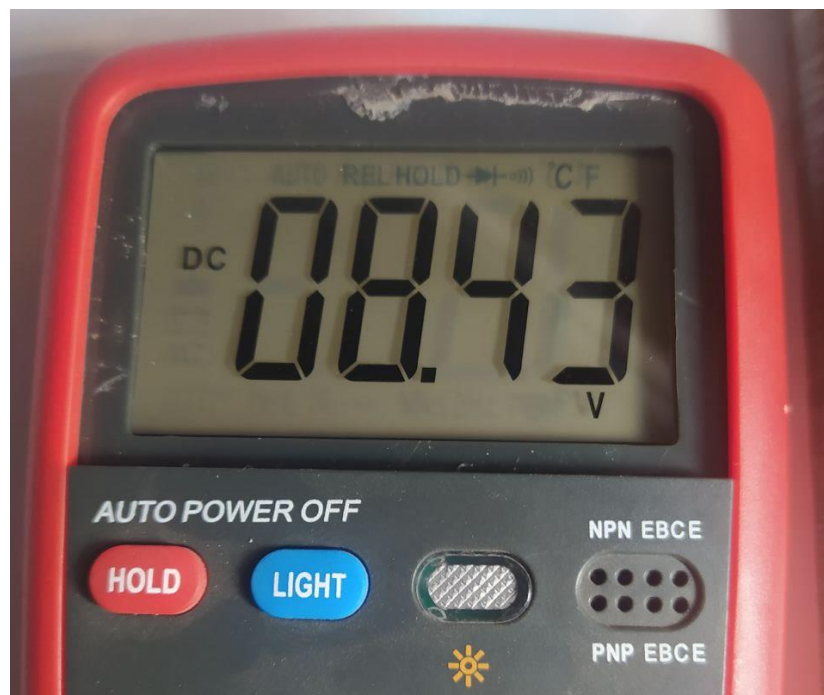


Рисунок 3.23 — Параметри вихідної напруги блоку понижуючого перетворювача +12В в +8.4В

3.5 Встановлення та налаштування елементів електричної схеми.

Плату живлення встановлено в посадкове місце в корпусі (рисунок 3.24) [13 ,16,9].

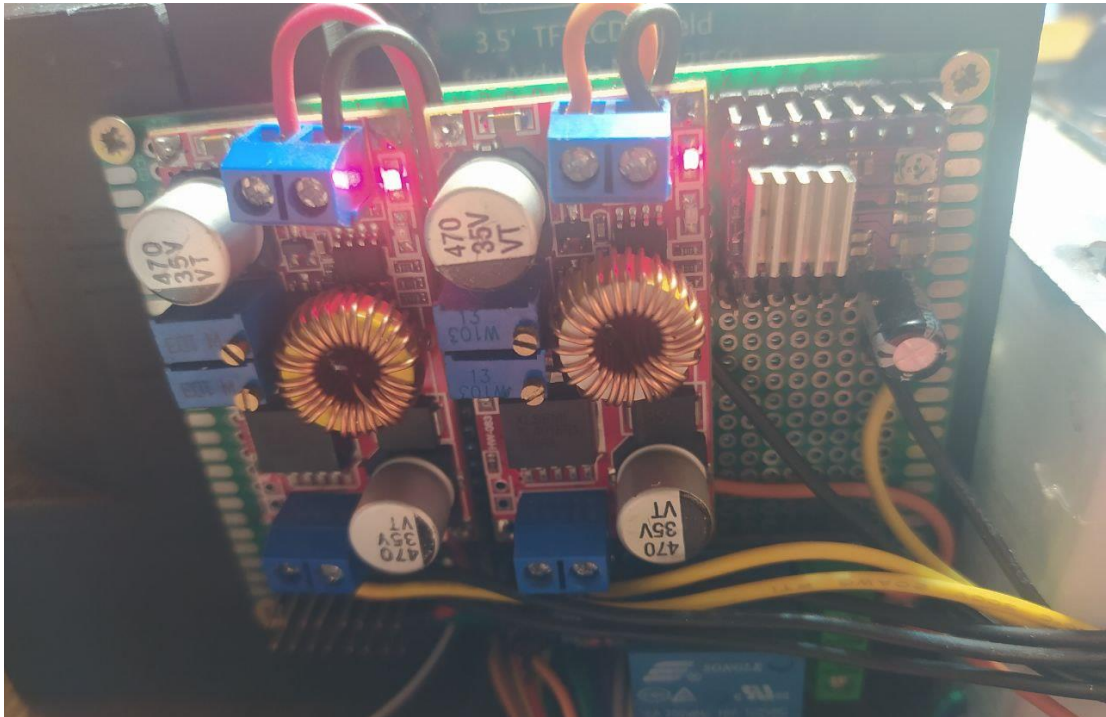


Рисунок 3.24— Плати живлення проекту

За схемою 3.25 підключено понижуючі перетворювачі. Налаштовано вихідні напруги у відповідності із схемою.

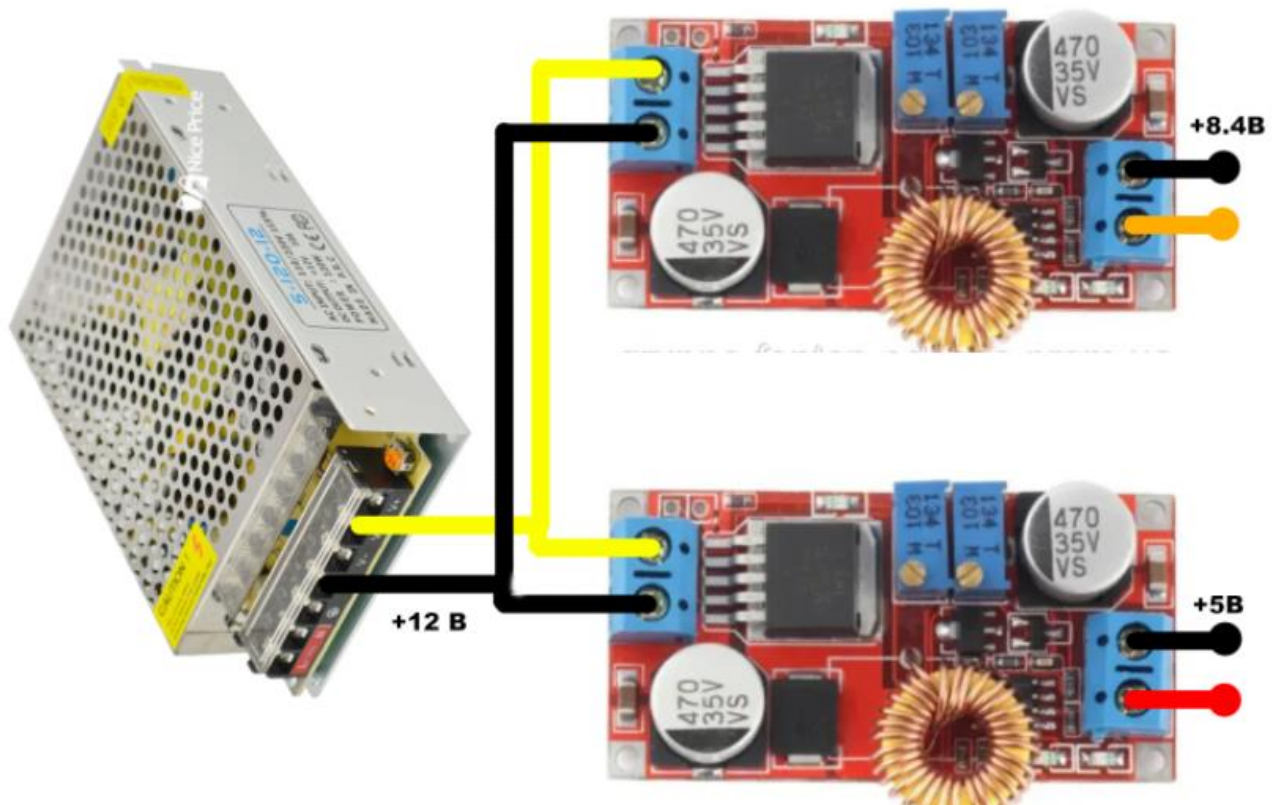


Рисунок 3.25 — Схема підключення понижуючих перетворювача

Встановлено блок живлення в початкове положення. До блоку живлення під'єднано коннектор змінної напруги з використанням перемикача з можливістю фіксації положення (рисунки 3.26-3.27) [11 ,19,18].



Рисунок 3.26 — Встановлення блоку живлення

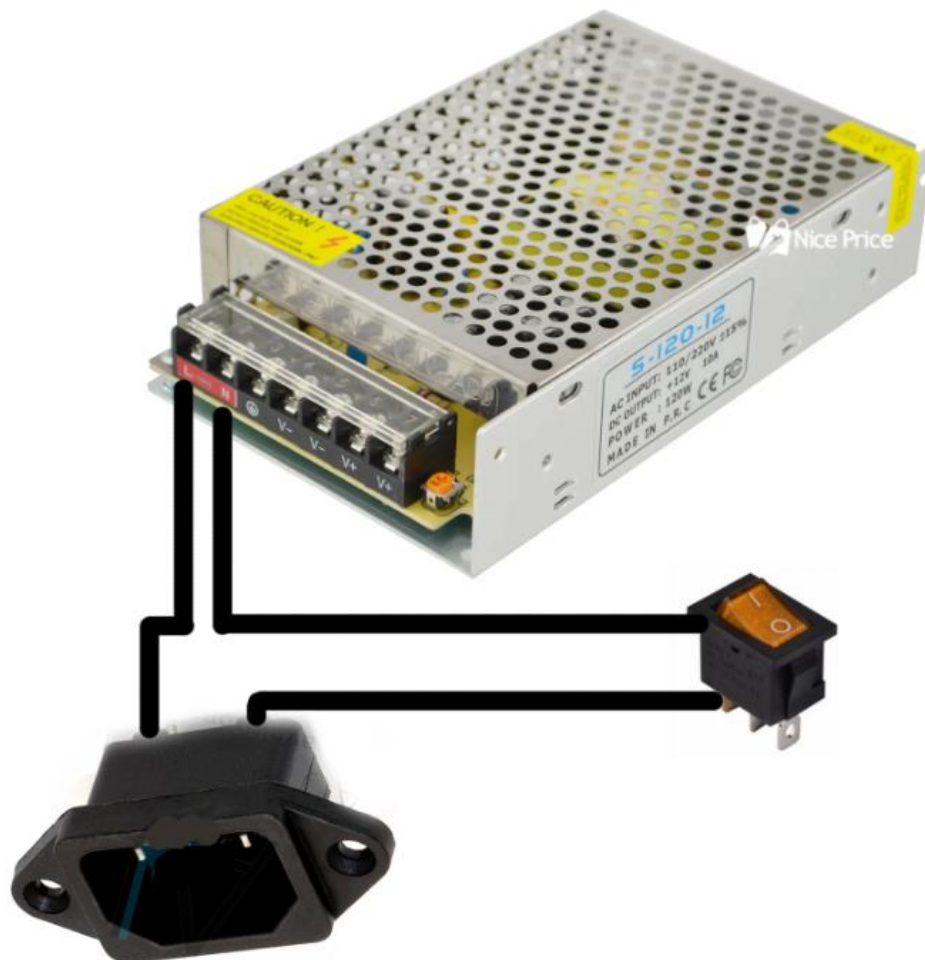


Рисунок 3.27— Схема підключення блоку живлення до змінної напруги

3.6 Встановлення та підключення UV підсвітки

За схемою підключено ультрафіолетову підсвітку до понижуючого перетворювача. Вихідна напруга перетворювача становить 8.4 В (рисунок 3.28) [13,16,15].

