

Міністерство освіти і науки України

Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Відділення інформаційних технологій, менеджменту, туризму
та підготовки іноземних громадян

(назва відділення)

Циклова комісія комп'ютерної інженерії

(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

фахового молодшого бакалавра

(освітньо-професійного ступеня)

на тему: **Розробка проєкту технічного обслуговування 3D принтера
Dremel Digilab 3D40-FLX**

Виконав: студент IV курсу, групи KI-418ск

Спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Володимир ДОВГИЙ
(ім'я та прізвище)

Керівник Людмила ЦИМБАЛЮК
(ім'я та прізвище)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище)

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ»**

Відділення **інформаційних технологій, менеджменту, туризму
та підготовки іноземних громадян**

Циклова комісія **комп'ютерної інженерії**

Освітньо-професійний ступінь **фаховий молодший бакалавр**

Освітньо-професійна програма: **Обслуговування комп'ютерних систем і мереж**

Спеціальність: **123 Комп'ютерна інженерія**

Галузь знань: **12 Інформаційні технології**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова циклової комісії
комп'ютерної інженерії

_____ Андрій ЮЗЬКІВ

“30” березня 2026 року

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

Довгому Володимирі Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

**Розробка проєкту технічного обслуговування 3D принтера Dremel
Digilab 3D40-FLX**

керівник роботи **Цимбалюк Людмила Володимирівна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя» від 27.03.2026р № 4/9-167.

2. Строк подання студентом роботи: **15 червня 2026 року.**

3. Вихідні дані до роботи: **завдання на проєктування, пристрій обслуговування, технічна документація до пристрою обслуговування**

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Загальний розділ. Спеціальний розділ. Економічний розділ. Охорона праці та безпека життєдіяльності.

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

- структурна схема пристрою обслуговування;
- блок-схема алгоритму пошуку;
- таблиця несправностей та їх усунення;
- таблиця техніко-економічних показників.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Богдана МАРТИНЮК викладач		
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Володимир ШТОКАЛО викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	31.03	
2	Збір і узагальнення інформації	08.05	
3	Написання першого розділу	15.05	
4	Розробка технічного та робочого проєкту	22.05	
5	Написання спеціального розділу	28.05	
6	Розрахунок економічної частини	1.06	
7	Написання розділу охорони праці	3.06	
8	Виконання графічної частини	8.06	
9	Оформлення проєкту	10.06	
10	Погодження нормоконтролю	11.06	
11	Попередній захист роботи	12.06	
12	Захист кваліфікаційної роботи		

7. Дата видачі завдання: 31 березня 2026 року

Студент

(підпис)

Володимир ДОВГИЙ
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Людмила ЦИМБАЛЮК
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Довгий В.В. Розробка проєкту технічного обслуговування 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2026. 92 с.

У роботі розглянуто принципи функціонування сучасних адитивних технологій, основні етапи підготовки моделей до друку. Проведено аналіз програмного забезпечення типу слайсер, що використовується для перетворення тривимірних моделей у набір команд для друку. Наведено рекомендації щодо вибору матеріалів та оптимізації технологічного процесу з метою підвищення точності друку та зменшення витрат часу і матеріалів.

Ключові слова: 3D-принтер, філамент, слайсер, друк, адитивні технології, тривимірна модель, прототипування.

ABSTRACT

Dovgy V. Development of a technical maintenance project for the 3D printer Dremel Digilab 3D40-FLX: qualification work for obtaining the educational and professional degree of a junior bachelor in the specialty 123 Computer Engineering. Ternopil: VSP "TFK TNTU", 2026. 92 p.

The paper considers the principles of functioning of modern additive technologies, the main stages of preparing models for printing. An analysis of slicer-type software used to convert three-dimensional models into a set of commands for printing is carried out. Recommendations are given for the selection of materials and optimization of the technological process in order to increase printing accuracy and reduce time and material consumption.

Keywords: 3D printer, filament, slicer, printing, additive technologies, three-dimensional model, prototyping.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Аналіз технічного завдання.....	8
1.1.1 Найменування та призначення пристрою обслуговування.....	8
1.1.2 Аналіз вихідних даних.....	8
1.1.3 Опис елементів керування пристрою.....	11
1.1.4 Вимоги перед початком застосування.....	16
1.2 Загальні відомості про об'єкт обслуговування.....	16
1.2.1 Огляд технологій 3D-друку	16
1.2.2 Етапи 3D-друку.....	25
1.3 Основні техніко-економічні показники.....	30
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	32
2.1 Налаштування роботи 3D-принтера.....	32
2.1.1 Робота в Dremel Digilab 3D Slicer.....	32
2.1.2 Вирівнювання робочої платформи.....	40
2.1.3 Інструкція із застосування клею.....	42
2.1.4 Знімання готового виробу.....	43
2.1.5 Калібрування зазору форсунки.....	45
2.2 Усунення помилок роботи 3D-принтера.....	49
2.2.1 Заміна затискача платформи.....	49
2.2.2 Заміна вирівнюючого кронштейна.....	51
2.2.3 Заміна датчика закінчення нитки.....	57
2.2.4 Очищення екструдера.....	59
2.2.5 Заміна екструдера.....	64
2.2.6 Послідовність виявлення та усунення несправностей.....	69

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ														
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата															
Розроб.		Довгий В.В.			Розробка проекту технічного обслуговування 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX Пояснювальна записка				Літ.		Арк.		Аркушів						
Перевір.		Цимбалюк Л.В.									5		90						
Реценз.																			
Н. Контр.		Приймак В.А.																	
Затверд.																			
														ВСП «Тернопільський фаховий коледж» ТНТУ ім. Івана Пулюя гр. КІ-418ск, м. Тернопіль					

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	71
3.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР.....	71
3.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи.....	72
3.3 Розрахунок матеріальних витрат.....	74
3.4 Розрахунок витрат на електроенергію.....	75
3.5 Визначення транспортних затрат.....	76
3.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань.....	76
3.7 Обчислення накладних витрат.....	77
3.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР.....	77
3.9 Розрахунок ціни НДР.....	78
3.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	79
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	81
4.1 Інструкція щодо безпечних прийомів роботи з нагрівальними елементами (екструдером) для запобігання термічним опікам при обслуговуванні 3D принтера Dremel Digilab 3D40-FLX	81
4.2 Аналіз видів електричних травм при експлуатації 3D-принтерів та організація домедичної допомоги	84
4.3 Захист повітряного середовища від токсичних продуктів плавлення полімерних матеріалів (PLA, ABS).....	88
ВИСНОВОК.....	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	92

ВСТУП

Тема кваліфікаційної роботи – «Розробка проєкту технічного обслуговування 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX». Метою є детальний опис структури, технічних характеристик, конструкції та принципів роботи, процесу технічного обслуговування та ремонту цієї моделі 3D-принтера. Основною задачею кваліфікаційної роботи є розробка методу виявлення та усунення несправностей цього пристрою та забезпечення його довготривалої та безвідмовної роботи.

Перенесення графічної та текстової інформації на різні типи носіїв завжди було актуальним питанням. До таких носіїв належать, серед інших, папір і плівка. І сьогодні технології друку розвиваються дуже швидко – матричний друк, струменевий, лазерний.

Але поява об'ємного, або 3D, друку, тобто об'єкт створюється в просторі з твердого матеріалу, найкраще дозволила нам виділити форму та сутність об'єкта.

3D-друк допомагає створювати окремі моделі об'єктів та цілі збірки. Гарне обладнання та матеріали роблять 3D-принтери корисними в багатьох сферах – машинобудуванні, архітектурі, медицині, кулінарії тощо.

Наразі існує кілька різних технологій 3D-друку, що використовуються принтерами, тому в цій кваліфікаційній роботі було розроблено комплекс заходів щодо технічного обслуговування та ремонту 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX та розраховано економічну доцільність обслуговування цієї моделі.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Цей розділ містить загальну інформацію про об'єкт кваліфікаційної роботи (3D-принтер Dremel Digilab 3D40-FLX) — особливості роботи, сферу застосування. Описано існуючі методи друку та метод створення тривимірного зображення. Також представлено основні техніко-економічні показники — з особливим акцентом на конструктивні особливості цієї моделі, що забезпечують високу якість та продуктивність роботи.

Поясніть, як влаштований принтер, опишіть інструменти, необхідні для технічного обслуговування, та поясніть основи вибору інструментів.

1.1 Аналіз технічного завдання

1.1.1 Найменування та призначення пристрою обслуговування

Ця кваліфікаційна робота базується на 3D-принтері Dremel Digilab 3D40-FLX, розробленому компанією DREMEL. Ця модель рекомендована для кваліфікації для можливого широкого використання в середніх компаніях та підприємствах.

3D-принтер Dremel Digilab 3D40-FLX призначений для виведення графічної інформації у твердій тривимірній формі, в монохромному режимі з високою швидкістю друку, реалістичністю моделі та якістю друку. Його можна використовувати як в економічному, так і в реалістичному режимах друку.

1.1.2 Аналіз вихідних даних

Загальний вигляд 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX показано на рисунку 1.1.

Ключові технічні характеристики 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX [9] детально описані в таблиці 1.1.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

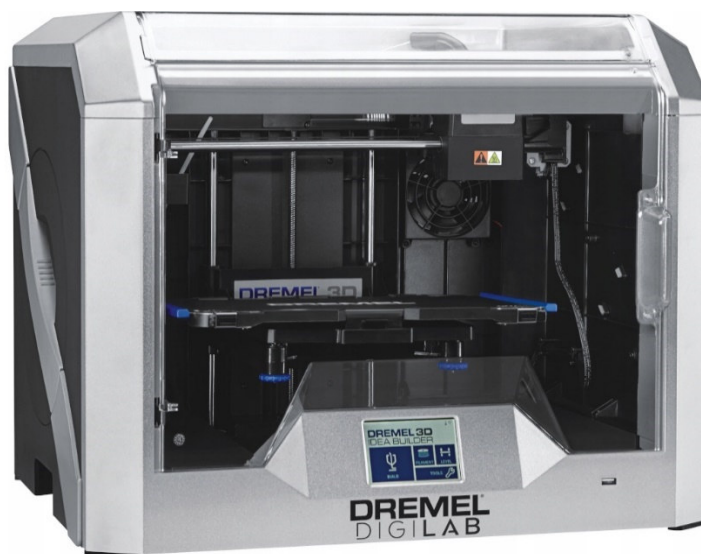


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд 3D принтера Dremel Digilab 3D40-FLX

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики 3D принтера Dremel Digilab 3D40-FLX.

Опис характеристики	Значення
1	2
Екструдер:	одинарний
Температура сопла екструдера	до 280°C
Температура на технологічній платформі	до 100°C
Інтерфейс	кольорова сенсорна панель IPS 3,5"
Максимальні габарити друку	254x152x170 мм
Товщина шару накладання	100 мкм
Тип нитки	PLA
Пам'ять: - вбудована: - зовнішня:	8 Гб флеш-накопичувач USB
Маса (без котушки)	16 кг
Габарити принтера	407x515x390 мм

Продовження таблиці 1.1

1	2
Операційні системи	Apple® Mac® OS® X v10.9 або Mavericks; Microsoft Windows 7 SP1, 8, 8.1, 10
Мінімальні вимоги до системи: - центральний процесор - пам'ять - місце на жорсткому диску: - відеоадаптер	64-біт рекомендується 4 Гб або більше мінімально 2 Гб 1,024 Мб GDDR або вище
Живлення	100-240 В; 47-60 Гц; 0,85-2,3 А
Зовнішні умови	температура приміщення 16-29 °С

Опис функціональних вузлів принтера представлено на рисунку 1.2.