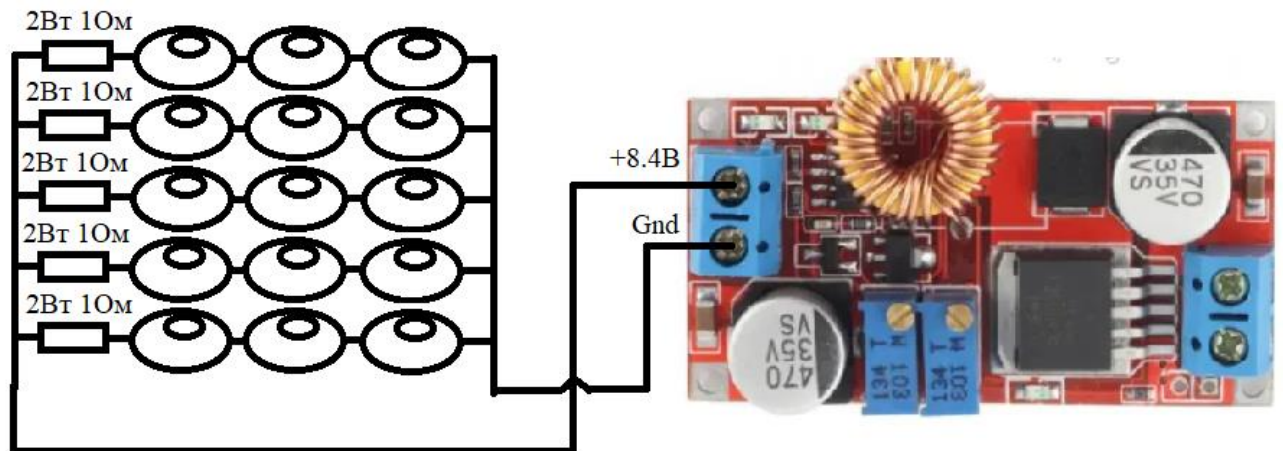


Рисунок 3.28 — Схема підключення ультрафіолетової підсвітки

Проведено перевірку ультрафіолетової підсвітки та налаштовано вхідну напругу живлення модуля. За тестуваннями встановлено, що потужність світлодіодів рівномірна (рисунок 3.29) [11, 13,18].



Рисунок 3.29— Перевірка ультрафіолетової підсвітки

Враховуючи те, що номінальна потужність одного світлодіода становить 3 Вт, то загальна потужність ультрафіолетової підсвітки розраховується за формулою:

$$P_{UV} = 3 \cdot 15 = 75 \text{ Вт}$$

Фактична потужність світлового потоку встановлена нижче максимальної для захисту світлодіодів від перенавантаження. Фактична потужність підсвітки становить 55 Вт [16,15, 18].

Встановлено ультрафіолетову підсвітку в стокове положення в корпусі на поверхні алюмінієвого радіатора (рисунок 3.30).

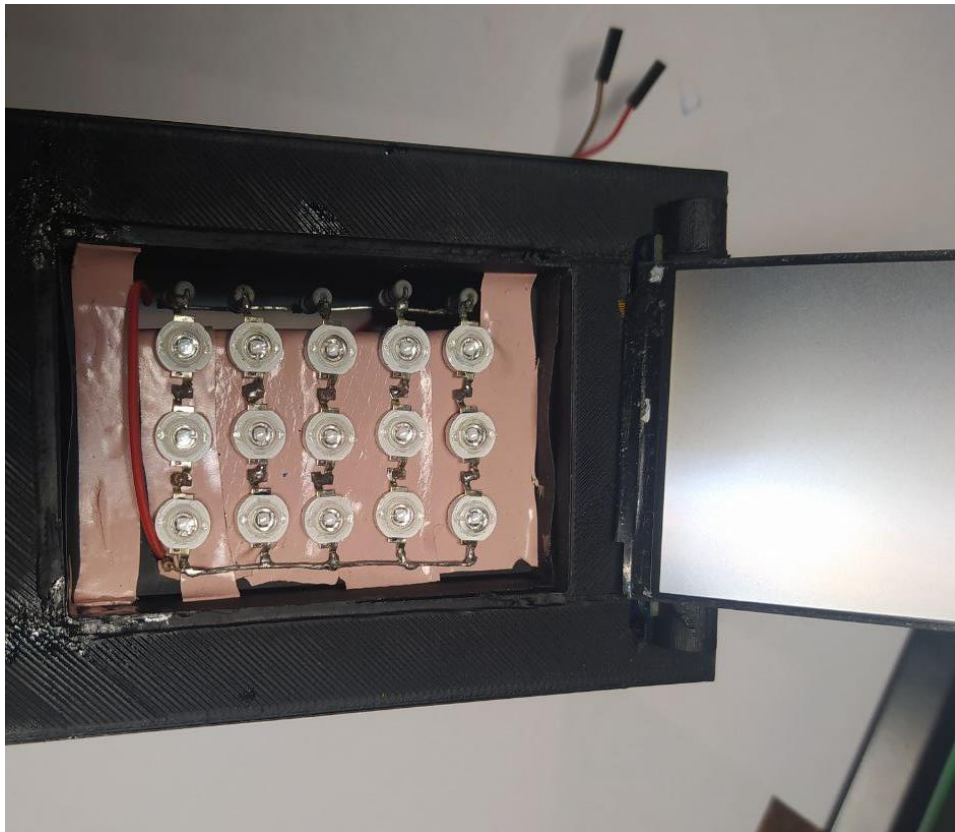


Рисунок 3.30 — Встановлення ультрафіолетової підсвітки в корпус

3.7 Встановлення та підключення oled дисплею

За схемою 3.31 під'єднано oled дисплей до управляючої плати. Дисплей управляється під на основі шини i2c [11,19,18].

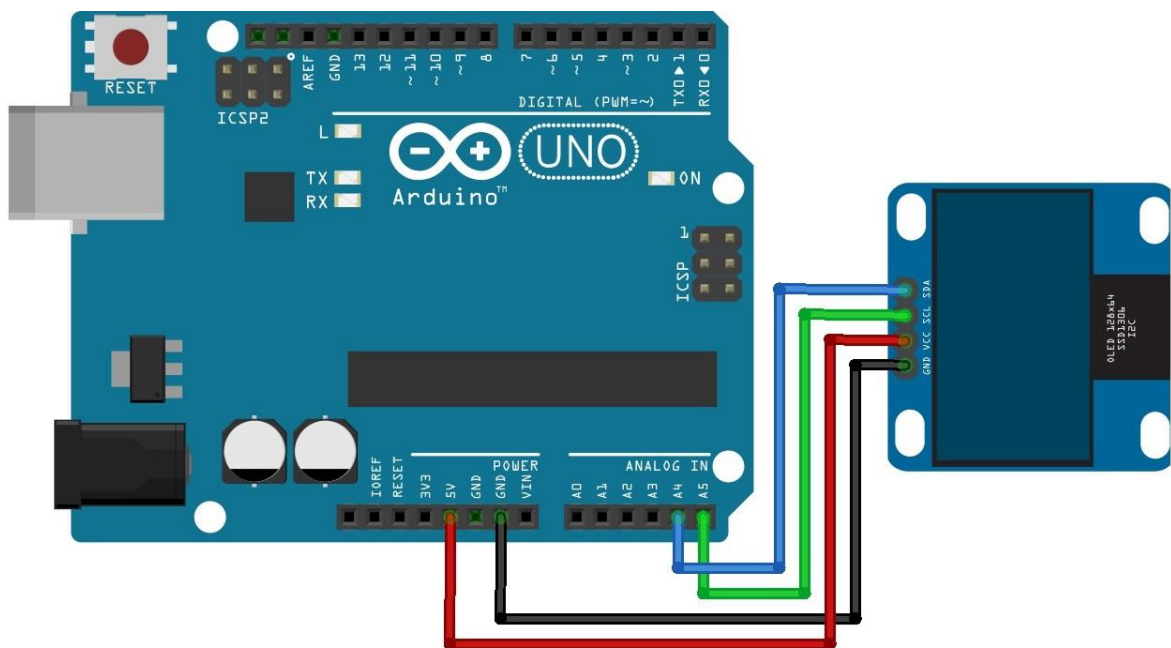


Рисунок 3.31 — Схема підключення oled дисплею

Проведено тестову перевірку дисплею. З використанням програмної бібліотеки дисплею виведено текстове зображення. Встановлення положення по горизонталі та вертикалі та налаштування заповнення тексту працює повністю за написаними правилами (рисунок 3.32) [14 ,16 ,19].

```
#include <OLED_I2C.h>

OLED myOLED(SDA, SCL, 8);

extern uint8_t SmallFont[];

void setup()
{
  myOLED.begin();
  myOLED.setFont(SmallFont);
}

void loop()
{
  myOLED.clrScr();
  myOLED.print("VORONOV A A", LEFT, 0);
  myOLED.print("DISPLAY test", CENTER, 16);
  myOLED.print("PRINTER 3d", CENTER, 24);
  myOLED.update();
  delay (5000);
}
```



Рисунок 3.32 — Перевірка дисплею для виводу інформації

3.8 Встановлення та підключення матриці ультрафіолетового проектора

За схемою 3.34 підключено матрицю ультрафіолетового проектора до управляючої плати (рисунок 3.33).