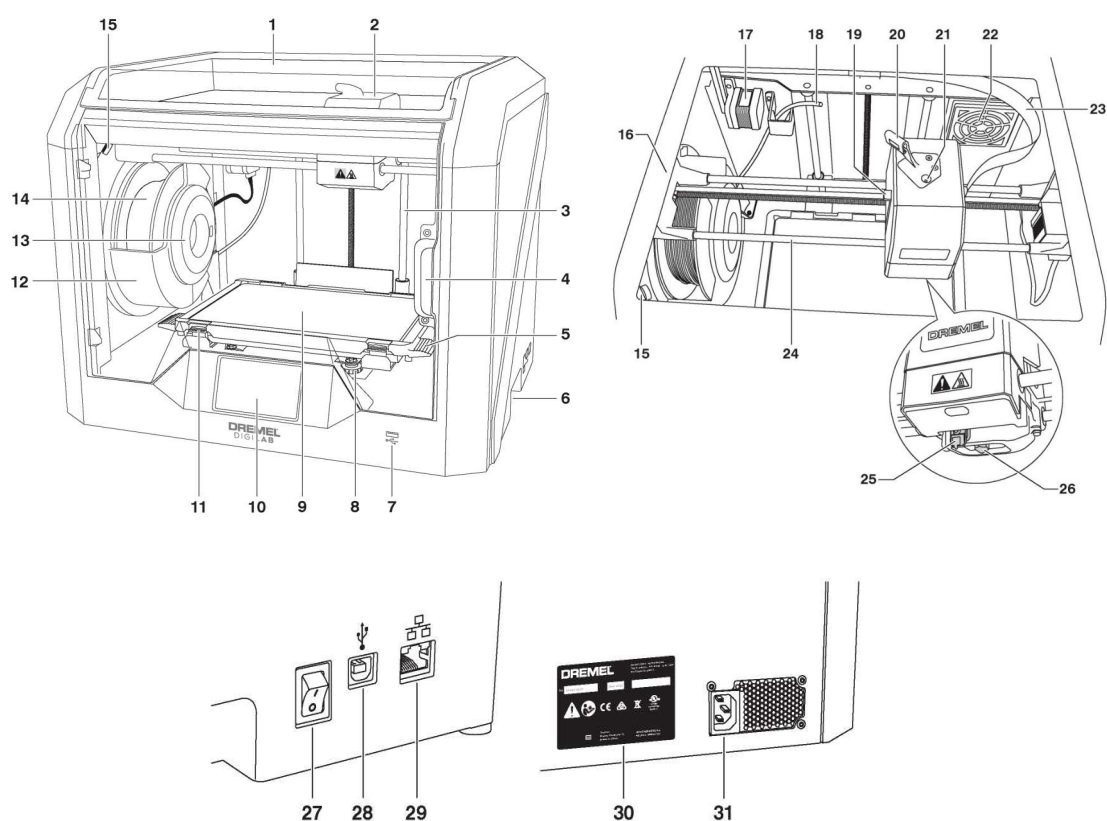


Рисунок 1.2 - Опис функціональних вузлів принтера,

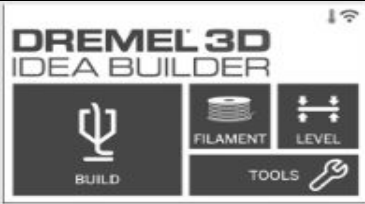
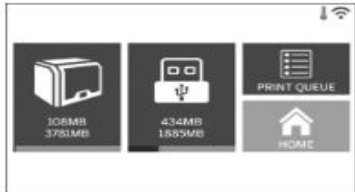
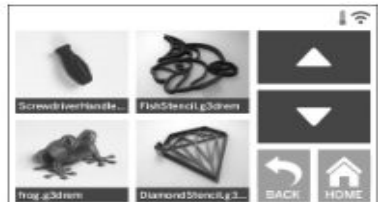
де:

- | | |
|--|---|
| 1. Верхня кришка. | 17. Кроковий двигун |
| 2. Екструдер. | 18. Патрубок направляючої нитки. |
| 3. Направляюча осі Z. | 19. Важіль екструдера. |
| 4. Дверка. | 20. Затискач направляючої нитки. |
| 5. Виступи технологічної платформи. | 21. Вхід екструдера. |
| 6. Транспортні ручки. | 22. Охолодження камери друку із фільтром. |
| 7. Порт USB A. | 23. Шлейф. |
| 8. Регулятори установки рівня. | 24. Направляюча осі X. |
| 9. Технологічна платформа. | 25. Датчик положення рівня. |
| 10. Сенсорна панель. | 26. Сопло екструдера. |
| 11. Фіксатори технологічної платформи. | 27. Вимикач живлення |
| 12. Барабан для котушки з ниткою. | 28. Порт USB B. |
| 13. Пристрій зчитування міток. | 29. Порт RJ-45 |
| 14. Котушка з ниткою. | 30. Табличка заводу виробника. |
| 15. Камера друку. | 31. Роз'єм живлення. |
| 16. Направляюча осі Y. | |

1.1.3 Опис елементів керування пристрою

Опис опцій керування принтером із сенсорної панелі [2] представлено в таблиці 1.2, а характеристика піктограм повідомлень сенсорної панелі представлена у таблиці 1.3.

Таблиця 1.2. - Опис засобів керування принтером

Зображення	Опис
1	2
	BUILD (СТВОРИТИ) Вибір тривимірної моделі і початок процесу друку.
	МЕНЮ BUILD (СТВОРИТИ) Вибір шляху файлу та черги друку.
	МЕНЮ MODEL (МОДЕЛЬ) Вибір потрібної моделі.
	FILE DETAILS (ВІДОМОСТІ ПРО ФАЙЛ) Вибір температури пластини основи та сопла екструдера. BUILD (Створити) —початок процесу друку. DELETE (Видалити) —видалення файлу із пам'яті. COPY TO PRINTER (СКОПІРОВАТИ НА ПРИНТЕР) —копіювання файл моделі із флеш-накопичувача в пам'ять принтера.
	BUILD STATUS (СТАТУС СТВОРЕННЯ) STOP (СТОП) —зупинка поточного друку. PAUSE/PLAY (ПАУЗА/ВІДТВОРЕННЯ) —пауза або відновлення поточного друку.
	FILAMENT (НИТКА) Старт нагріву та процесу завантаження чи заміни нитки.

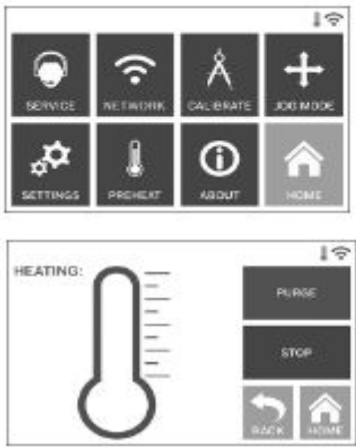
Продовження таблиці 1.2.

1	2
 	LEVEL (ВИСТАВЛЕННЯ ЗА РІВНЕМ) Виставлення положення технологічної платформи по рівню
	TOOLS (ІНСТРУМЕНТИ) Додаткові функції принтера.
 	SERVICE (СЕРВІС) Сервісне меню принтера.
 	NETWORK (МЕРЕЖА) Включення або виключення доступу до мережі Wi-Fi. CONNECT WIFI (ПІДКЛЮЧИТИСЯ ЧЕРЕЗ БЕЗПРОВІДНИЙ ДОСТУП) — Підключення до з'єднання Wi-Fi. SET PROXY (НАЛАШТУВАТИ ПРОКСІ-СЕРВЕР) — Налаштування проксі-сервера. SET STATIC IP (Вказати статичну IP-адресу) — встановлення статичної IP-адреси.

Продовження таблиці 1.2.

1	2
	CALIBRATE (КАЛІБРУВАННЯ) Калібрування екструдера та технологічної платформи відносно нульового положення.
	JOG MODE (ШТОВХАЛЬНИЙ РЕЖИМ) Ручне переміщення екструдера та платформи по осях X, Y, Z.
	SETTINGS (НАЛАШТУВАННЯ) LANGUAGE (МОВА) - вибір мови меню. DISPLAY (ДИСПЛЕЙ) — налаштування індикації або гарячих клавіш меню. ЗВУК — ввімкнення/вимкнення подачі звукових сигналів. TOKEN (МАРКЕР) — установка поточного маркера. ADVANCED MODE (РОЗШИРЕНИЙ РЕЖИМ) — установка пріоритетів налаштувань GCode. FACTORY RESET (ПОВЕРНЕННЯ ДО ЗАВОДСЬКОГО НАЛАШТУВАННЯ) — скидання налаштувань до заводських.

Продовження таблиці 1.2.

1	2
	PREHEAT (ПОПЕРЕДНИЙ НАГРІВ) Ввімкнення попереднього нагріву екструдера із наступним розігрівом технологічної платформи. PURGE (ПРОДУВАННЯ) — продавлювання нитки вручну.
	ABOUT (ПРО ПРИСТРІЙ) Інформація про принтер 3D40.

Таблиця 1.3 - Піктограми сенсорної панелі

Зображення	Опис
1	2
	Виникла помилка: наприклад, закінчилася нитка або не закриті дверцята.
	Здійснено підключення до Ethernet.
	Рівень сигналу Wi-Fi, піктограма світиться синім при включенні Wi-Fi.
	Низька температура екструдера та технологічної платформи (холодні).
	Середня температура екструдера та технологічної платформи (теплі).
	Висока температура екструдера та технологічної платформи (гарячі).
	принтер підключено до служб 3DPrinterOS, що дозволяє йому отримувати команди дистанційно.

1.1.4 Вимоги перед початком застосування

Перед кожним використанням перевіряйте всі деталі та компоненти на наявність будь-яких перекосів або заклинювання рухомих частин. Не торкайтеся головки екструдера або нагрівальної пластини працюючого Dremel Digilab 3D40, коли вони гарячі. Зачекайте, поки вони охолонуть до 60°C або нижче.

Принтер Dremel Digilab 3D40-FLX слід розміщувати на рівній, негорючій поверхні, поблизу якої немає легкозаймистих або небезпечних матеріалів. Навколо Dremel Digilab 3D40-FLX завжди має бути щонайменше 20 см вільного простору. Як матеріал можна використовувати лише філамент Dremel. Котушку можна замінити після завершення створення моделі, коли друк зупинено або призупинено. Це можна зробити під час створення моделі, що зупинить процес створення та може пошкодити екструдер. Не виймайте філамент, доки на сенсорній панелі не з'явиться відповідний індикатор, оскільки це може пошкодити екструдер.

Наносьте клей Dremel на обробну платформу перед кожною роботою. Будьте особливо обережні та переконайтеся, що обробна платформа не подряпана під час видалення об'єкта, оскільки будь-яка подряпина означатиме неправильне виготовлення. Не згинайте та не скручуйте під час зняття моделей. Це може призвести до відокремлення загартованої скляної площини від пластикового тримача.

1.2 Загальні відомості про об'єкт обслуговування

1.2.1 Огляд технологій 3D-друку

3D-друк – це повторення серії операцій з формування тривимірних моделей з використанням витратних матеріалів тонкими шарами, що наносяться на робочий стіл, переміщення самого столу на висоту шару, що формується, та зняття готової моделі з поверхні робочого столу. Режими друку безперервно змінюють

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

один одного: кожен наступний шар матеріалу накладається на попередній, потім стіл знову опускається і все повторюється, доки готова модель не буде отримана на елеваторі (робочому столі). На сучасному етапі існує кілька технологій 3D-друку, що відрізняються типом матеріалу прототипу та способом його нанесення. Найпоширеніші на практиці технології об'ємного друку включають стереолітографію, лазерне порошкове спікання, струменеве моделювання, пошарове нанесення розплавленого полімерного філаменту, порошкове склеювання, ламінування листових матеріалів та УФ-опромінення через фототрафарет.

Стереолітографія (стереолітографічний апарат) або скорочено SLA стала найпопулярнішою з 3D-технологій завдяки низькій вартості друку. Технологія SLA полягає в тому, що система сканування спрямовує лазерний промінь на фотополімер (див. рис. 1.3).