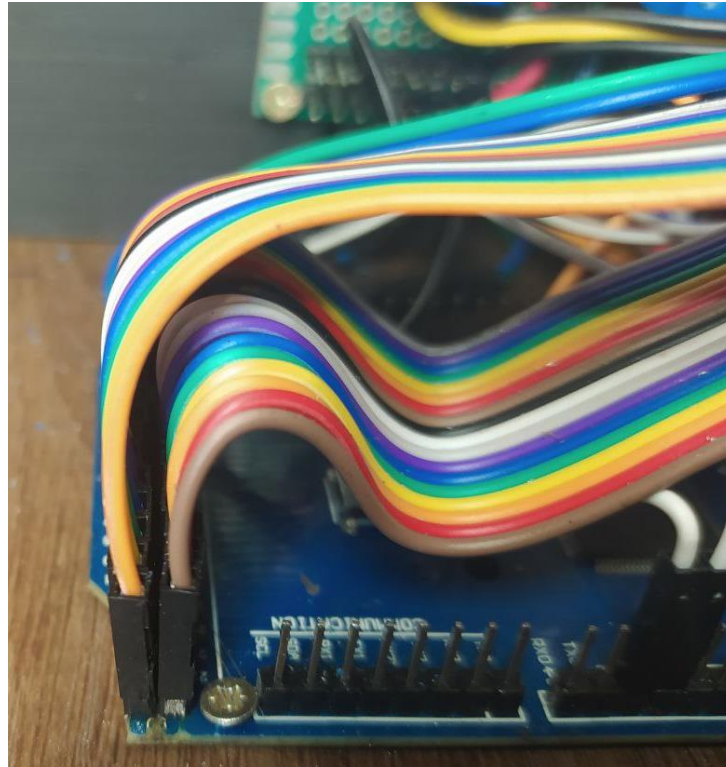


Рисунок 3.33 — Підключення матриці ультрафіолетового проектора

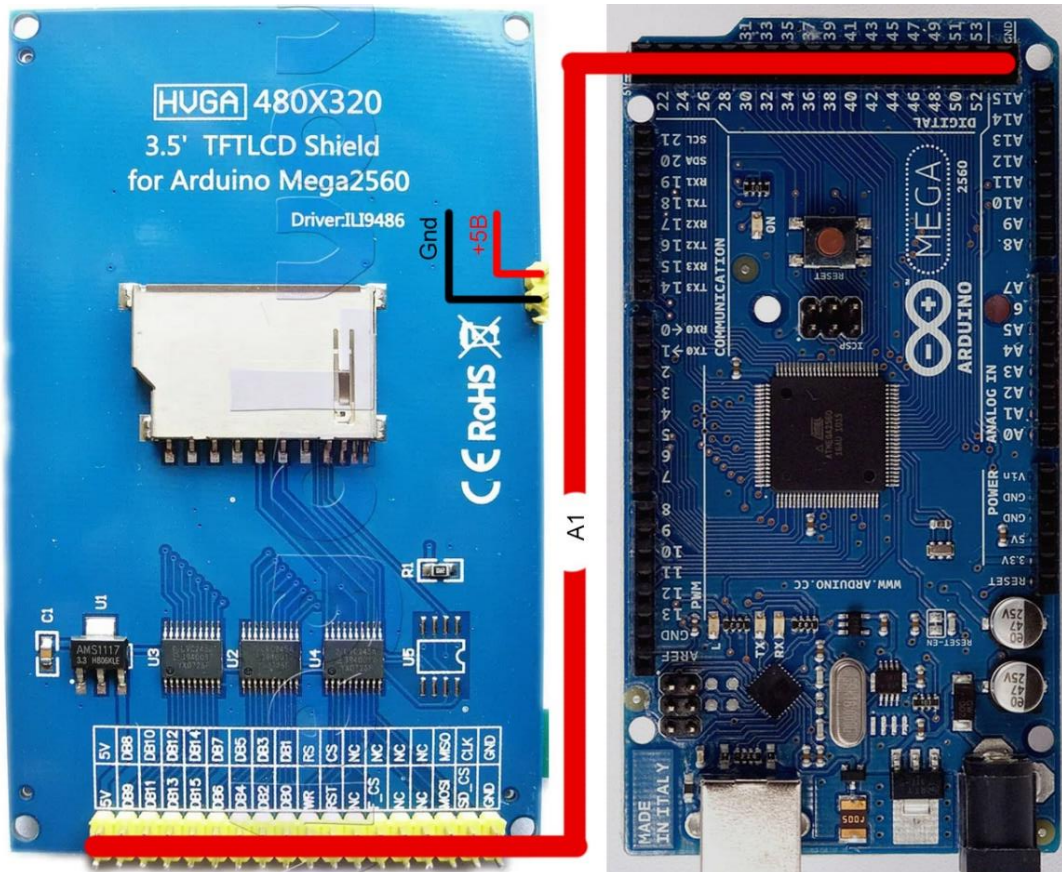


Рисунок 3.34 — Схема підключення матриці ультрафіолетового проектора

За схемою 3.35 підключено модуль SD карти до управляючої плати. Модуль використовує шину SPI та заміщує частину контактної групи дисплею 480x320 пікселів, яка використовується для передачі даних з SD карти дисплею [14,16 ,19].

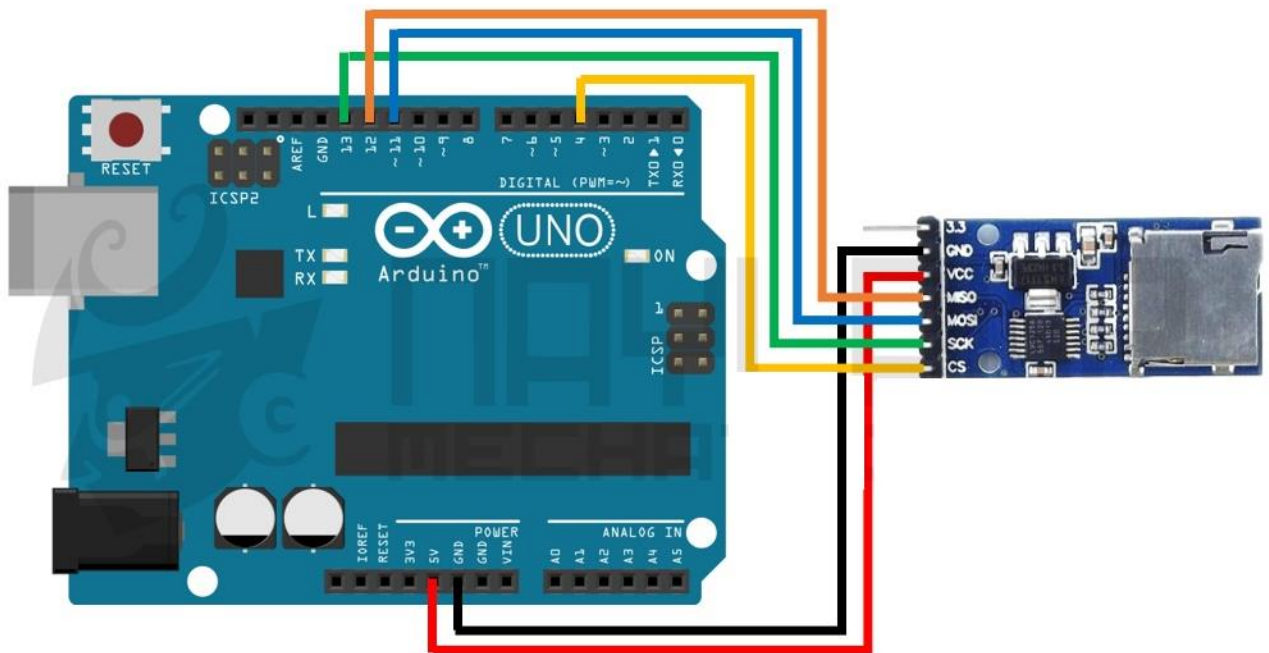


Рисунок 3.35 — Схема підключення модуля SD карти

Проведено перевірку взаємної роботи матриці ультрафіолетового проектора та модуля SD карти. Для тестування завчасно підготовлено зображення у форматі bmp та тестовий скетч мікроконтролера (рисунок 3.36). [14,15 ,18].

```
#include <TFT_HX8357.h>
TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357();
#include <SD.h>

#define SDC_CS 53
#define BU_BMP 1
#define TD_BMP 0
int a = 10;

void setup()
{
  Serial.begin(38400);
  delay(4000);

  tft.init();

  Serial.print(F("Initialising SD card..."));
  if (!SD.begin(SDC_CS)) {

    //return;
  }
}
```



```

void loop()
{

    tft.setRotation(3);
    tft.fillScreen(TFT_BLACK);

    delay(2000);
    int a = 2;
    char Buf[50];
    String b;
    b = String(a)+".bmp";
    Serial.println(b);
    b.toCharArray(Buf,50);
    Serial.println(Buf);

    drawBMP(Buf, 0, 0, BU_BMP);
    delay(2000);

}

```

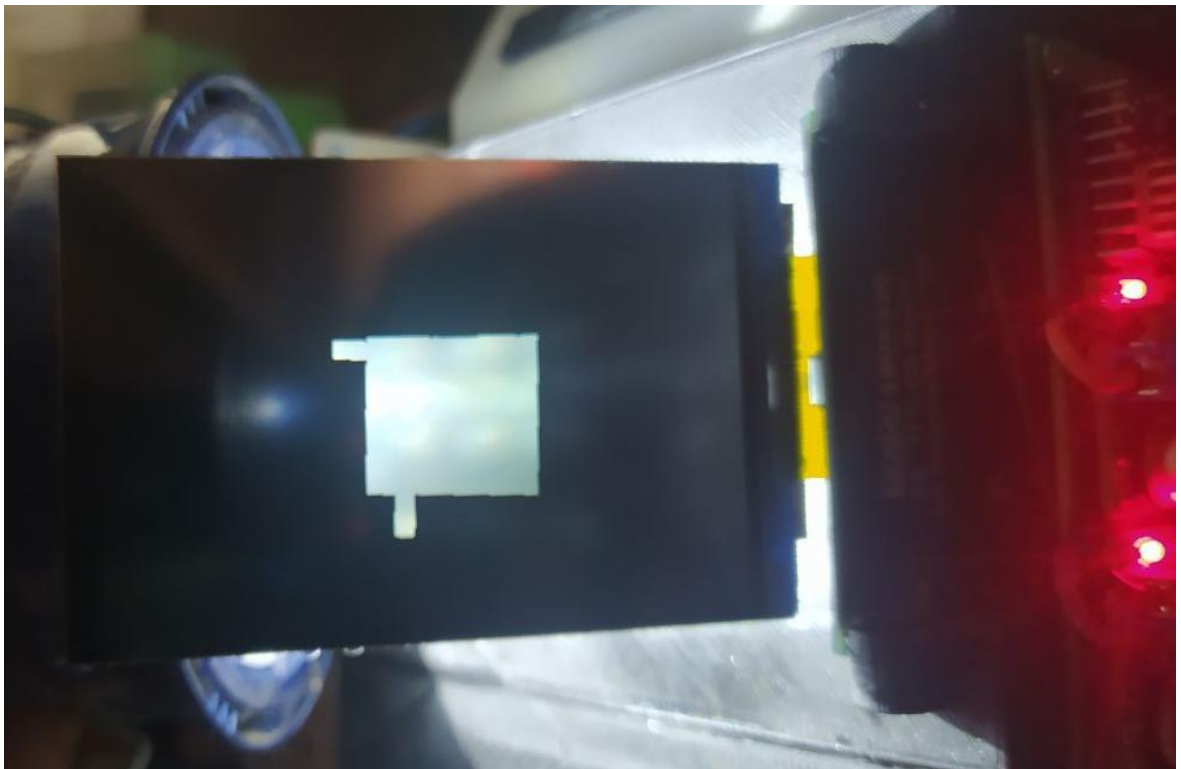


Рисунок 3.36 — Тестування виводу зображення на матрицю

3.9 Загальна перевірка ультрафіолетового проектора.

Встановлено всі елементи проектора. Проведено перевірку матриці на предмет взаємодії з підсвіткою. Ультрафіолет засвічує лише білі частини зображення як і розраховувалося. Темні частини не пропускають більшу частину випромінювання, чого достатньо для друку (рисунок 3.37) [14,15, 19].

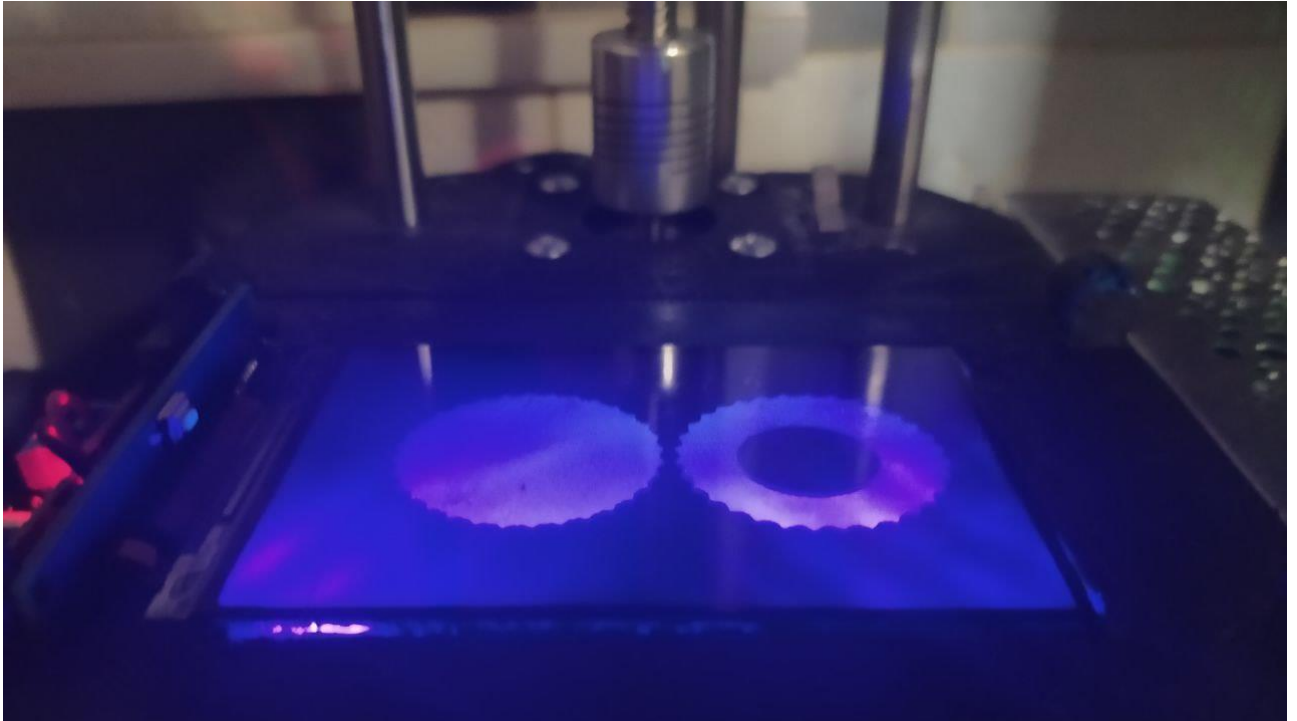


Рисунок 3.37 — Тестування виводу зображення ультрафіолетовий проектор

3.10 Встановлення та перевірка роботи кінцевих перемикачів

Проведено тестування кінцевих перемикачів проекту. При натисканні на перемикач значення в консолі серійного порту змінювалося з OFF на ON. Кінцеві перемикачі працюють повністю справно [16,18].

```
const int buttonStart = 10;
const int buttonUp = 8;
const int buttonDown = 9;
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode(buttonStart, INPUT);
    pinMode(buttonStart, INPUT);
    pinMode(buttonDown, INPUT);
```

```
    Serial.begin(115200);
}
```

```
void loop() {
```

```
    if (digitalRead(buttonUp) == LOW) {
```

```

Serial.print("OFF");
} else {

    Serial.print("ON");
}
Serial.println();
delay(1000);
}

```

3.11 Підключення та тестування крокового двигуна

За схемою 3.38 підключено драйвер крокового двигуна до управляючої плати.