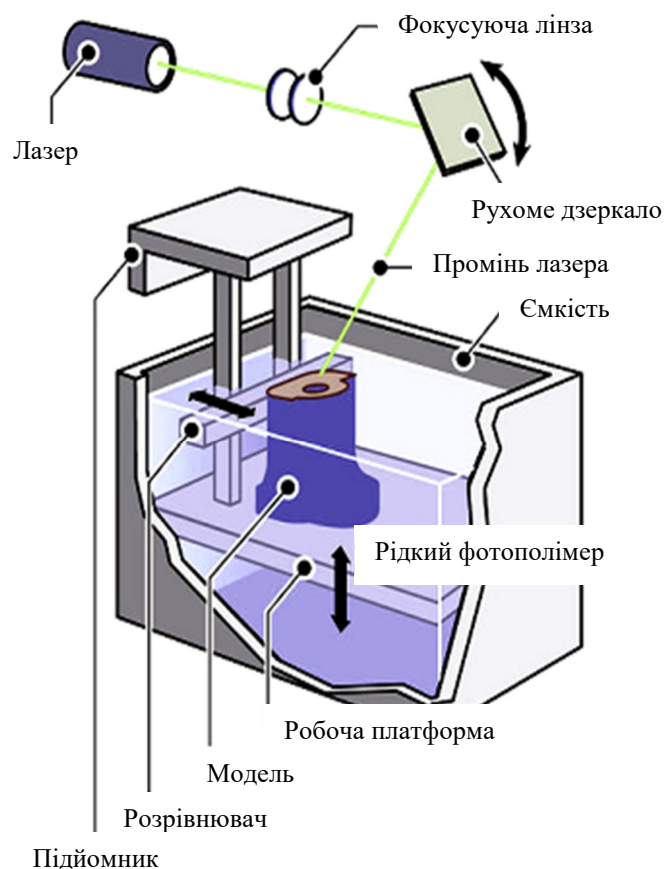


Рисунок 1.3 – Технологія SLA

Під його впливом матеріал затвердіє. Це крихкий, твердий і напівпрозорий матеріал фотополімерного типу, який деформується під впливом атмосферної вологи. Такий матеріал легко склеювати, обробляти та фарбувати. Елеватор поміщають у контейнер з фотополімерним композитом. Після того, як лазерний промінь освітлює його та наступний шар затвердіє, його робочу поверхню опускають на 0,025 мм - 0,3 мм.

Найбільшим виробником обладнання для SLA-друку є 3DSystem, Stereolithographtechник GmbH. Приклад SLA-друку показано на рисунку 1.4.

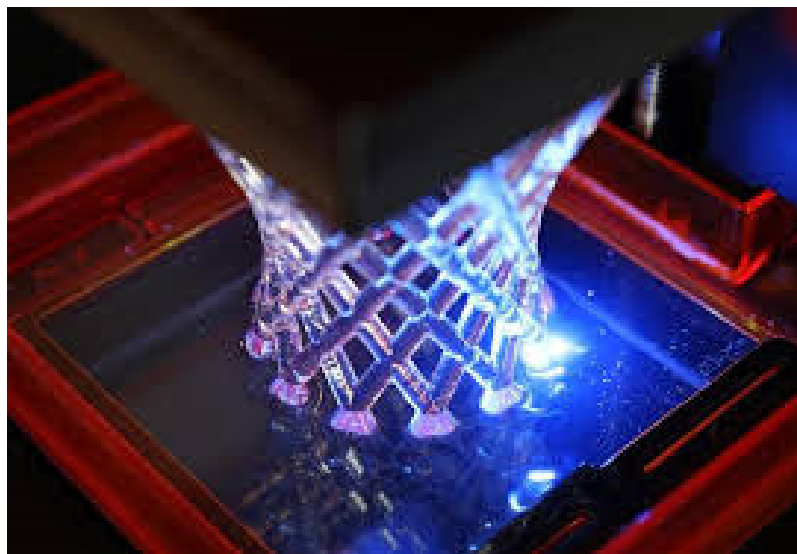


Рисунок 1.4 - Приклад SLA-друку

Лазерне спікання порошкових матеріалів – це технологія 3D-друку, яка дозволяє створювати як металеві, так і пластикові форми (селективне лазерне спікання або SLS). Оскільки пластикові прототипи повноцінних виробів мають чудові механічні властивості, такі матеріали використовуються для створення готових виробів. Ця властивість дозволяє застосовувати аналогічні вимоги до роботи з готовими виробами, як і з металом або керамікою. Порошкові матеріали під час друку розміщуються на поверхні робочого столу (див. рис. 1.5) та спікаються лазерним променем у шар, що відповідає певній області та геометрії 3D-моделі.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

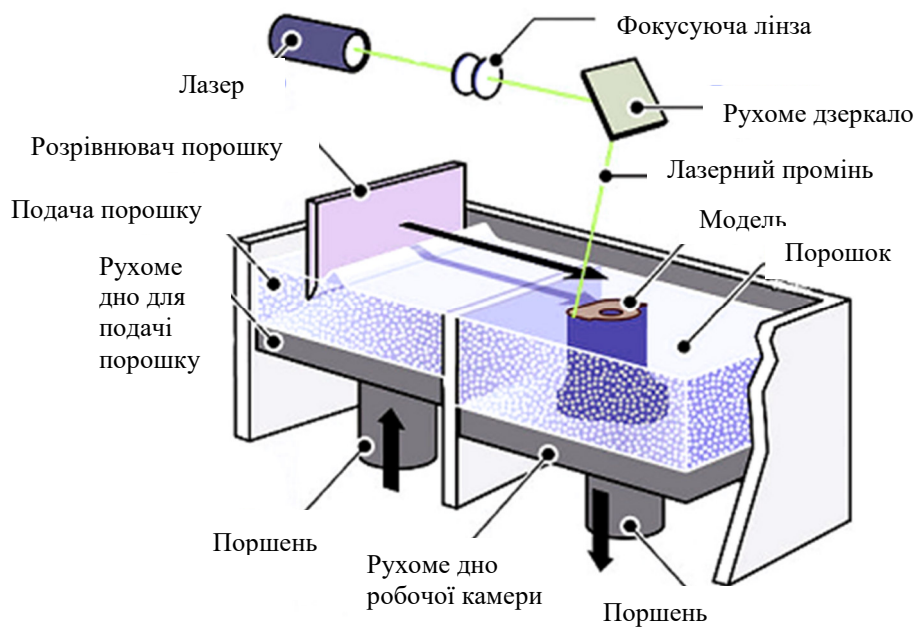


Рисунок 1.5 - Технологія SLS

Найзначнішими виробниками обладнання для SLS-друку є 3D Systems, F&S Stereolithographteknik GmbH, The ExOne Company/Prometal та EOS GmbH. Приклад технології SLS-друку показано на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Приклад технології SLS-друку

Пошарове нанесення розплавленого полімерного філаменту зазвичай досягається за допомогою моделювання наплавленням або FDM для отримання моделей, функціонально близьких за можливостями до серійних виробів. Технологія FDM-друку включає наступне (див. рис. 1.7): нагріту головку екструдера, пластиковий(і) філамент(и) або нитку(и) АВС, нагріту(і) до напіврідкого стану, які з високою точністю наносяться у вигляді шарів цих термопластичних матеріалів на робочу поверхню столу 3D-принтера. Шари склеюються один з одним та охолоджуються; формується готовий продукт.

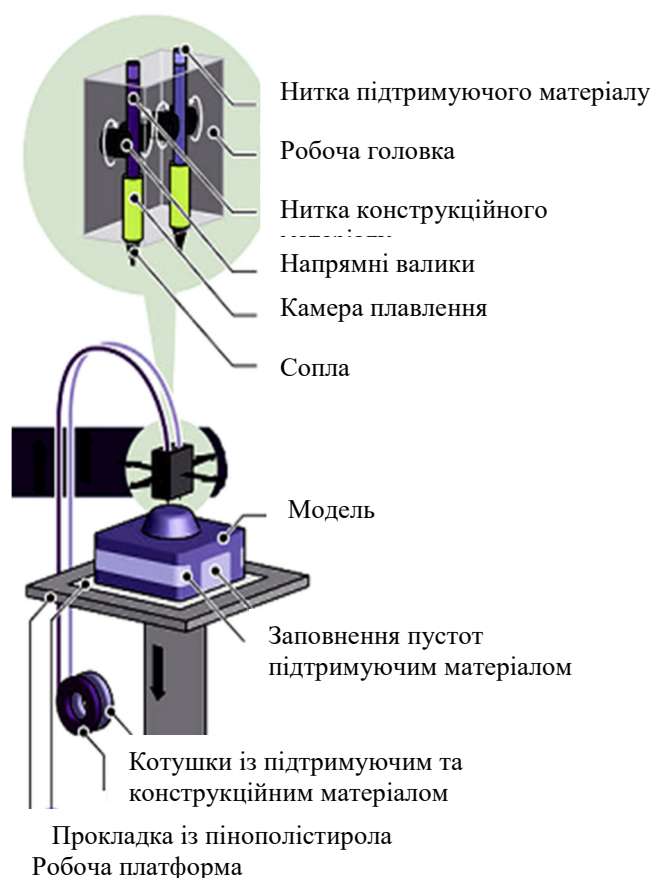


Рисунок 1.7 – Технологія друку FDM

Наразі компаніями, що виробляють 3D-принтери на основі технології FDM, є Stratasys Inc та DREMEL. Ілюстрація друку FDM наведена на рисунку 1.8.

Деякі з компаній, що володіють патентами на технології, засновані на струменевому моделюванні, – це 3D-системи (Multi-Jet Modeling або MJM),

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

PolyJet (Objet Geometries або PolyJet) та Solidscape (Drop-On-Demand-Jet або DODJet).

Усі вони працюють за одним принципом, але зі своїми характеристиками. Для друку також використовуються опорні та моделюючі матеріали.



Рисунок 1.8 – Приклад технології друку FDM

Найчастіше як допоміжні матеріали використовується віск, а також широкий спектр конструкційних термопластів. Друкуюча головка 3D-принтера наносить допоміжні та моделюючі матеріали на робочу поверхню (див. рис. 1.9), після чого вони фіксуються за допомогою фотополімеризації та механічного вирівнювання.

Технологія струменевого моделювання дозволяє отримувати кольорові та прозорі моделі з різними механічними властивостями; наприклад, можна отримати м'які, гумоподібні або тверді моделі.

Компанії, що виробляють принтери для технології струменевого моделювання, - це SolidScape Inc, Objet Geometries Ltd та 3D Systems.

Технологія порошкового склеювання (Binding powder by adhesives) – це технологія 3D-друку, яка дозволяє створювати тривимірні моделі, а також фарбувати їх. Ці принтери працюють з двома матеріалами: крохмально-

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

целюлозним порошком, з якого власне формується модель, та рідким клеєм на водній основі, який склеює шари порошку разом. Клей надходить з друкуючої головки принтера (див. рис. 1.10) для з'єднання частинок порошку та формування контуру моделі. Надлишки порошку видаляються після друку для покращення міцності моделей; їхні порожнини заповнюються рідким воском.

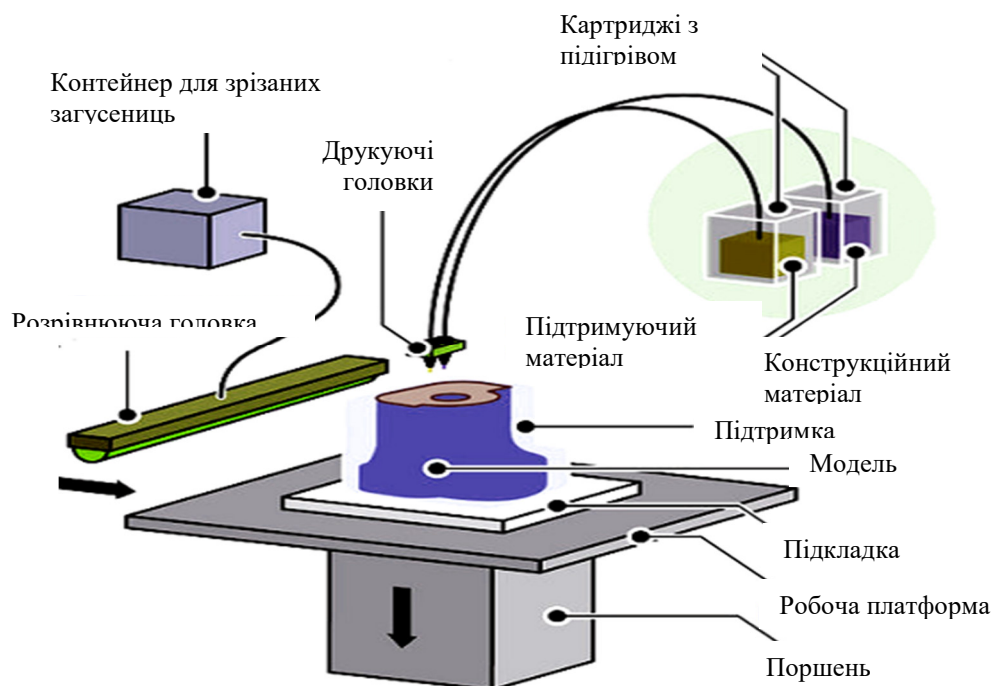


Рисунок 1.9 – Технологія струменевого моделювання

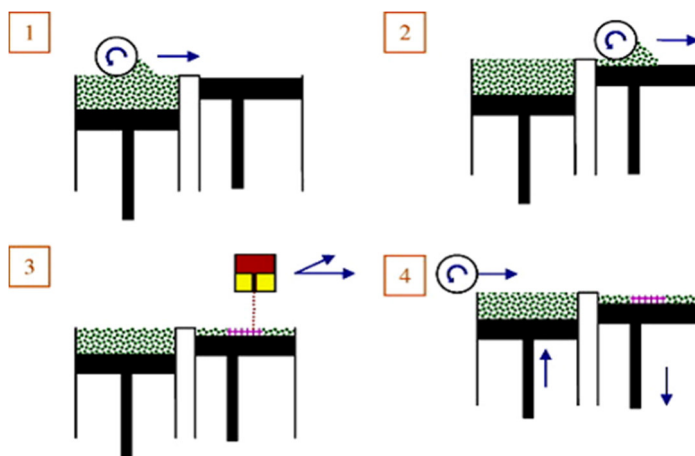


Рисунок 1.10 – Технологія порошкового склеювання

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ

Арк.

22

Z-Corporation наразі виробляє принтери, що використовують технологію порошкового склеювання.

Виробництво ламінованих об'єктів (LOM) – це створення 3D-моделей на паперовому носії шляхом ламінування. Під час друку контур наступного шару майбутньої моделі вирізається лазером (див. рис. 1.11); зайві шматки розрізаються на невеликі квадратики, а потім видаляються. Готова модель має структуру, подібну до деревини, але дуже стійка до вологи.

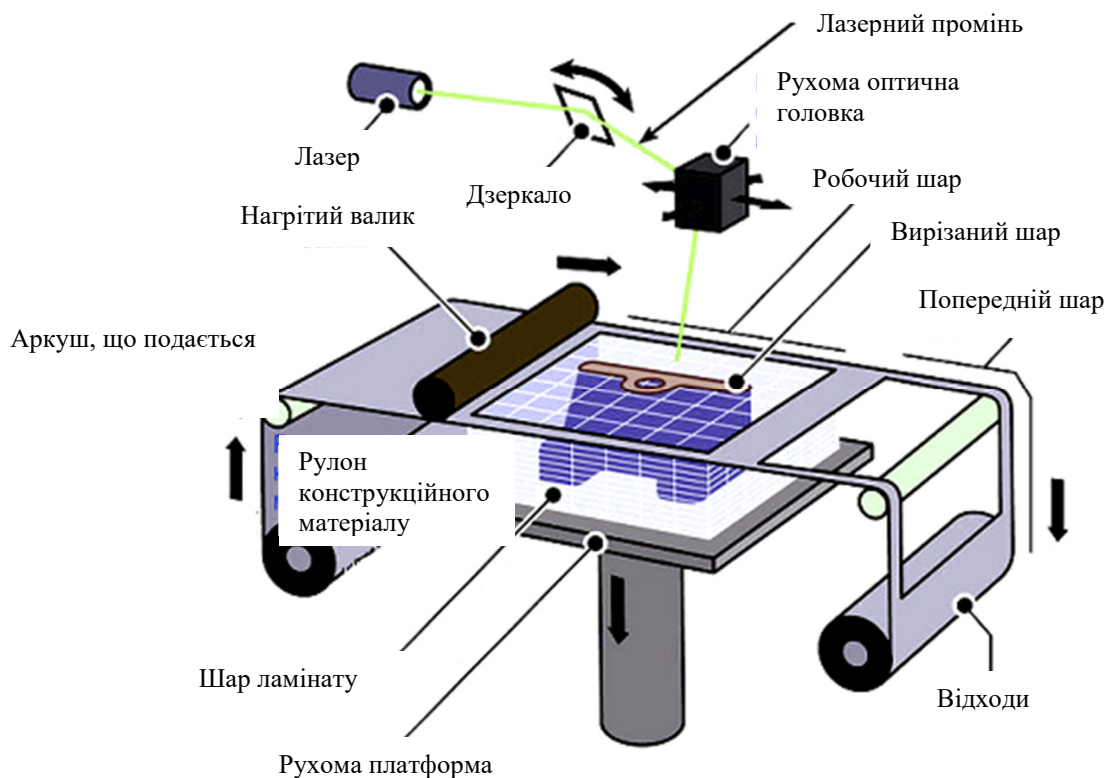


Рисунок 1.11 – Технологія ламінування листів

Нещодавно виробником цих 3D-принтерів була компанія Helisys Inc., але зараз вона більше не виробляє їх.

Ультрафіолетове опромінення за допомогою процесу фоторезисту (твердотільної ґрунтовки або SGC) призначене для формування тривимірних об'єктів із шарів спеціального світлочутливого пластику, який наноситься на робочу поверхню. (див. рис. 1.12.)

Тонкий шар пластику покривається, а потім піддається впливу ультрафіолетових променів через спеціальний фоторезист, на якому наноситься зображення наступного шару. Надлишок матеріалу видаляється за допомогою вакууму; решта матеріалу, який твердне, повторно піддається впливу жорсткого ультрафіолетового світла. Порожнини готової моделі заповнюються розплавленим воском для підтримки наступних шарів. Попередній шар вирівнюється механічно перед нанесенням наступного шару.

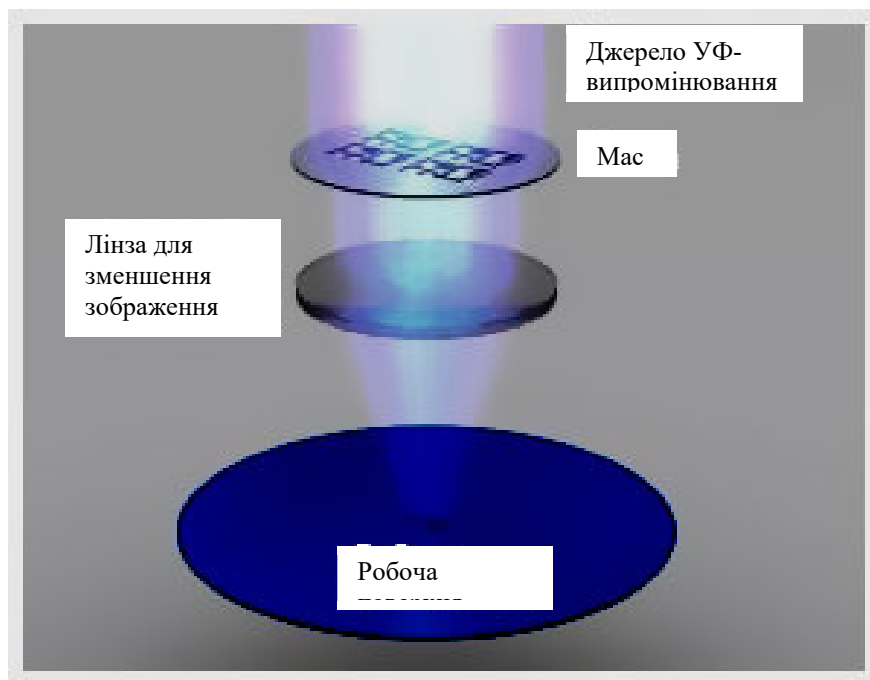


Рисунок 1.12 – Технологія SGC

Донедавна їх виробляла компанія Cubital Inc, але потім вирішила припинити виробництво. Після цього компанія більше не виробляє ці принтери.

Говорячи про точність створення моделі на різних 3D-принтерах, вона лежить в межах 0,05 мм та 0,2 мм для кожної координати. Чим точніше створення моделі, тим менша товщина шару друку, але також тим повільніше швидкість друку, а відповідно зростає вартість.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.2.2 Етапи 3D-друку

У процесі 3D-друку є кілька послідовних етапів, як показано на рисунку 1.13.

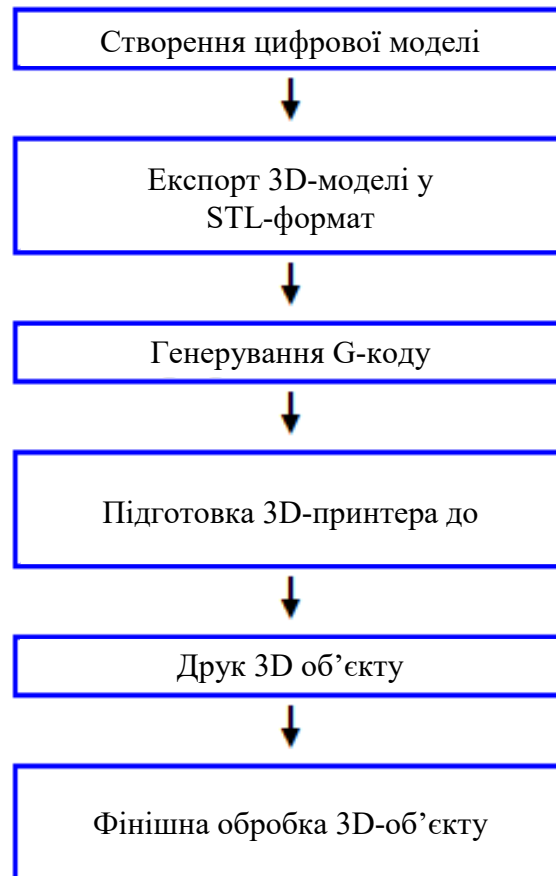


Рисунок 1.13 – Етапи 3D-друку

Етап 1. Створення цифрової моделі.

Процес 3D-друку завжди починається зі створення цифрового зображення об'єкта, який потрібно отримати, в одній з 3D- або CAD-програм, таких як 3D Studio Max, AutoCAD, Compass або SolidWorks (див. рис. 1.14). Тривалий та трудомісткий процес створення віртуального зображення моделі, яку потрібно отримати, залежить від складності об'єкта.

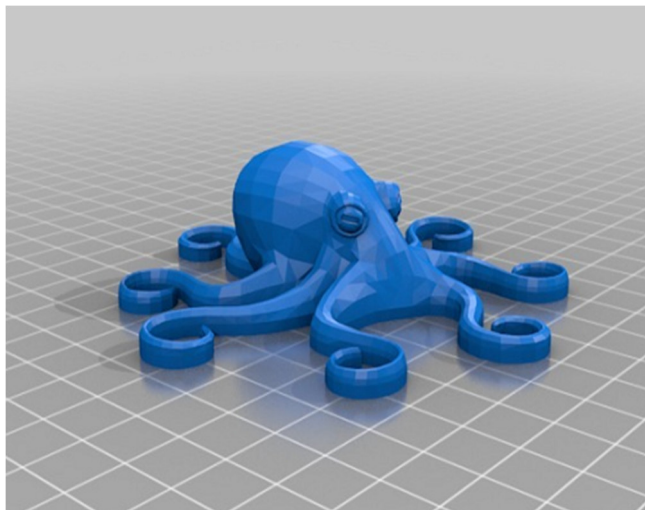


Рисунок 1.14 – Цифрова модель у середовищі 3D-редактора.