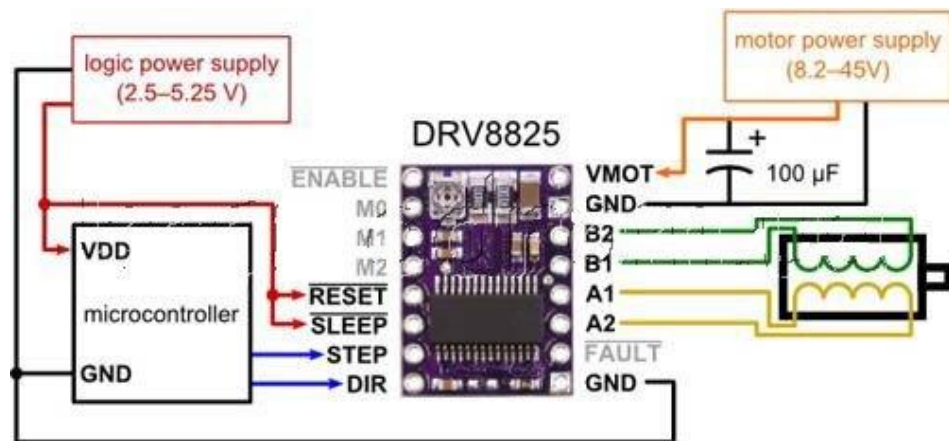


Рисунок 3.38— Схема підключення драйвера крокового двигуна

Дані, щодо розподілення кольорів контактів підключення взято з офіційної документація крокового двигуна пета 17 (рисунок 3.39).

Signals and wire colors	
Phase A	Red
Phase /A	Blue
Phase B	Green
Phase /B	Black

Рисунок 3.39 — Схема розподілення контактних груп двигуна пета 17

Драйвер встановлено в плату живлення. Для забезпечення надійності живлення крокового двигуна в схему вмонтовано конденсатор 100 мF. Напругу на потенціометрі встановлено максимально збалансовано для забезпечення відсутності пропуску крокі, але з урахуванням охолодження драйвера (рисунок 3.40) [15, 19].

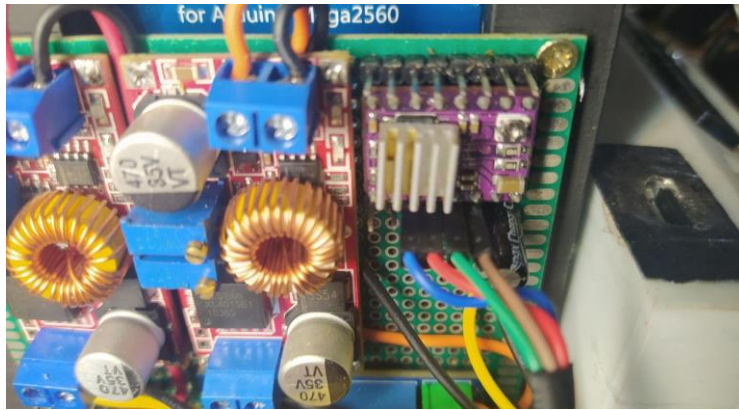


Рисунок 3.40 — Встановлення драйвера drv8825

Проведено тестування крокового двигуна. Двигун виконує функцію справно. Пропуски кроків не виявлені, рух плавний. Скетч подано нижче.

```
#include "DRV8825.h"
DRV8825 stepper;
void setup()
{
  stepper.begin(4, 5);
}
void loop()
{
  stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE);//up

  for (int i = 0; i < 500; i++)
  {
    stepper.step();
    delay(1);
  }
  delay(200);

  stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE);//down

  for (int i = 0; i < 495; i++)
  {
    stepper.step();
    delay(1);
  }
  delay(200);
}
```

3.12 Оформлення загальної схеми та встановлення додаткових модулів

Всі модулі проекту об'єднано в єдину схему. Додано кінцеві перемикачі для сигналізації максимального нижнього та верхнього положення рухомої платформи (рисунок 3.41) [14,15, 19].

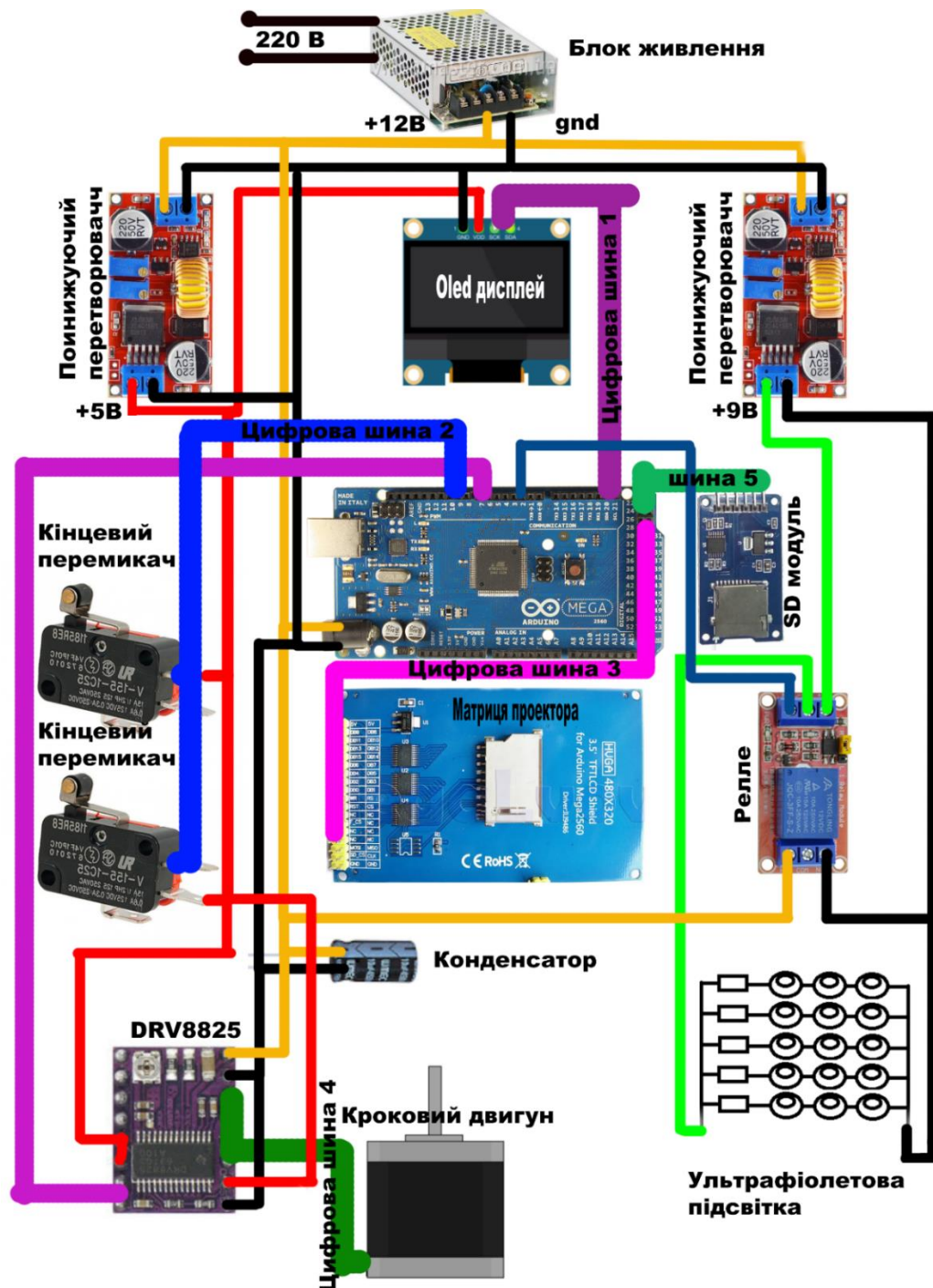


Рисунок 3.41 — Загальна схема фотополімерного 3д принтера

Висновок:

В ході виконання третього розділу кваліфікаційної роботи магістра було підготовлено заздалегідь надруковані елементи корпусу. Всі елементи електричної та логічної схеми вмонтовано на своє робоче місце та під'єднано до головного мікроконтролера та силових модулів принтера.

4 ПІДКЛЮЧЕННЯ БІБЛІОТЕК ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ

4.1 Налаштування роботи кінцевих перемикачів

Визначено адреси контактних груп кінцевих перемикачів.

```
const int buttonUp = 13;
const int buttonDown = 9;
```

В середовищі setup встановлено контактні групи в режим INPUT для зчитування показань.

```
pinMode(buttonUp, INPUT);
pinMode(buttonStart, INPUT);
```

Контактні групи кінцевих перемикачів готові до використання в головному скетчі проекту. Дані будуть зчитуватись в окремих циклах програми для регуляції роботи крокового двигуна[22, 19,18].

4.2 Налаштування роботи перемикача запуску процесу друку.

Визначено адресу контактної групи перемикача START.

```
const int buttonStart = 10;
```

В середовищі setup встановлено контактні групи в режим INPUT для зчитування показань.

```
pinMode(buttonStart, INPUT);
```

4.3 Налаштування роботи Oled дисплею.

Для організації роботи дисплею 0.96 підключено бібліотеку i2c для керування ним.

```
#include <OLED_I2C.h>
```

Створено об'єкт класу OLED з визначеними показаннями, а саме методу передачі даних та розміру шрифту виведення [22 ,19,18].

```
OLED myOLED(SDA, SCL, 8);
```

					КНУ.РМ.123.22.02.04.ПБРПК			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ПІДКЛЮЧЕННЯ БІБЛІОТЕК ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Вороной							
Перевірив	Кузнєцов							
Н.контроль	Кузнєцов							
Затвердив	Купін					КІ-21-М		

В полі Setup запущено роботу з дисплеєм. З заздалегідь прописаних в бібліотеці шрифтів обрано необхідний. Остаточним кроком є очищення дисплею перед виводом інформації.

```
myOLED.begin();
myOLED.setFont(SmallFont);
myOLED.clrScr();
```

При кожному виводі інформації дисплей очищується для захисту від заліпання застарілого тексту. Для додавання тексту використовується метод print з офіційної бібліотеки. Вивід інформації використовується в декількох випадках, а саме ініціалізація принтера [22,18,15].

```
myOLED.print("Initialising. ", CENTER, 20);
myOLED.update();
delay(1000);
myOLED.print("Initialising.. ", CENTER, 20);
myOLED.update();
delay(1000);
myOLED.print("Initialising...", CENTER, 20);
myOLED.update();
delay(2000);
```

У випадку, якщо при ініціалізації SD карта не знайдена, то на дисплеї з'являється повідомлення щодо помилки з проханням встановити карту в кардрідер [22 ,19,18].

```
if (!SD.begin(SDC_CS))
{
    myOLED.clrScr();
    myOLED.print("SD card not found!", CENTER, 16);
    myOLED.print("Please set SD card", CENTER, 32);
    myOLED.print("and reboot printer...", CENTER, 45);
    myOLED.update();
    while(true){}
}
```

У випадку успішної ініціалізації принтера виникає повідомлення, яке містить кількість шарів поточного проекту та приблизний час виконання друку в хвиликах. В останньому рядку повідомлення встановлюється прохання, щодо необхідності натискання кнопки старт для запуску процесу друку [22 ,18].

```

myOLED.clrScr();
myOLED.print("SD card found!", CENTER, 0);
myOLED.print("Contains "+String(LayerCount-1)+" layers", CENTER, 16);

alltime = ((LayerCount-1)*(TimeLight/1000)+10*(TimeLight/1000))/60;
myOLED.print("Oriented print time: ", CENTER, 27);
myOLED.print( String(alltime)+" min", CENTER, 38);
myOLED.print( " Press START button...", CENTER, 57);
myOLED.update();

```

В ході виконання процесу друку на дисплей виводиться поточна інформація щодо кількості шарів друку, які необхідно надрукувати та залишок часу на остаточне виконання завдання [14,15 ,18].

```

myOLED.clrScr();
myOLED.print("Layers left: "+String(LayerCount-i), CENTER, 0);
myOLED.print("Time left: "+String(alltime-(((i-1)*(TimeLight/1000))/60))+ " min", CENTER, 25);
myOLED.print("Lift: 5 mm", CENTER, 40);
myOLED.print("Illumination: "+ String(TimeLight/1000)+" s", CENTER, 40);
myOLED.update();

```

По завершенню процесу друку на дисплей виводиться інформація щодо успішного завершення роботи та прохання вимкнути принтер.

```

myOLED.clrScr();
myOLED.print("PRINTING IS ENDED", CENTER, 30);
myOLED.print("Please off printer", CENTER, 55);
myOLED.update();

```

4.4 Налантування роботи ультрафіолетових підсвітки.