Іноді 3D-сканування може бути застосоване для отримання цифрових зображень об'єктів майбутньої форми, але воно має меншу точність представлення об'єкта. Крок 2. Експорт 3D-моделі у формат STL.

Після завершення моделювання необхідно зберегти отриманий файл у форматі STL – форматі, який використовується для 3D-друку. Для цього виберіть у меню редактора пункт «Зберегти як» або «Імпорт/Експорт», щоб встановити рівень деталізації моделі. Якщо вибрати опцію «Точний», то поділ буде щільним; отже, файл займатиме багато місця на диску комп'ютера та оброблятиметься досить довго, але на виході буде об'єкт із високоякісною поверхнею. Якщо вибрати «Грубий», то поділ буде менш щільним або навіть не щільним, тому готовий файл займатиме менше місця та оброблятиметься швидше, але якість поверхонь буде значно нижчою, ніж у точного.

Етап 3. Генерація G-коду.

STL-файл з віртуальним об'єктом має бути оброблений спеціальною програмою — слайсером (див. рис. 1.15) — яка перетворює вміст файлу в керуючий G-код. Якщо він не буде нарізаний, 3D-принтер не зможе розпізнати модель. Серед найпопулярніших програм для нарізки — Kisslicer, Skeinforge, Slic3r тощо.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

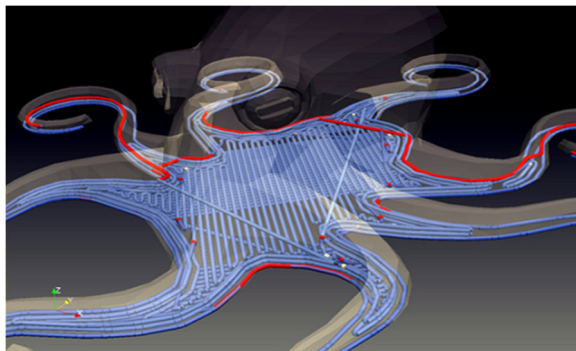


Рисунок 1.15 - Робота програми-зрізача (слайсера)

Програма-слайсер повідомляє 3D-принтеру про послідовність, у якій матеріал має наноситися під час процесу друку; вона, по суті, розрізає модель на тонкі горизонтальні пластини, а потім перетворює їх у цифровий G-код, який 3D-принтер може зрозуміти.

Отже, схоже, що програма різака визначає шлях друкуючої головки 3D-принтера під час розміщення витратного матеріалу.

Таким чином, після створення моделі, конвертації у формат STL та генерації G-коду, вона надсилається на друк.

Етап 4. Підготовка 3D-принтера до роботи.

На цьому етапі підготовки принтера за технологією друку FDM слід наклеїти на робочий стіл спеціальну самоклеючу плівку або змастити його спеціальним клеєм та завантажити катушку полімерними нитками (див. рис. 1.16).

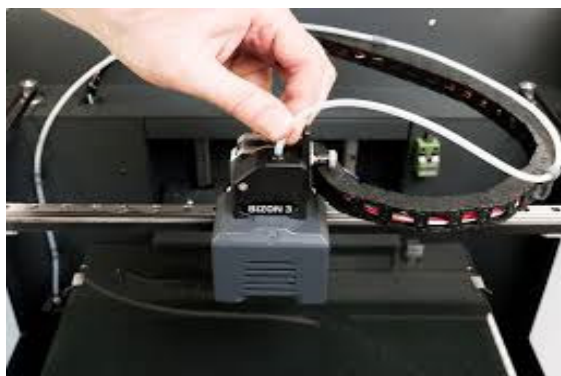


Рисунок 1.16 – Підготовка FDM-принтера до друку

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

АБС-пластик та PLA-пластик – два найпоширеніші витратні матеріали для 3D-друку. За допомогою АБС-пластику можна формувати непрозорі та ударостійкі об'єкти з термопластику. Спеціальна підставка утримує котушку з пластиковим філаментом; його кінець обрізається. Брудні або пошкоджені філаменти ніколи не можна використовувати для друку, оскільки це призведе до виходу принтера з ладу. Обрізаний кінець філаменту вставляється в отвір для подачі, а потім в екструдер до упору; через кілька секунд з сопла екструдера має вийти м'який філамент розплавленого пластику.

Етап 5. Друк 3D-об'єкта.

Найважливішими компонентами 3D-принтера на його конструкції є робоча платформа та друкуюча головка (див. рис. 1.17). Об'єкт формується на поверхні робочої платформи; під час роботи він рухається вгору та вниз, тобто вздовж осі Z. Тонкий розплавлений полімерний філамент наноситься друкуючою головкою (екструдером) на поверхню робочої платформи; цей філамент шар за шаром формує готовий об'єкт. Друкуюча головка 3D-принтера рухається горизонтально та вертикально — вздовж осей X та Y.

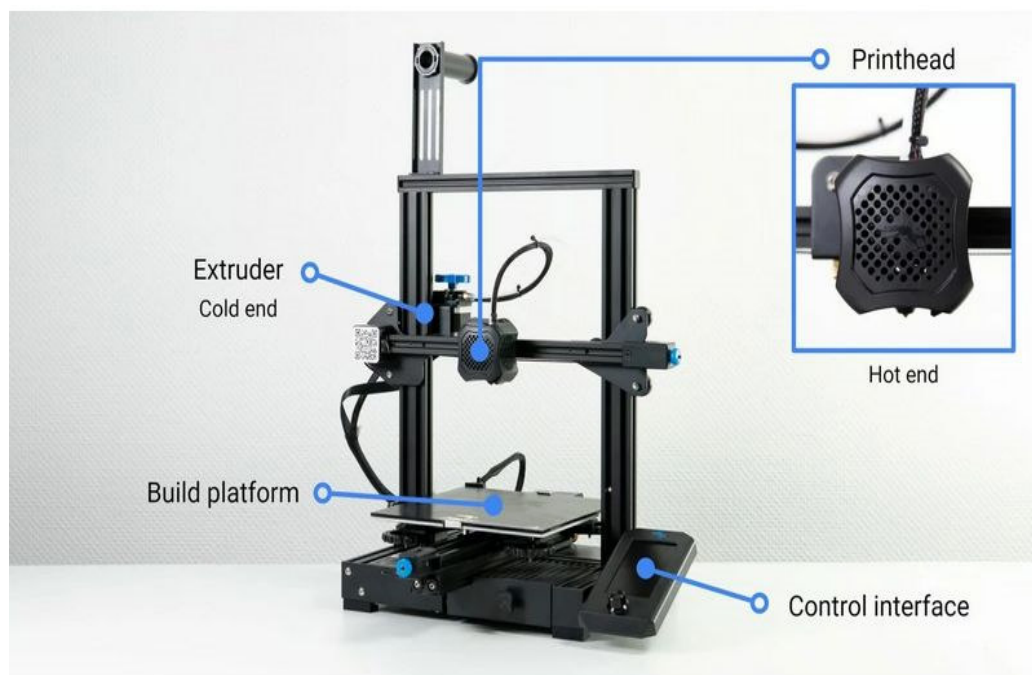


Рисунок 1.17 – Структурні елементи FDM-принтера

					2026.КВР.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Друкуюча головка видавлює перший шар розплавленого пластику в зону друку (див. рис. 1.18). Потім платформа опускається до товщини шару, і принтер починає наносити наступний шар поверх попереднього. Після завершення друку кожного шару робоча платформа опускається, і це триває доти, доки не буде завершено складання всього об'єкта.



Рисунок 1.18 – Принтер наносить перші шари матеріалу на платформу

Перші шари матеріалу наносяться на платформу принтером. Час друку, який залежить від складності форми виробу, може зайняти кілька годин для друку 3D-моделі. Етап 6. Завершення обробки об'єкта. Якщо в об'єкті присутні звиси, виступи, консолі, то під час друку 3D-принтер використовує опорні конструкції (див. рис. 1.19).

На рисунку показано деякі ділянки моделі, де є виступаючі частини, і ці частини не контактують з платформою. Тому принтер повинен мати певну основу, на яку можна наносити шари пластику, будь то сама робоча платформа чи якийсь попередньо покладений матеріал. Виступаючі частини будуть надруковані разом з опорними конструкціями.



Рисунок 1.19 – Використання опорних конструкцій.

Ось чому деталі не висять у повітрі, а лежать на робочій платформі, що дозволяє принтеру друкувати їх.

Опорні структури видаляються після друку. У випадку опорних структур, виготовлених з того ж матеріалу, що й основна модель, їх видалення без пошкодження ідеальної поверхні об'єкта може бути досить складним завданням. Тому більшість сучасних принтерів використовують окремі воски для опор; їх можна легко видалити в кінцевому процесі, і вони не залишають жодних слідів на поверхні об'єкта.

1.3 Основні техніко-економічні показники

Основні переваги:

1. Друк тривимірних моделей.
2. Можливість використання різних матеріалів та кольорів філаментів
3. Відносно низький рівень шуму
4. Низькі експлуатаційні витрати
5. Малі габарити

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Низька вартість витратних матеріалів

До основних техніко-економічних показників належать: якість створюваних поверхонь; пам'ять; швидкість друку; тип філаменту; та вартість витратних матеріалів.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Налаштування роботи 3D-принтера

2.1.1 Робота в Dremel Digilab 3D Slicer

Це програмне забезпечення готує файл для 3D-друку та дозволяє швидко та легко нарізати файл для високоякісного друку на Dremel Digilab 3D40-FLX. Це програмне забезпечення постачається на USB-накопичувачі, що постачається з принтером, або його можна завантажити з сайту.

Інтерфейс програмного забезпечення Dremel Digilab 3D Slicer показано на рисунку 2.1.

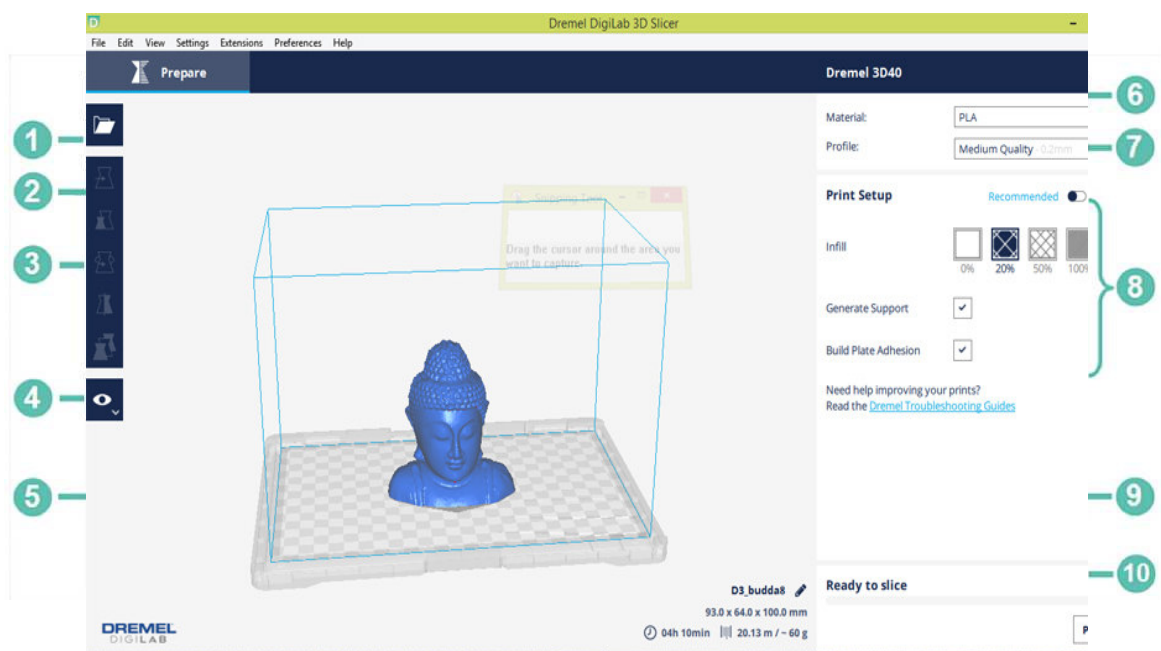


Рисунок 2.1 - Інтерфейс Dremel Digilab 3D Slicer,

де:

1. відкрийте файл;
2. виберіть об'єм побудови, де тонка синя лінія вказує на край об'єму побудови (255 мм x 155 мм x 170 мм);

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3. підготуйте файл — перемістіть, масштабуйте, поверніть, віддзеркаліть;
4. виберіть режим перегляду: суцільний, прозорий, шари;
5. платформа для створення: вкажіть місце, де друкується модель;
6. виберіть принтер;
7. виберіть матеріал ;та якість друку;
8. налаштування друку: виберіть значення заповнення, опори та адгезії для пластин;
9. спрогнозувати час та обсяг матеріалу для друку;
10. підготуватися до друку з вибраними налаштуваннями.