Для автоматичного вмикання та вимикання UV підсвічування встановлено реле, розраховано на 5В управляючої напруги. Першим етапом є визначення адреси управляючого контакту на платі.

```
const int UV_led = 11;
```

Так як реле замикає контактний сигнал при подачі низкорівневого сигналу, то в полі Setup значення на виході контактної групи встановлено high для вимкнення дисплею на початку запуску проекту. Контактна група встановлена як output.

```

pinMode(UV_led, OUTPUT);
digitalWrite(UV_led, HIGH);

```

В моменти увімкнення ультрафіолетового підсвічування на управляючий контакт подається низкорівневий сигнал LOW [14 ,17,18].

```
digitalWrite(UV_led, LOW);
```

4.5 Налаштування роботи матриці 480x320 пікселів та підключення модуля SD карти.

Модуль SD карти та матриця управлятимуться разом. Так як обидва елемента використовують одну шину, то налаштовувати їх необхідно одночасно.

В першу чегу підключено головні бібліотеки.

```
#include <TFT_HX8357.h>
#include <SD.h>
```

Створено елемент класу TFT_HX8357.

```
TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357();
```

Визначено головні константи управляючих пінів модуля SD карти [15 ,18].

```
#define SDC_CS 53
#define BU_BMP 1
#define TD_BMP 0
```

Проводиться перевірка ініціалізації карти пам'яті да допомогою методу begin.

```
SD.begin(SDC_CS)
```

У випадку успішної ініціалізація проводиться запуск дисплея 480x320 пікселів. [16,18,17].

```
tft.init();
```

Відкривається поточний каталог карти пам'яті та проводиться аналіз наявності файлів проекту, а саме шарів конструкції для визначення їх кількості та розрахування приблизного часу виконання друку.

```
while(SD.exists(LayerName))
{
    String b;
    LayerCount+=1;
    b = String(LayerCount)+".bmp";
    b.toCharArray(LayerName,50);
}
```

Після всіх підготовчих елементів встановлюється орієнтація дисплея та кольороий режим роботи.

```
tft.setRotation(3);
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
```

В головному циклі програми створено цикл, який являє собою процес друку поточного шару моделі. На розрахунковому етапі кожної з ітерацій проводиться зміна поточного зображення на матриці дисплею [15, 17,18].

```
char Buf[50];
String b;
b = String(i)+".bmp";
Serial.println(b);
b.toCharArray(Buf,50);
Serial.println(Buf);
drawBMP(Buf, 0, 0, BU_BMP);
```

4.6 Налаштування роботи крокового двигуна.

Першим етапом налаштування модуля є підключення бібліотеки драйвера drv8825.

```
#include "DRV8825.h"
```


Створено об'єкт класу drv8825.

```
DRV8825 stepper;
```

Проводиться ініціалізація об'єкта з визначеними параметри контактних груп напрямку руху та ітерування.

```
stepper.begin(4, 5);
```

Після початку процесу друку рухомий столик опускається в нижнє максимальнє положення. Для цього визначається напрямок руху крокового двигуна та пропотиться покроковий рух з затримкою 1 мс поки на управляючому контакті нижнього кінцевика не з'явиться логічна одиниця.

```
stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE); //down
while(digitalRead(buttonDown) == LOW)
{
    stepper.step();
    delay(1);
}
```

В обраний момент часу на кожній з ітерацій провотиться рух платформи на 5 мм ввєрх, а потім на 4,95 мм вниз для організації шару друку в 0,05 мм [14, 16, 17,18].

```
stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE); //up
for (int i = 0; i < 500; i++)
{
    stepper.step();
    delay(5);
}
delay(1500);
stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE); //down
for (int i = 0; i < 495; i++)
{
    stepper.step();
    delay(5);
}
```

Для організації можливості перевірки моделі до закінчення друку інтегровано функцію паузи. При натисканні та утримуванні клавіші старт до кінця поточного шару платформа піднімається вгору. Після повторного натискання кнопки старт платформа опускається в початкове положення та процес друку продовжується [15,16, 18].

```
if(digitalRead(buttonStart) == HIGH)
{
    stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE);//up
    for (int j = 0; j < Pause; j++)
    {
        stepper.step();
        delay(1);
    }

    while(digitalRead(buttonStart) == LOW){}

    stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE);//down
    for (int j = 0; j < Pause; j++)
    {
        stepper.step();
        delay(1);
    }
    delay(2000);
}
```

Після закінчення процесу друку рухомий сколик піднімається в верхнє максимальне положення для комфортної роботи х деталлю [16, 18].

```
stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE);
while(digitalRead(buttonUp) == LOW)
{
    stepper.step();
    delay(1);
}
```

Загальна програмний код проекту подано в додатку А.

Висновок:

В ході виконання четвертого розділу кваліфікаційної роботи магістра визначено порядок дій друку. Встановлено необхідні програмні бібліотеки для підключення та управління елементами проекту. Створено робочий цикл друку одного шару та налаштовано програмну роботу модулів фотополімерного 3д принтера.

5 НАЛАШТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ПРИНТЕРА

5.1 Підготовка файлів друку

Підготовка елементів перед процесом створення складається з декількох етапів. В першу чергу налаштовуються параметри принтера в слайсері. В якості слайсера обрано Chitubox. Встановлено, що розміри дисплею становлять 76х53 мм. Роздільна здатність 480х320 пікселів (рисунок 5.1).

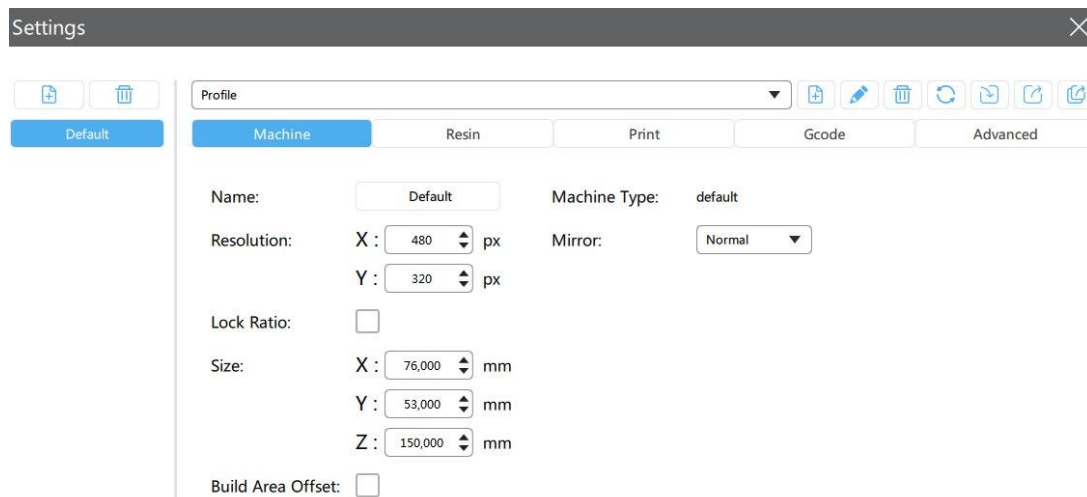


Рисунок 5.1 — Процес встановлення параметрів принтера

Створений, чи завантажений файл в форматі .stl завантажено в слайсер. При необхідності можна організувати автоматичне встановлення підтримок друку. Після закінчення процесу слайсингу модель зберігається у вигляді архіву .rar [19,18].

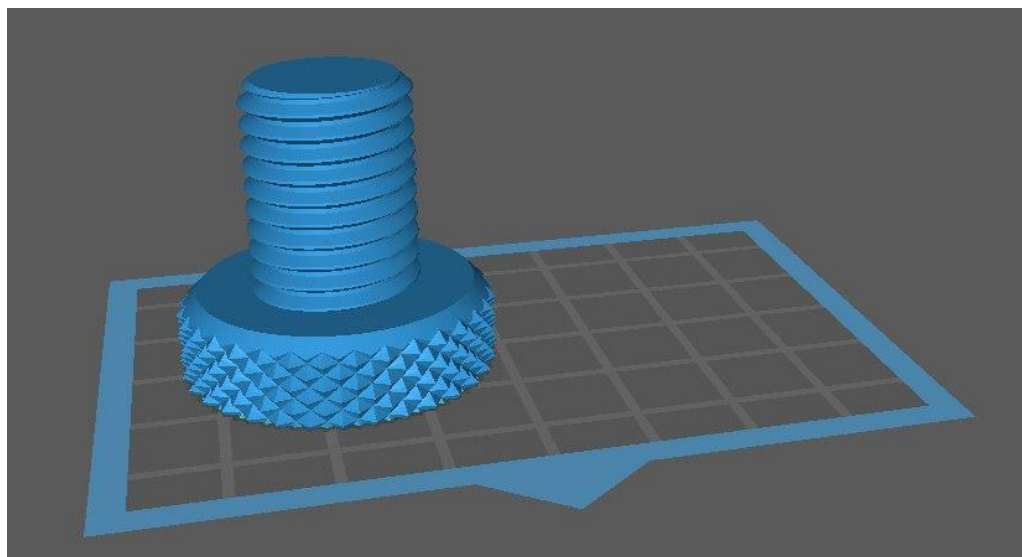


Рисунок 5.2 — Слайсинг моделі

					КНУ.РМ.123.22.02.05.НПАРП			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	НАЛАШТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ПРИНТЕРА	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Вороной							
Перевірив	Кузнєцов							
Н.контроль	Кузнєцов					KI-21-M		
Затвердив	Купін							

Файли розархівовано в папку з назвою архіву та створено папку під назвою bmp. Основною проблематикою є те, що для процесу виведення зображення на екран фали повинні бути збережені у форматі bmp, а слайсер зберігає шари у форматі png (рисунк 5.3).