Натисніть кнопку вибору (див. рис. 2.1, пункт 6) та виберіть один із доступних принтерів зі спадного списку (див. рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Вибір принтера

Наступний крок – вибрати тип матеріалу, який підтримує вибраний принтер. Dremel Digilab 3D40-FLX підтримує такі типи матеріалів: PLA, ECO-ABS, нейлон та PETG.

Висота шару безпосередньо впливає на якість вашого 3D-друку. Менша висота шару означає дрібніші деталі, але довший час друку. Зі збільшенням висоти шару швидкість друку також збільшується, але деталізація об'єкта зменшується. На рисунку 2.3, коли ми перемикаємося на нижчу якість, надруковані шари стають більш помітними — деякі деталі можуть навіть бути втрачені.

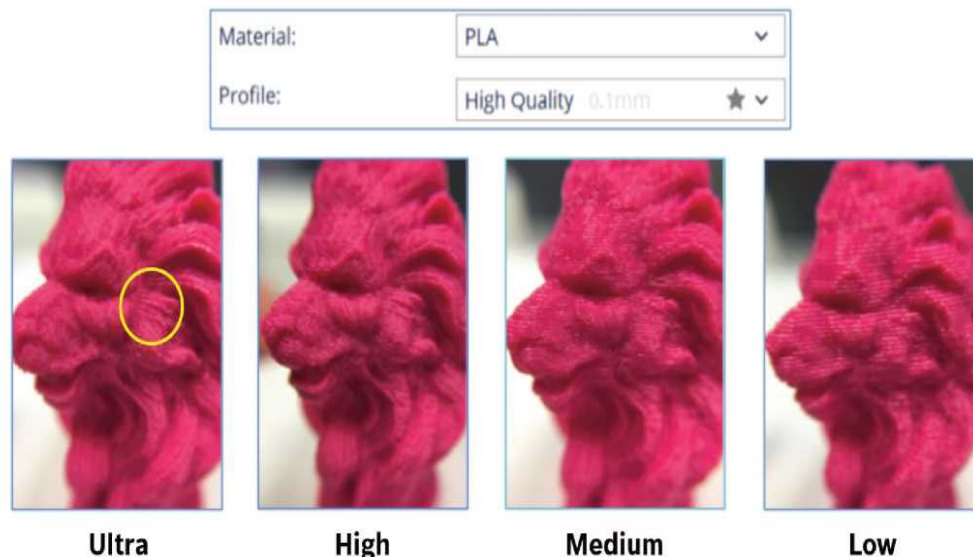


Рисунок 2.3 – Зв'язок висоти шару з якістю друку

З зображення видно, що з Dremel Digilab 3D40-FLX можна використовувати 4 профілі якості: низький, середній, високий та ультрависокий. Друк середньої якості триває приблизно в 1,5 раза довше, ніж друк низької якості; друк ультрависокої якості триває понад 6 разів довше.

Різак Dremel Digilab працює з файлами таких типів, як (*.stl, *.obj), а також дозволяє працювати з файлами, такими як (*.3mf, *.bmp, *.g, *.gcode, *.gif, *.jpeg, *.jpg, *.png, *.x3d). Якщо файл не відображається на екрані після імпорту, виконайте такі дії:

Центруйте платформу та перевірте наявність файлу. Перевірте одиниці імпорту; за потреби конвертуйте міліметри в дюйми або дюйми в міліметри. Після імпорту файлу його потрібно підготувати до друку. Підготовка до друку включає зміну положення стеку, масштабування, дзеркальне відображення тощо.

>Щоб змінити положення деталі, перемістіть її вздовж об'єму складання за допомогою кольорових стрілок на ній (див. рис. 2.4). Деталь повинна розташовуватися всередині окресленого об'єму складання та лежати на платформі.

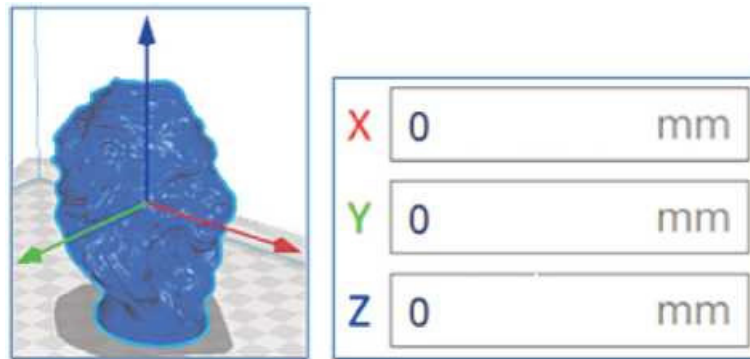


Рисунок 2.4 – Зміна положення деталі

Щоб змінити розмір деталі, перетягніть стрілки масштабування (див. рис. 2.5) шляхом масштабування — або зробіть це вручну у відповідних полях, ввівши потрібні значення масштабу. Зберігайте той самий параметр масштабування.

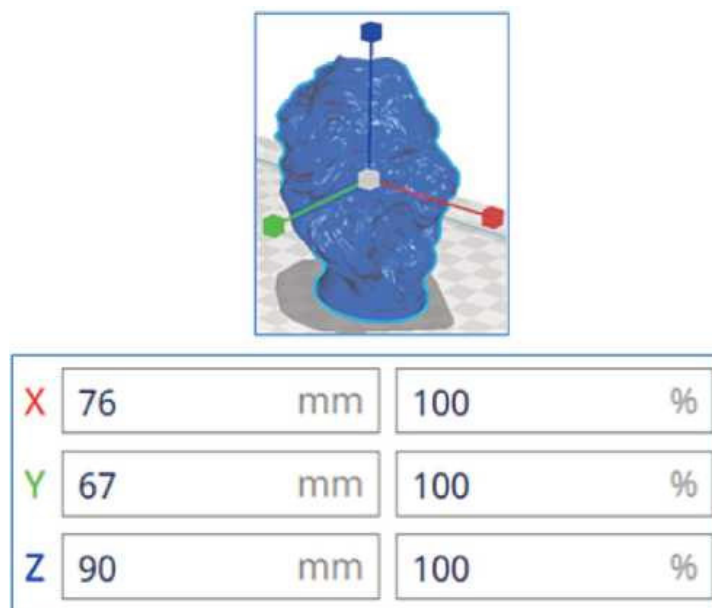


Рисунок 2.5 – Зміна масштабу деталі

Щоб виконати поворот деталі, її слід утримувати та перетягувати кольорові кола навколо неї, як показано на рисунку 2.6. Це призведе до зміни кута на 150.

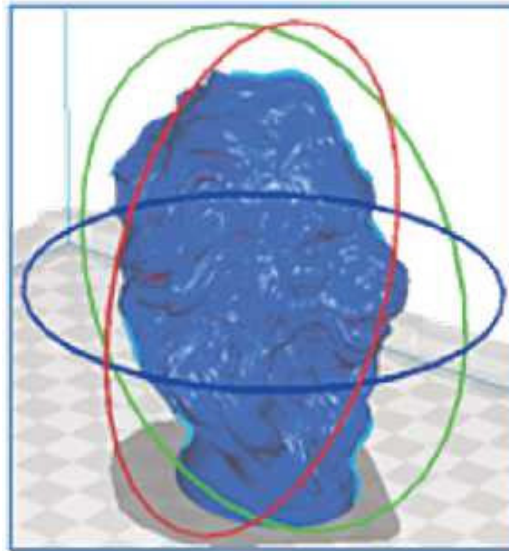


Рисунок 2.6 – Поворот деталі

Щоб дзеркально відобразити деталь відносно площин симетрії, просто клацніть на стрілках, розміщених навколо файлу, як на рисунку 2.7.

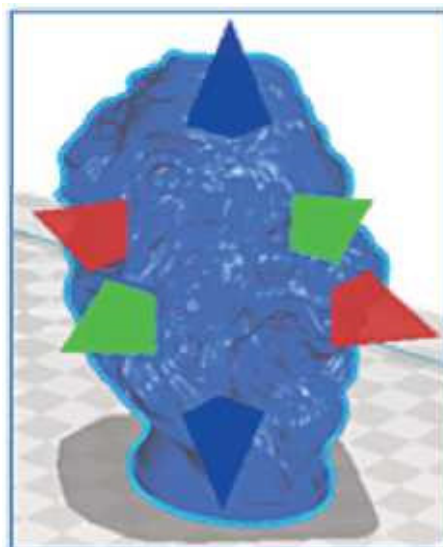


Рисунок 2.7 - Дзеркальне відображення деталі

Після підготовки файлу, параметри друку слід встановити в розділі "Налаштування друку" в головному вікні програми різака, як показано на рисунку 2.8.

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



Рисунок 2.8 - Розділ "Налаштування друку"

Елемент «Заповнення» призначений для заповнення внутрішньої частини деталі допоміжним матеріалом (див. рис. 2.9). Він коливається від 0% (без заповнення) до 100% (повне заповнення) з точки зору відсотка заповнення. Чим більше заповнення має деталь, тим краща її міцність; однак це також означає довший час друку.

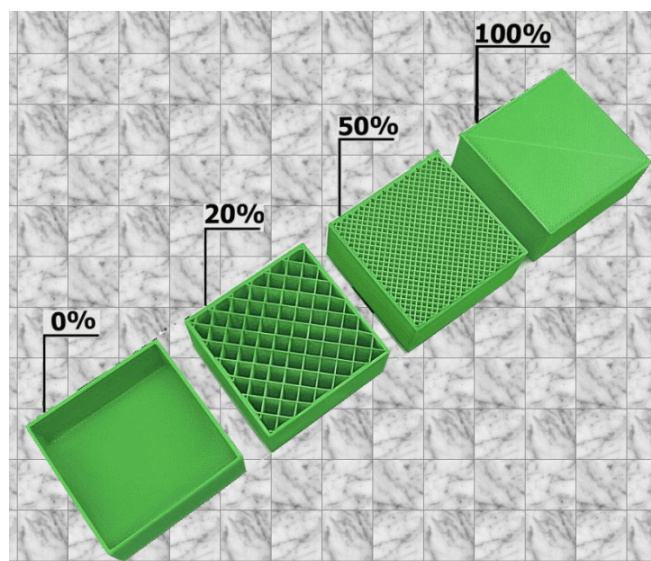


Рисунок 2.9 - Зміна коефіцієнта заповнення

Створення опорних конструкцій. Якщо розділ, що друкується, містить нависання або виступи (див. рис. 2.10), його необхідно друкувати з опорними конструкціями. Це варіант, за якого принтер може створювати опорні конструкції, які потрібно видалити після завершення друку.



Рисунок 2.10 – Використання опорних конструкцій

Створіть адгезію пластини. Це дозволить вам надрукувати обідок, як показано на рисунку 2.11, з рекомендованими налаштуваннями, що дозволить вам створити плоску область навколо або під деталлю, яку можна буде легко видалити після завершення процесу формування.

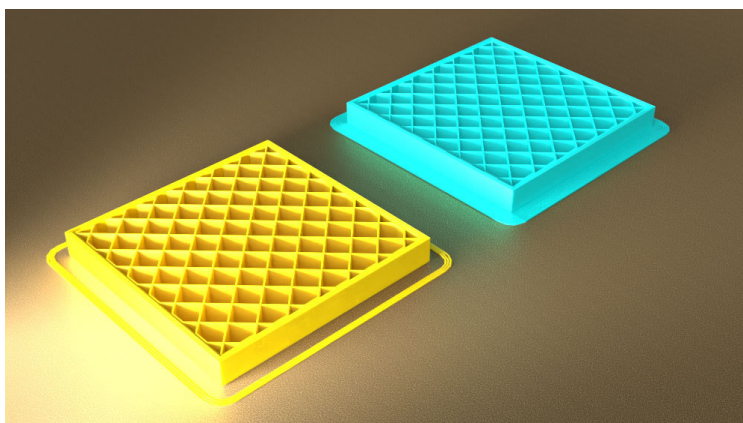


Рисунок 2.11 – Друк з увімкненою опцією «Створити адгезію пластини»

Далі натисніть кнопку «Підготувати». Це обріже файл і створить файл для 3D-друку. Пам'ятайте, що перед друком потрібно перевірити файл обрізки на наявність дефектів.

Для цього є три режими відображення: суцільний, прозорий, шари.

Використовуйте режим суцільного друку, щоб гарантувати відсутність проміжків або пустот всередині. Майте на увазі, що деталі малої ширини ($>0,4$ мм)

не будуть надруковані. Цей режим також дозволяє вам врахувати, чи потрібні опори. Поверхні, позначені кольором на рисунку 2.12, потребують опорних конструкцій під час друку.

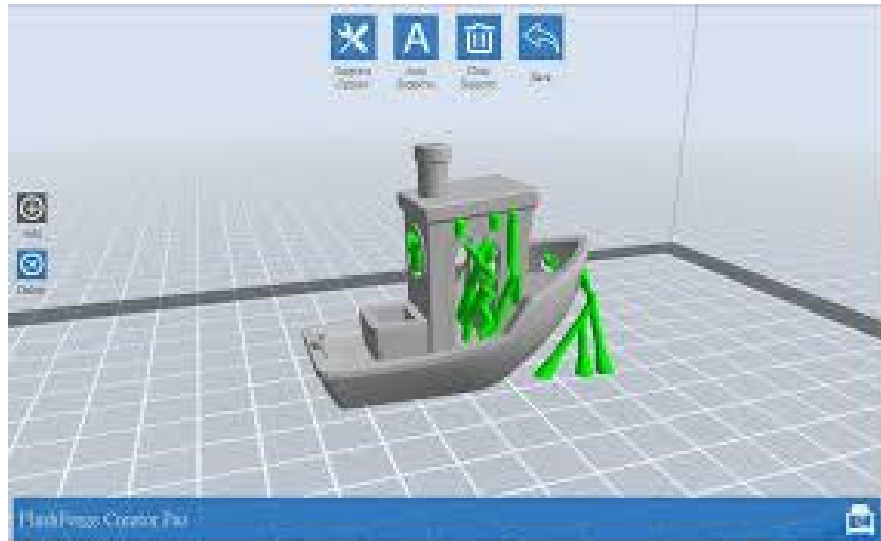


Рисунок 2.12 – Технологічні підпорки

Це режим перегляду шарів, який дозволяє побачити, чи відсутні деякі шари, чи є прогалини чи шляхи (див. рис. 2.13).

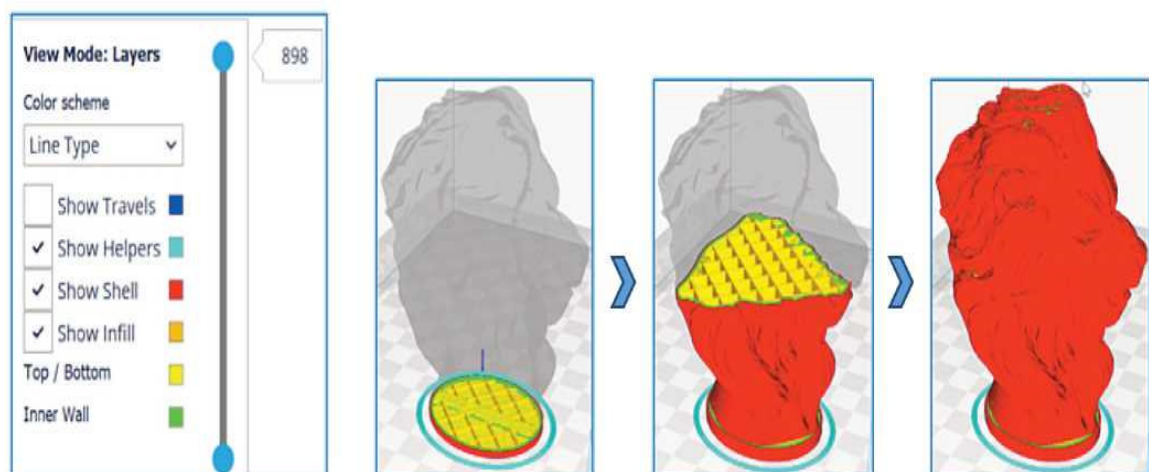


Рисунок 2.13 – Режим перегляду шарів

За потреби 3D-зріз також може приблизно визначити час друку та витрату матеріалу для друку, як показано на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Оцінка процесу друку

Після виконання всіх підготовчих кроків програма сформує файл *.gcode для друку; цей файл можна зберігати на знімному носії або, фактично, відправляти на друк через Ethernet.

1.2.1 Вирівнювання робочої платформи

Завжди вирівнюйте базову платформу під час переміщення платформи для створення, щоб вона знаходилася на однаковій відстані від головки екструдера; якщо залишити базову платформу нерівною, об'єкти друкуватимуться неправильно.

Щоб вирівняти платформу:

1. Натисніть значок «Вирівняти» на сенсорному екрані.

Екструдер і базова платформа переміщуються в положення для вирівнювання базової платформи; спочатку перевіряється рівень у центрі платформи. Дві ручки під базовою платформою з лівого та правого боків піднімаються та опускаються для вирівнювання платформи для складання. Екструдер також оснащений датчиком, який може визначити, коли платформа вирівняна (див. рис. 2.15).

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

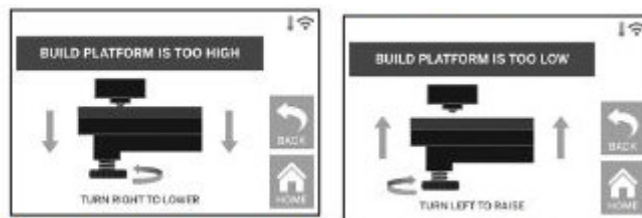


Рисунок 2.15 – Початок процедури вирівнювання платформи

Сенсорний екран повідомить вас, чи було будівельну платформу піднято або опущено занадто високо. Якщо основна платформа занадто висока, поверніть ручку праворуч, доки не почуєте звуковий сигнал, і на сенсорному екрані з'явиться повідомлення про готовність платформи до вирівнювання.

Якщо база низька, повертайте ручку ліворуч, доки не пролунає звуковий сигнал, а на сенсорному екрані не відобразиться повідомлення про готовність до вирівнювання.

Натисніть кнопку «Перевірити», щоб перевірити рівень платформи; якщо потрібні додаткові коригування, на сенсорному екрані з'явиться напрямок руху платформи для вирівнювання. Екструдер переміститься до наступної точки, і ви зможете повторити процес вирівнювання (див. рис. 2.16).



Рисунок 2.16 – Перевірка вирівнювання платформи

6. Повторіть процедуру з кроків 3 по 5 у новому положенні повного вирівнювання платформи; після цього екструдер автоматично перейде в положення калібрування, щоб завершити процес вирівнювання.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2.1.3 Інструкція із застосування клею

Безпосередньо перед друком переконайтеся, що платформа покрита шаром клею Dremel. Таким чином, добре нанесений шар клею допоможе деталям приклеїтися до платформи під час друку, а також запобіжить будь-якому деформуванню або скручуванню.

Клей слід наносити після кожних 1-3 відбитків. Під час нанесення клею переконайтеся, що він покриває ділянку пластини, на яку буде розміщено об'єкт для друку. Перед цим переконайтеся, що платформа для друку охолонула.

Нанесіть два шари, як показано на рисунку 2.17. Ви можете зробити це, спочатку нанісши один шар по периметру відбитка, а потім вгору та вниз зигзагом. Зачекайте 10 секунд і нанесіть ще один шар клею зигзагом зліва направо; це допоможе розподілити клей по всій площі.

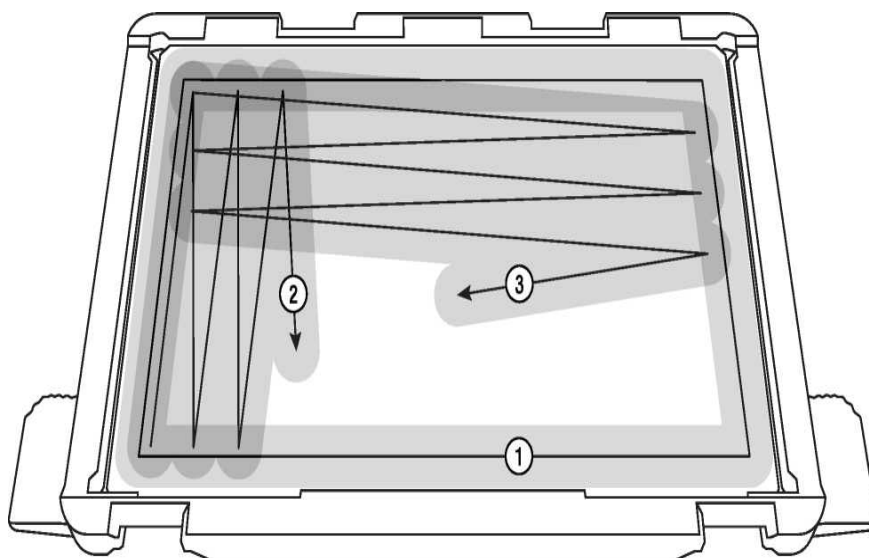


Рисунок 2.17 – Нанесення спеціального клею на робочу платформу

Дайте клею повністю висохнути, перш ніж вирівнювати або друкувати. Ви можете зробити це швидше, увімкнувши попередній нагрівач робочої платформи. Після кожних 7-10 нанесень клею або коли ви помітите, що шар клею нерівний,

очистіть робочу платформу. Ви можете зробити це одним із наведених нижче способів:

Вийміть платформу для побудови з принтера та занурте її у звичайну теплу воду на кілька секунд. Після цього клей легко витреться.

Вийміть платформу для побудови з принтера. Зішкребіть клей з її поверхні скребком.

Покрийте очищену базову пластину двома свіжими рівними шарами клею. Вирівняйте робочу пластину після висихання другого шару, перш ніж розпочати наступний друк.

2.1.4 Знімання готового виробу.

Перш за все, переконайтеся, що ви не подряпаєте робочу платформу під час видалення предметів, оскільки це може призвести до її деформації.

Вам знадобляться такі інструменти: спеціальний інструмент для видалення предметів, термостійкі рукавички та захисні окуляри.

Переведіть принтер у безпечний стан: спочатку дайте пластині та сопло охолонути, а потім можете використовувати їх. Переконайтеся, що ці частини охолонули, виконавши таку послідовність у меню «Інструменти» на сенсорному екрані: «Попереднє нагрівання», «Пауза» на значках «Температура сопла» та «Температура головної платформи» та дайте їм опуститися нижче 60°C на сопло та робочій пластині відповідно. Охолодження робочої пластини може тривати до 20 хвилин.

Зніміть монтажну пластину з принтера. Зробіть це за допомогою виступів з правого та лівого боків монтажної пластини (див. рис. 2.18, 1), а потім помістіть її вертикально на тверду поверхню (див. рис. 2.18, 2).