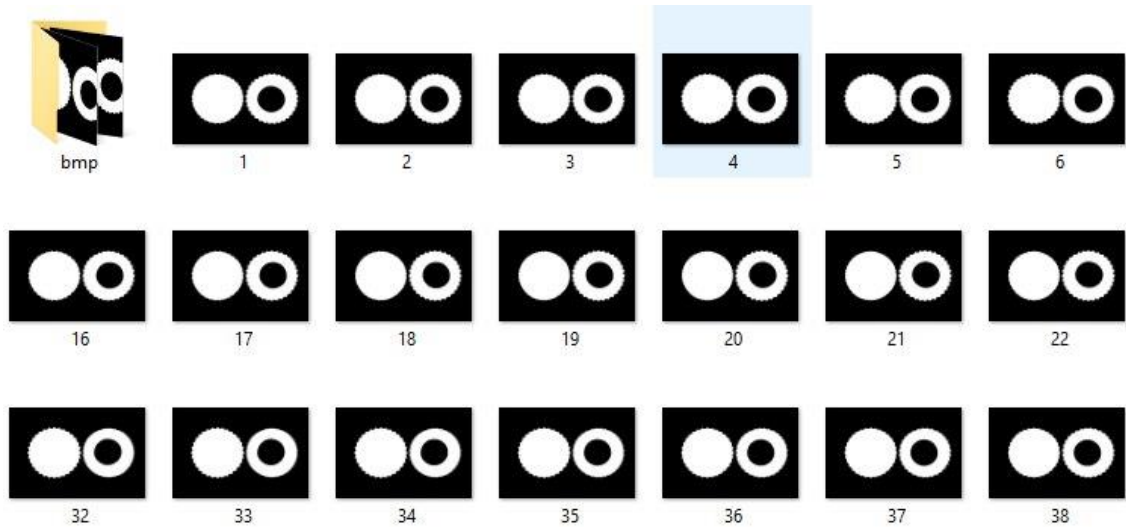


Рисунок 5.3 — Шари для друку у форматі png

Для конвертації шарів у формат bmp вирішено використати програму XnConverter. Обраний додаток має можливість одночасного конвертування декількох файлів з функцією коригування.

Спочатку всі файли у форматі .png завантажуються в робоче поле програми (рисунк 5.4) [17,18,19].

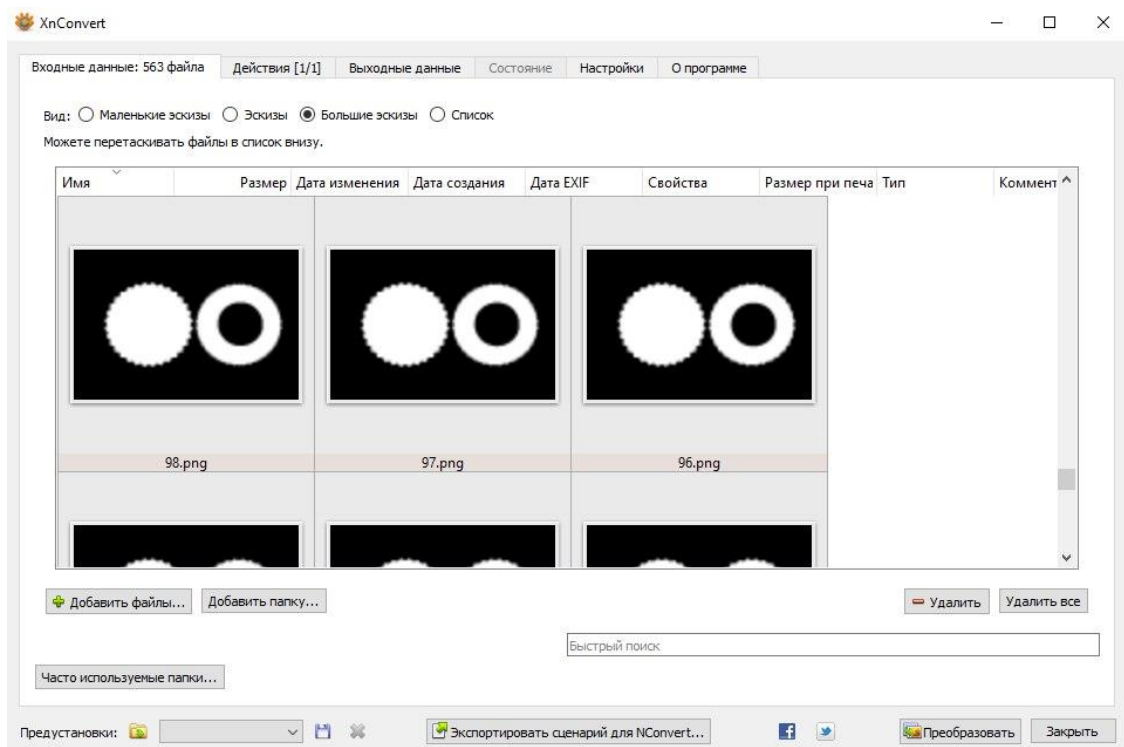


Рисунок 5.4 — Завантаження шарів проекту

У пункті дій над шарами встановлюється заміна глибини кольору з параметрами 24 біта (рисунок 5.5) [17, 19 ,22].

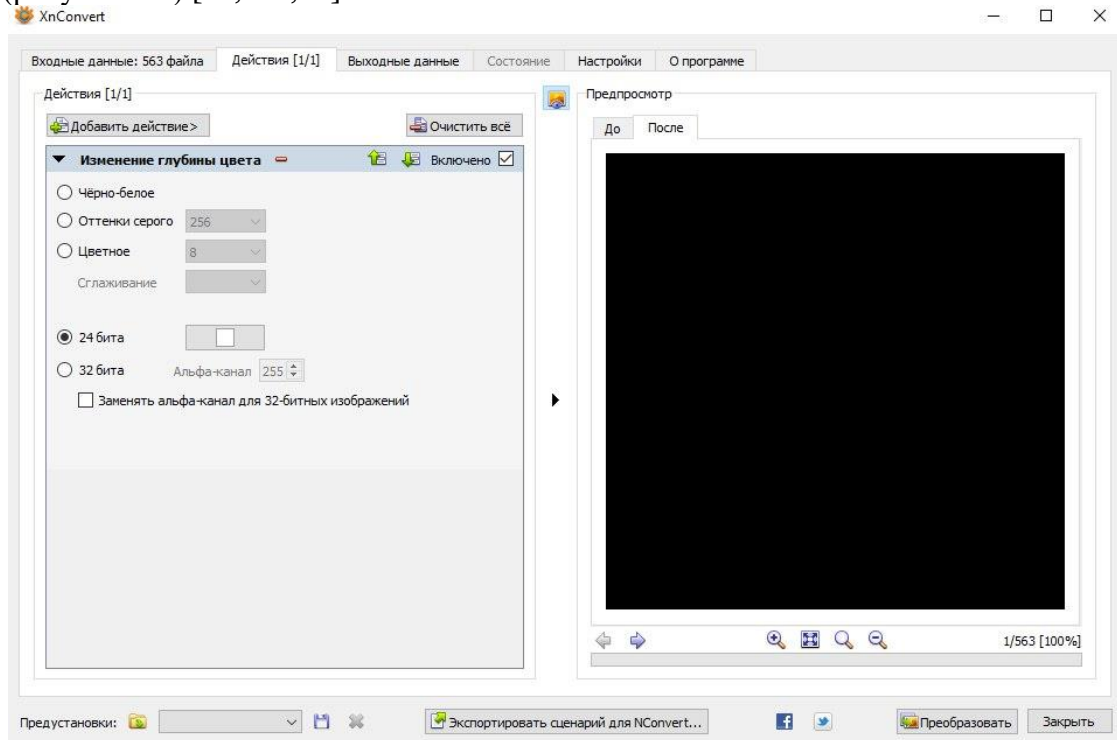


Рисунок 5.5 — Встановлення параметрів налаштування шару

В пункті вихідних даних встановлено параметри поточної назви вихідних шарів на назви вхідних без додавання регістрів. Вихідною папкою обрано заздалегідь створену папку BMP (рисунок 5.6) [17 ,19 ,22].

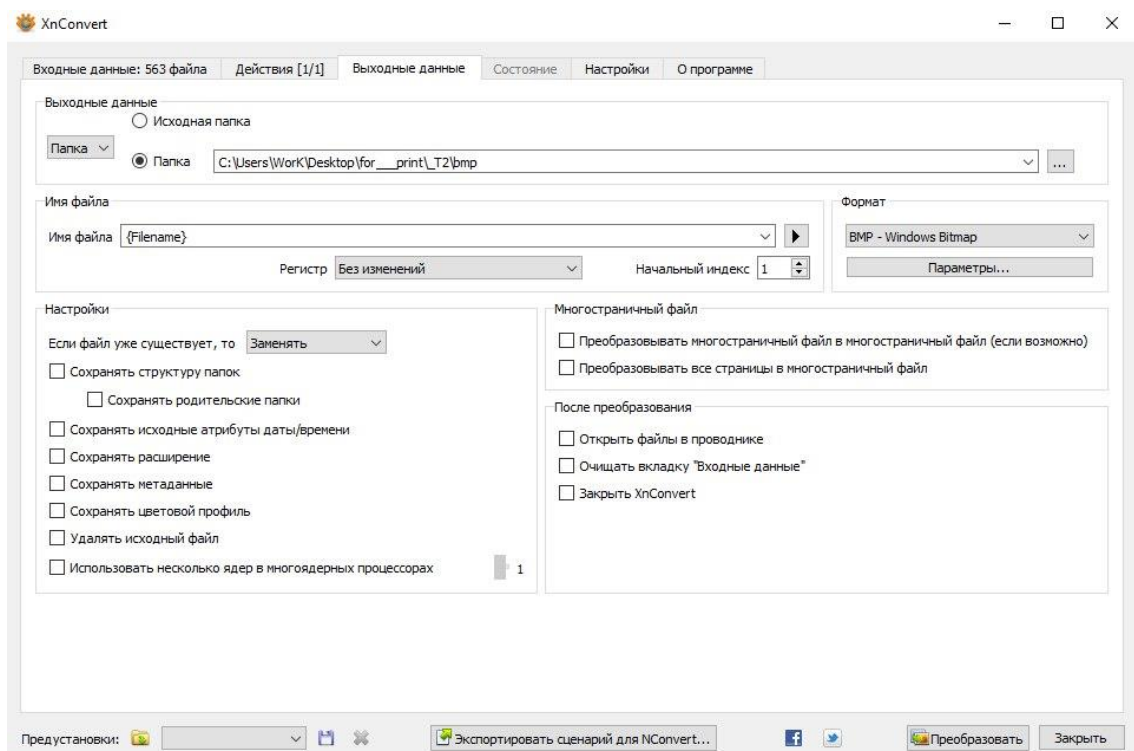


Рисунок 5.6 — Встановлення параметрів вихідного файлу.

Після підготовки шарів усі файли завантажено на SD карту (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 — Підготовка фотополімерного принтера

Перед початком роботи необхідно підготувати ванну для полімеру. Заздалегідь розмішаний фотополімер заливається у ванну у кількості в залежності від розмірів вихідної моделі. Рухомий столик необхідно обезжирити та встановити в посадкове місце. Після проведення попередніх операцій карта пам'яті встановлюється в кардрідер (рисунок 5.8). [17,19,20,].



Рисунок 5.8 — Встановлення карти пам'яті

Тумблер увімкнення проекту помічено позначкою ON (рисунок 5.9).



Рисунок 5.9 — Тумблер увімкнення проекту

Після увімкнення проекту проводиться ініціалізація карти пам'яті. Час підготовки залежить від кількості шарів проекту (рисунок 5.10).



Рисунок 5.10 — Процес ініціалізації карти пам'яті

У випадку успішної ініціалізації на дисплей виводиться зображення з інформацією щодо кількості шарів та приблизний час виконання друку (рисунок 5.11) [18, 20, ,22].



Рисунок 5.11 — Інформація щодо кількості шарів та приблизний час виконання друку

Після натискання клавіші START платформа опускається в нижнє положення та починається процес друку (рисунок 5.12).



Рисунок 5.12 — Перемикач запуску процесу друку

Після успішного виконання друку моделі рухомий столик піднімається у верхнє максимальнє положення та очікує вимкнення приладу (рисунок 5.13) [17,19,20].



Рисунок 5.13 — Останній етап виконання процесу друку

5.2 Труднощі налаштування та корекція параметрів принтера.

При виконанні друку було проведено початкове коригування та налаштування параметрів процесу друку.

Процес полімерізації поточного шару складається з декількох етапів. Кожен з них в тій чи іншій мірі впливає на якість вихідної деталі.

Серед етапів встановлено:

- 1) Підняття столика на відстань, необхідну для підготовки наступного шару. В даному етапі важлива мінімальна відстань підняття та швидкість підняття платформи. При надто великій швидкості деталь буде зриватися з платформи, тому треба організувати плавний рух по осі Z. Експериментально визначено, що мінімальна висота становить 5 мм, а швидкість відняття дорівнює 2,5 мм/сек.
- 2) Перед опусканням витримується затримка в 2 секунди для оформлення наступного рідкого шару.
- 3) Після затримки платформа попускається на відстань відмінну від попередньої на 0,05 мм. Експериментально визначено, що 1 крок крокового двигуна дорівнює 0,01 мм, тому висота підняття 5 мм дорівнює руху 500 кроків уверх, а повернення в положення наступного шару становить 495 кроків вниз.
- 4) Хоча столик вже зупиняється, через густоту полімеру організовується затримка 1 с для остаточної зупинки платформи.
- 5) Після затримки на матрицю виводиться зображення поточного шару.
- 6) Тільки після виводу зображення вмикається ультрафіолетова підсвітка.
- 7) Ультрафіолетова підсвітка вмикається на час, необхідний для твердіння поточного шару. Для початкових шарів затримка збільшується для фіксації деталі на поверхні столика [17,18,20].

При недостатньому часі засвічення перших шарів деталь починає відклеюватися від платформи. В результаті виникає деформація деталі. (рисунок 5.14).



Рисунок 5.14 — Приклад недостатнього засвічення перших шарів деталі

При надмірному засвіченні шари приймають тверду форма та втрачають клейкий підшар, який являється основою для кріплення наступного (рисунок 5.15).



Рисунок 5.15 — Приклад надмірного засвічення початкових шарів

Експериментальним шляхом встановлено, що для забезпечення нормальної фіксації, та легкого демонтажу надрукованої деталі необхідно використати 15 початкових шарів з часом засвічення 100 хвилин на шар.

- 8) Наступні шари засвічуються з меншою затримкою ніж початкові. За фізичними властивостями основні шари повинні бути достатньо надійними, що б триматися на поверхні, але при цьому достатньо клейкими, що б бути основою для наступних шарів (рисунки 5.16-5.17).

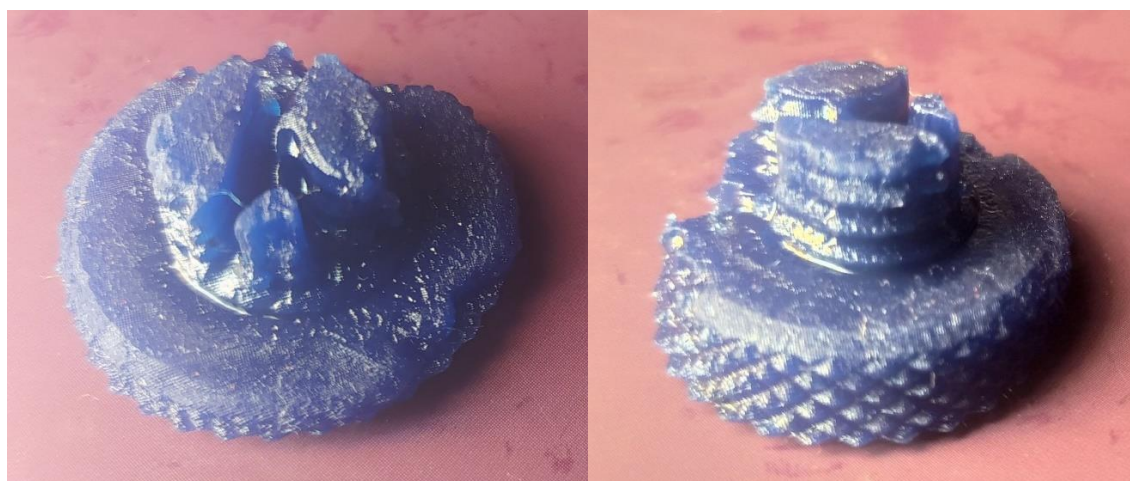


Рисунок 5.16 — Приклад надмірного засвічення головних шарів



Рисунок 5.17 — Приклад недостатнього засвічення головних шарів

Тестування проводилося з затримкою 10 с., 15 с., 20 с., 25 с., 30 с., 1 хв. В результаті тестувань визначено, що найбільш стабільні деталі отримуються при використанні затримки засвічення шару 25 с [17,19,20].

- 9) Наступним затрудненням стала деформація плівки, яка слугує прозорим дном ванни. При деформації плівки з'являються артефакти моделі, які висвітлюються на кожному наступному шарі моделі (рисунок 5.18).



Рисунок 5.18 — Приклад впливу деформації плівки на модель

5.3 Порівняльна характеристика якості друку фотополімерного принтера на апарату типу FDM.

Проведено порівняльну характеристику якості друкованих деталей на принтері FDM та фотополімерного принтеру на базі Arduino mega.

В якості FDM пристрою обрано Creality Ender 3 Pro (рисунок 5.19).



Рисунок 5.19 — 3д принтер Creality Ender 3 Pro

Характеристики принтера подано у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Технічні характеристики Creality Ender 3 Pro

Характеристика	Значення
Товщина шарів, якими друкує принтер	0,1 — 0,4 мм. (100 — 400 мікрон)
Дисплей	LCD 12864 (управління енкодером)
Максимальна швидкість друку	180 мм/с
Діаметр завантажуваного пластика	60 мм/с
Робочая температура екструдера	190 — 255 °C
Температура платформи	до 100 °C (гнучка знімна магнитна платформа «C-MAG»)
Витратні матеріали	ластик ABS, ABS PRO, coPET, PLA, PLA+, ABS+, HIPS, Elasthan D100 , Wood и др. (товщина 1,75 мм)

Проведено 4 етапи тестування з помірним збільшенням складності друку.

Першою деталлю був медальйон з нерівномірною текстурою та різномірним візерунком. Екземпляри надруковані з достатньою точністю. Якість вихідного елементу однакова, хоча на деталі надрукованій на принтері FDM спостерігається невелика кількість артефактів у вигляді пластикових нитей. Артефакти піддаються демонтажу та на вихідний результат не впливають (рисунок 5.20) [17, 21,22].



Рисунок 5.20 — Перший етап порівняльної характеристики

На другому етапі надруковано гвинт з різьбою та комплексною текстурою основи. Різьба в обох випадках в ідеальному стані. Текстура нижньої частини екземплярів не відрізняється від оригіналу (рисунок 5.21).

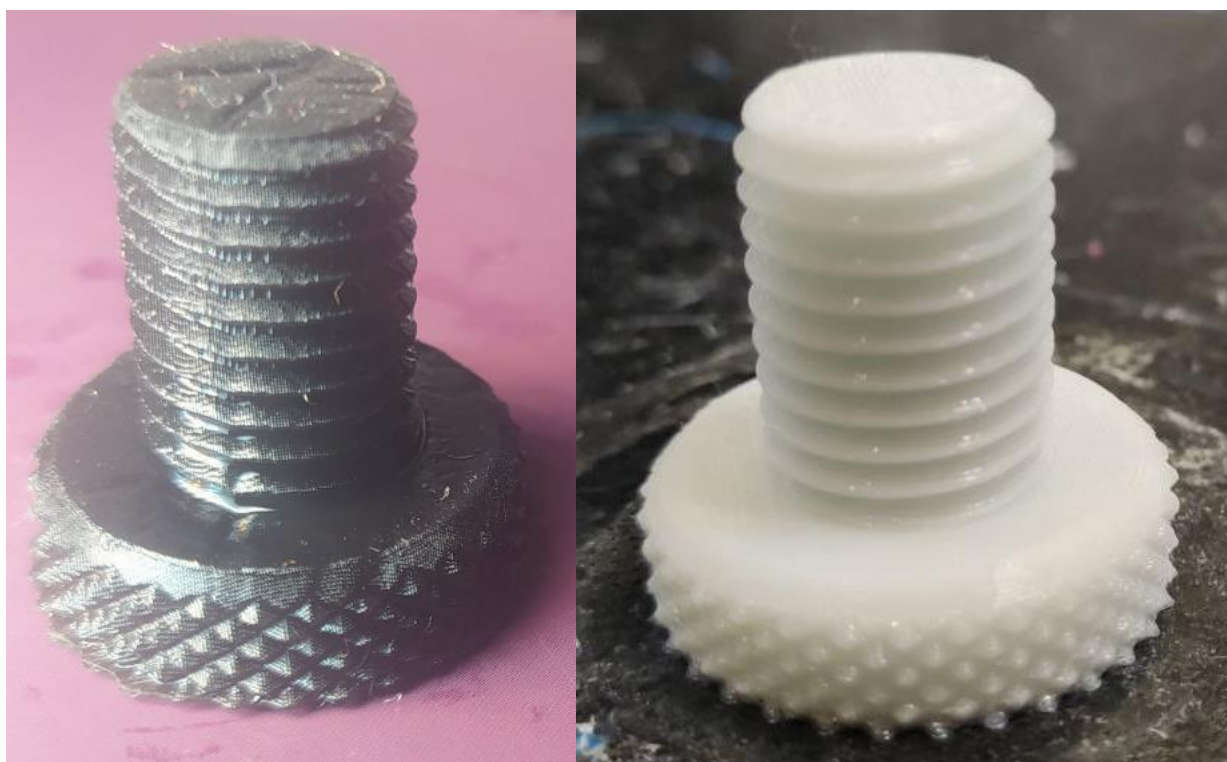


Рисунок 5.21 — Другий етап порівняльної характеристики

Встановлено, що при друці дрібних деталей без відриву якість вихідного елемента не відрізняється в обох випадках [20,21,22].

На третьому етапі модель майже не має відривів при друці, але спостерігається велика кількість перепадів по шарам (рисунки 5.22-5.23).



Рисунок 5.22 — Деталь 3-го етапу надрукована на фотополімерному принтері



Рисунок 5.23 — Деталь 3-го етапу надрукована на FDM принтері

Встановлено, що при використанні FDM принтера деталь має широховату текстуру. В місцях підвищеної складності видніються артефакти у вигляді пластикових ниток.

Для остаточного порівняння якості роботи обох принтерів обрано модель з великою кількістю перепадів шарів та з відривами на поверхні кожного етапу. Деталь має форму павука, через що під деякими елементами спостерігається повітряний простір для збільшення складності друку.

Деталь надрукована на FDM принтері організована в повному обсязі. Усі кінцівки є в наявності. Форма деталі повторюється повністю. Головним недоліком в даному випадку є необхідність відривати сопло екструдера від поверхні при переміщенні між не зв'язаними елементами шару. В цьому утворюється пластикова нитка, яка покриває усю модель повністю. При організації даний ефект зменшує якість друку. Через малі розміри елементів моделі демонтаж артефактів є небезпечним через ризик руйнування малих та крихких елементів конструкції (рисунк 5.24) [17, 19,22].



Рисунок 5.24 — Деталь 4-го етапу надрукована на FDM принтері

У випадку використання фотополімерного принтера в даній моделі відсутня необхідність припинення процесу друку на шарі. Увесь шар засвічується одночасно, через що швидкість його друку не залежність від комплексності самого шару та являється незмінною скалярною величиною. Так звані мертві зони при засвіченні повністю захищені від попадання ультрафіолетових променів. Артефактів при використанні даного методу не виявлено (рисунки 5.25-5.26).



Рисунок 5.25 — Деталь 4-го етапу надрукована на фотополімерному принтері частин 1



Рисунок 5.26 — Деталь 4-го етапу надрукована на фотополімерному принтері частин 2

Висновок:

В ході виконання п'ятого розділу кваліфікаційної роботи магістра проведено підготовку моделей для фотополімерного друку. Встановлено головні нюанси при роботі та розроблено схему коригування пристрою. Протестовано вихідні моделі у порівняння з покупним стаціонарним принтером FDM. За результатами тестів встановлено, що при друці на FDM важливу роль становить складність та комплексність поточного шару. При необхідності створення великих моделей FDM більше підходять ніж фотополімерні через велику ціну за полімер у порівнянні з пластиками типу PLA, ABS, PETG. Дрібні деталі також можна друкувати на принтерах цього типу, але при наявності необхідності відривання сопла екструдера від поточного вузла шару утворюються артефакти, які можуть вплинути на якість вихідного елемента [17 ,20 ,22].

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було проаналізовано стан тривимірного друку в наші часи та перспективи використання тривимірного моделювання в майбутньому. На сьогоднішній день 3д принтери використовуються майже в кожній сфері життєдіяльності людини. В залежності від напряму використання 3д принтери розділилися як за розмірами, так і за типом. Проведено аналіз основних типів обладнання та визначено, що хоча FDM принтер є найпоширенішим серед клієнтів він має доволі низькі характеристики повторюваності в порівнянні з іншими. Вирішено провести експеримент по проектуванню фотополімерного принтера на базі простих комплектуючих та шилдів Arduino mega. Обрано необхідні комплектуючі та елементи електричної схеми. Проведено моделювання елементів корпусу використовуючи додаток 3ds max. На основі моделей надруковано деталі на fdm принтері. Всі елементи підготовлено та об'єднано в загально конструкцію. Налаштовано силові напруги живлення модулів. Підготовлено скетч коду в додатку Arduino ide з використанням бібліотек головних модулів принтера. За допомогою програмних засобів підготовлено моделі для фотополімерного друку. Проведено коригування параметрів друку в залежності від характеристик саморобного принтера.

Проведено порівняльну характеристику друку тривимірних моделей на FDM принтері та фотополімерному принтері на базі Arduino. Встановлено, що якість друку на FDM принтері в першу чергу залежить від складності поточного шару. Деталі, які мають рівномірне заповнення шарів без наявності пустих областей друкуються добре. За рахунок того, що матеріал плавиться в екструдері навіть в моменти зупинки протяжки пластику на моделях з'являються артефакти друку у вигляді тонких нитей пластику. При фотополімерному друці увесь шар рівномірно засвічується ультрафіолетом. Через таку кардинальну відмінність при друці цим методом швидкість та якість вихідної деталі взагалі не залежить від пустих областей. Елементи підтримки при фотополімерному друці відрізняються від аналогів за методом FDM, за властивостями вони компактніші та мають меншу кількість точок контакту з деталлю через що полегшено їх демонтаж.

За експериментом зроблено, що при створенні елементів кріплення, або доволі великих деталей, краще використовувати FDM принтер. В скульптурній промисловості він також може використовуватись, але деталі складних форм при маленьких розмірах можуть виводитися з артефактами та нерівномірною текстурою. Фотополімерні принтери мають діаметрально протилежні переваги та недоліки. Вони не підходять для друку великих опорних деталей через надто високу ціну за полімер, але проявляють неймовірну точність при моделюванні невеликих, але комплексних скульптур [17,18,19,20,21,22].

					КНУ.РМ.123.22.02.В			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Вороной							
Перевірив	Кузнецов							
Н.контроль	Кузнецов					КІ-21-М		
Затвердив	Купін							

СПИСОК ВИКОРСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Розвиток технології 3-D друку [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://phm.cuspu.edu.ua>.
2. Перспективи та майбутнє 3D-друку [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/70-perspektivy-i-budusshee-3d-pechati>.
3. ЗАСТОСУВАННЯ 3D ПРИНТЕРІВ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://naurok.com.ua/zastosuvannya-3d-printeriv-v-navchalnih-zakladah-219477.html>.
4. Людські органи на принтері, роботизовані протези і 3D-моделі частин тіла: медицина майбутнього в Україні та світі [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://thepharma.media/publications/articles/18766-ljudski-organi-na-printeri-robotizovani-protezi-i-3d-modeli-chastin-tila-medicina-majbutnogo-v-ukraini-ta-sviti>.
5. Революція 3D-друку в Україні: майбутнє вже сьогодні [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/news/2014/08/12/482194/>.
6. Перспективи застосування 3D-друку в легкій промисловості [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <http://maees.khnu.km.ua>.
7. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ І ПРОБЛЕМИ 3D-ДРУКУ [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://ekmair.ukma.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12990/Androshchuk_Adytyvni_tekhnolohii.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
8. NEMA17 Datasheet, Equivalent, stepper motor [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://datasheetspdf.com/pdf/1260602/Schneider/NEMA17/1>.
9. MEGA2560 Datasheet, PDF [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Mega2560&gclid=Cj0KCQiA1NebBhDDARIsAANiDD3kunfvWBkC_a0RtWji94DdvAYbxUMq lu7v8oTy9BfOpM4ddhHHzuMaAvBaEALw_wcB.
10. TFT Datasheet, PDF [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Tft%20datasheet&gclid=Cj0KCQiA1NebBhDDARIsAANiDD1PuY8E>

					КНУ.РМ.123.22.02.СВД			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ДОДАТКИ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Вороной							
Перевірів	Кузнєцов							
Н.контроль	Кузнєцов					KI-21-M		
Затвердив	Купін							

- 11.OLED-128O064D-BPP3N00000 128 x 64 Graphic OLED [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.vishay.com/docs/37902/oled128o064dbpp3n00000.pdf>.
- 12.DRV8825 Stepper Motor Controller IC [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf?ts=1668724248105&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com
- 13.Модуль SD карти и Arduino [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino-diy.com/arduino-SD-karta>.
- 14.3ds Max - Autodesk Knowledge Network [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://knowledge.autodesk.com>.
- 15.SD SPI модуль зчитування карт для ARDUINO [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://3v3.com.ua/product_7400.html
- 16.Підключення DRV8825 до Arduino [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino-ide.com/modules/22-podkljuchenie-drv8825-k-arduino.html>
- 17.TFT LCD 480x320 резистивний сенсорний екран від Waveshare [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/ru/prod4896-3-5-tft-lcd-480x320-rezistivnii-sensornii-ekran-ot-waveshare>.
- 18.Порівняльна таблиця, основних характеристик 3D принтерів Подробнее: <https://pro3d.com.ua/a424139-porivnyalna-tablitsya-osnovnih.html> [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://pro3d.com.ua/a424139-porivnyalna-tablitsya-osnovnih.html>.
- 19.Як працює 3D-принтер: огляд 5 матеріалів і технологій [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.moyo.ua/ua/news/kak_rabotaet_3d-printer_obzor_5_materialov_i_tekhnologiy.html.
- 20.ЯК ОБРАТИ ТЕХНОЛОГІЮ ДЛЯ НАСТІЛЬНОГО 3D-ДРУКУ: FDM, SLA I SLS. ШВИДКІСТЬ [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://3ddevice.com.ua/uk/blog/tekhnolohii-druku-3d-printeriv>
- 21.ТЕХНОЛОГІЇ ФОТОПОЛІМЕРНОГО 3D-ДРУКУ: ОПИС, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://monofilament.com.ua/ua/blog-novini-3d-druku-ta-additivnih-tehnologij/sla-dlp-lcd-tehnologiji-fotopolimernogo-3d-druku-opis-perevagi-ta-nedoliki>
- 22.3D-друк FDM. Пояснення простими словами [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://3d4u.com.ua/uk/blog/post/103-d-pechat-fdm-obyasnenie-prostymi-slovami>.

ДОДАТКИ

Додаток А — Програмний код проекту

```

#include <TFT_HX8357.h>
#include <SD.h>
#include "DRV8825.h"
#include <OLED_I2C.h>

TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357();
DRV8825 stepper;
OLED myOLED(SDA, SCL, 8);

#define SDC_CS 53
#define BU_BMP 1
#define TD_BMP 0

extern uint8_t SmallFont[];

const int buttonStart = 10;
const int buttonUp = 13;
const int buttonDown = 9;
const int UV_led = 11;

char LayerName[50] = "1.bmp";

int alltime;
int LayerCount = 1;
const int TimeLight = 25000;

const int Pause = 10000;
void setup()
{
    myOLED.begin();
    myOLED.setFont(SmallFont);
    myOLED.clrScr();
    digitalWrite(UV_led, HIGH);
    stepper.begin(4, 5);

```

					КНУ.РМ.123.22.02.Д			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	ДОДАТКИ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Вороной							
Перевірив	Кузнецов							
Н.контроль	Кузнецов							
Затвердив	Купін				КІ-21-М			


```

pinMode(buttonUp, INPUT);
pinMode(buttonStart, INPUT);
pinMode(buttonDown, INPUT);
pinMode(UV_led, OUTPUT);

Serial.begin(38400);
delay(4000);
tft.init();

myOLED.print("Initialising. ", CENTER, 20);
myOLED.update();
delay(1000);
myOLED.print("Initialising.. ", CENTER, 20);
myOLED.update();
delay(1000);
myOLED.print("Initialising...", CENTER, 20);
myOLED.update();
delay(2000);

Serial.print(F("Initialising SD card..."));

if (!SD.begin(SDC_CS))
{
    myOLED.clrScr();
    myOLED.print("SD card not found!", CENTER, 16);
    myOLED.print("Please set SD card", CENTER, 32);
    myOLED.print("and reboot printer...", CENTER, 45);
    myOLED.update();

    while(true){ }
}
while(SD.exists(LayerName))
{
    String b;
    LayerCount+=1;
    b = String(LayerCount)+".bmp";
    b.toCharArray(LayerName,50);
}

Serial.print(String(LayerCount));

myOLED.clrScr();
myOLED.print("SD card found!", CENTER, 0);
myOLED.print("Contains "+String(LayerCount-1)+" layers", CENTER, 16);
alltime = ((LayerCount-1)*(TimeLight/1000)+10*(TimeLight/1000))/60;
myOLED.print("Oriented print time: ", CENTER, 27);
myOLED.print( String(alltime)+" min", CENTER, 38);
myOLED.print( " Press START button...", CENTER, 57);
myOLED.update();

tft.setRotation(3);
tft.fillScreen(TFT_BLACK);

```

```

delay(2000);
}

void loop()
{

while(digitalRead(buttonStart) == LOW){}

stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE);//down
while(digitalRead(buttonDown) == LOW)
{
    stepper.step();
    delay(1);
}

for(int i = 1;i<LayerCount;i++)
{

    myOLED.clrScr();
    myOLED.print("Layers left: "+String(LayerCount-i), CENTER, 0);
    myOLED.print("Time left: "+String(alltime-(((i-1)*(TimeLight/1000))/60))+ " min", CENTER,
25);
    myOLED.print("Lift: 5 mm", CENTER, 40);
    myOLED.print("Illumination: "+ String(TimeLight/1000)+" s", CENTER, 40);
    myOLED.update();

    stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE);//up
    for (int i = 0; i < 500; i++)
    {
        stepper.step();
        delay(5);
    }
    delay(1500);
    stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE);//down
    for (int i = 0; i < 495; i++)
    {
        stepper.step();
        delay(5);
    }

    char Buf[50];
    String b;
    b = String(i)+".bmp";
    Serial.println(b);
    b.toCharArray(Buf,50);
    Serial.println(Buf);
    drawBMP(Buf, 0, 0, BU_BMP);

    digitalWrite(UV_led, LOW);
    delay(TimeLight);

    if(i<15){delay(TimeLight);delay(TimeLight);delay(TimeLight);}

```

```

digitalWrite(UV_led, HIGH);

if(digitalRead(buttonStart) == HIGH)
{
    stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE);//up
    for (int j = 0; j < Pause; j++)
    {
        stepper.step();
        delay(1);
    }

    while(digitalRead(buttonStart) == LOW){}

    stepper.setDirection(DRV8825_CLOCK_WISE);//down
    for (int j = 0; j < Pause; j++)
    {
        stepper.step();
        delay(1);
    }
    delay(2000);
}
}
stepper.setDirection(DRV8825_COUNTERCLOCK_WISE);
while(digitalRead(buttonUp) == LOW)
{
    stepper.step();
    delay(1);
}

myOLED.clrScr();
myOLED.print("PRINTING IS ENDED", CENTER, 30);
myOLED.print("Please off printer", CENTER, 55);
myOLED.update();
while(true){}

}

```