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

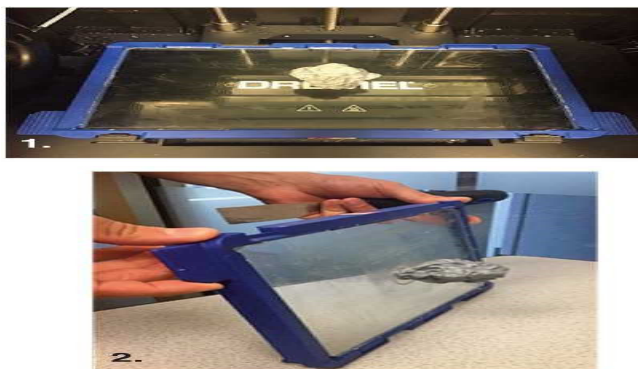


Рисунок 2.18 – Зняття пластини: 1 – Розділення пластини; 2 – Орієнтація пластини для зняття

Після цього перевірте, чи добре закріплена монтажна пластина та чи не відпускає вона ручку під час використання спеціального інструменту для зняття предметів.

Заберіть надруковану частину. Прикладіть кінчик інструмента для видалення предметів саме до місця, де надрук приклеївся до основної пластини (див. рис. 2.19).



Рисунок 2.19 – Правильне положення інструмента для видалення предметів

Слід сильно вдарити по верхній частині інструмента для видалення предметів (див. рис. 2.20).

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.20 – Точка прикладання сили до інструменту для видалення об'єкта

Цей процес слід повторювати, доки деталь не буде відокремлена від опорної пластини.

2.1.5 Калібрування зазору форсунки

Перший шар має найбільше значення, а саме – зазор між соплом або Z-подібний зазор. Зазор між соплом – це просто відстань від сопла до базової пластини під час друку першого шару. Іншими словами, хороший друк неможливий без належного першого шару. Правильна відстань вважається такою, що існує, коли аркуш паперу ледве може рухатися між соплом і основою. Великий зазор означатиме, що перший шар не прилипне до основи, і це призведе до зміщення об'єкта; дуже малий зазор означатиме, що першого шару майже не буде, і виникнуть проблеми із засміченням.

Перейдіть на екран «Калібрування». Зробіть це на головному екрані принтера, перейдіть до меню інструментів калібрування, а потім до калібрування допоміжних сопел (див. рис. 2.21).

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



Рисунок 2.21 – Екран калібрування

Відкрийте екран калібрування сопел. Приклейте основну платформу, переконавшись, що на перемикачі вирівнювання немає залишків клею та що філамент завантажений. Вирівняйте платформу, якщо її потрібно вирівняти.

Калібрування допоміжних сопел.

Під час калібрування сопло нагріватиметься, і три невеликі прямокутники постійно друкуватимуться поруч, як показано на рисунку 2.22. Перший, А, буде надруковано зі зміщенням $+0,1$ мм від поточного налаштування. Наступний, В, буде надруковано без будь-якого зміщення, а С – зі зміщенням $-0,1$ мм. Ще один прямокутник, що містить А, В та С, буде надруковано для підготовки сопла та для того, щоб переконатися, що потік філаменту правильний, перш ніж розпочати фактичний друк.

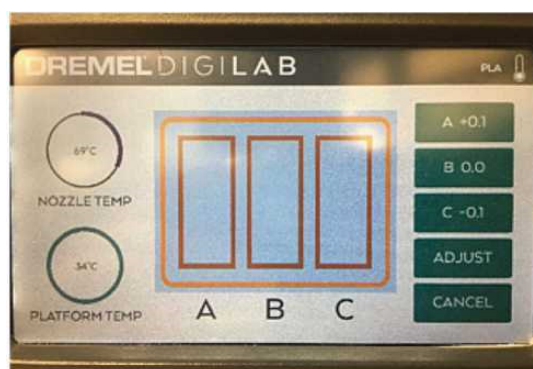


Рисунок 2.22 – Калібрування допоміжного сопла

Аналіз калібрування зазору сопел.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Після завершення друку з'являються три прямокутники, що показують три фази зміщення зазору сопел (див. рис. 2.23).

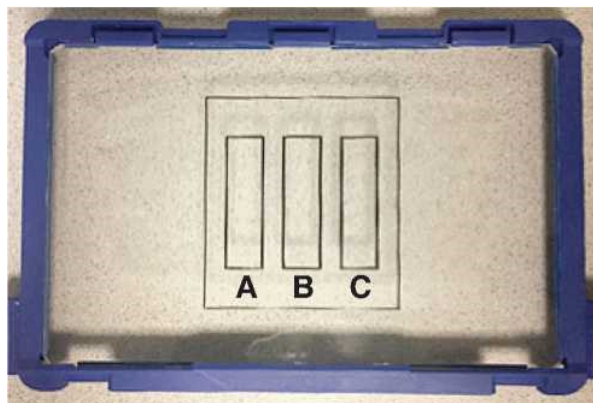


Рисунок 2.23 – Аналіз калібрування зазору сопла

Перевірте прямокутники А, В та С, щоб визначити, яке зміщення забезпечить найкращу адгезію шару.

Якщо ви бачите мало або взагалі немає волокон (див. рис. 2.24), це означає, що сопло розміщено занадто близько до платформи, а перший шар надруковано занадто щільно на опорній плиті; збільште зазор між соплами щонайменше на +0,1 мм. Калібрування допоміжного сопла необхідно повторювати, доки не буде знайдено правильний зазор між соплами.

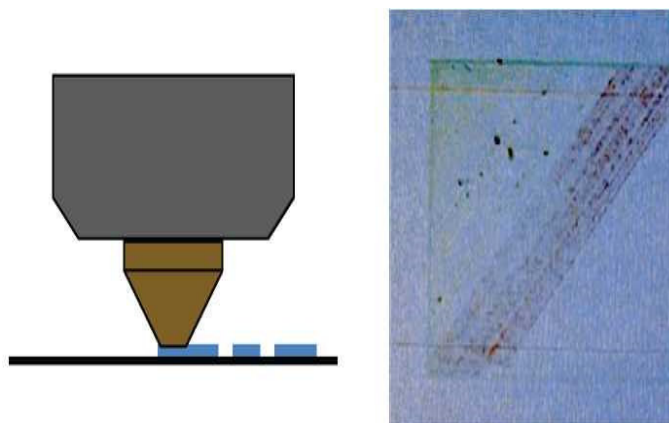


Рисунок 2.24 – Видно мало волокон

Якщо перший шар не прилипає або між лініями є проміжки (див. рис. 2.25):
Якщо сопло знаходиться занадто далеко від опорної пластини, перший шар не прилипне. У цьому випадку зазор сопла слід зменшити на -0,1 мм. Калібрування допоміжного сопла слід повторювати, доки не буде знайдено найкращий зазор сопла.

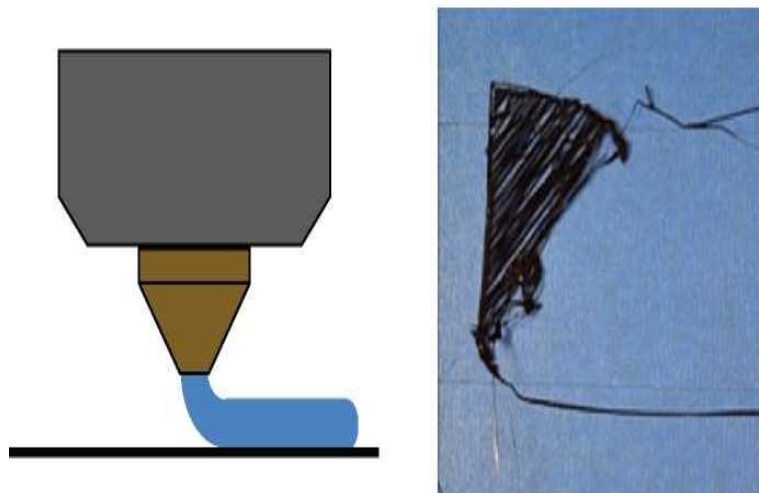


Рисунок 2.25 – Відсутність адгезії в першому шарі

Форсунка занадто близько: немає адгезії; ви не бачите першого шару. Лінії не повинні виглядати так, ніби вони втиснуті в опорну пластину (див. рис. 2.26).

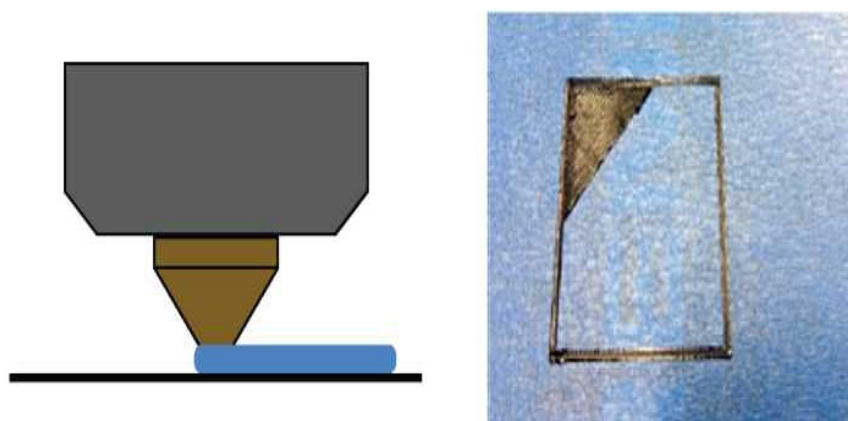


Рисунок 2.26 – Зазор правої форсунки

2.2 Усунення помилок роботи 3D-принтера

2.2.1 Заміна затискача платформи

Під час друку наступний шар нанесеного філаменту відшаровується від основи; товщина екструзії неоднорідна на різних ділянках друку; сопло в деяких місцях торкається вже надрукованих шарів — все це свідчить про пошкодження затискачів платформи та втрату калібрування.

Необхідні інструменти:

- Торцевий ключ.
- Глибока головка 7/32.
- Шестигранний ключ 2 мм.
- Викрутка Torx T10 (зіркоподібна).

1. Принтер необхідно перевести в безпечний стан.

2. Підніміть складальну платформу та вийміть скляну пластину з принтера.

Потім вручну підніміть основну платформу якомога вище. Вам потрібно натиснути на металевий кронштейн, розташований позаду платформи (див. рис. 2.27).



Рисунок 2.27 – Зняття скляної пластини

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3. Зніміть верхню платформу.

Послабте два гвинти за допомогою шестигранного ключа на 2 мм та гайкового ключу. Зробіть це, встановивши гайковий ключ у щілину для гайки, як показано на малюнку праворуч, а потім за допомогою шестигранного ключа на 2 мм послабте гвинти, утримуючи гайку гайковим ключем (див. рис. 2.28). Зверніть увагу, що на нижній стороні гайки є невелика шайба.

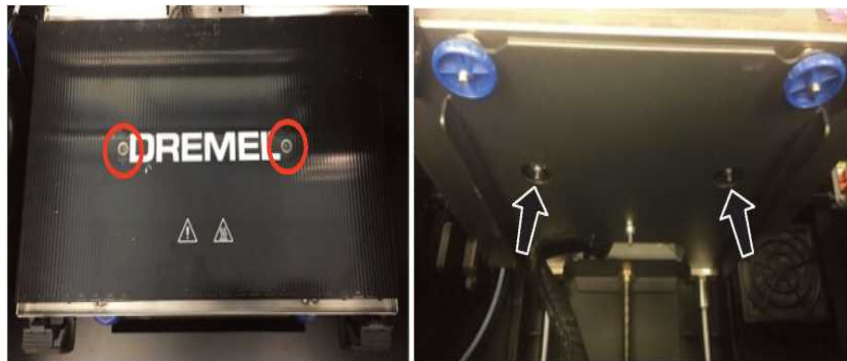


Рисунок 2.28 - Розбирання верхнього компонента платформи

1. Зніміть несправні затискачі опорної плити.

Опустіть ліжко та нахиліть секції ліжка вгору, щоб відкрити монтажні гвинти (див. рис. 2.29). Переконайтеся, що білі проставки добре закріплені та не виступають з пінопластової прокладки.

Відкрутіть за допомогою викрутки розміром Torx T10.

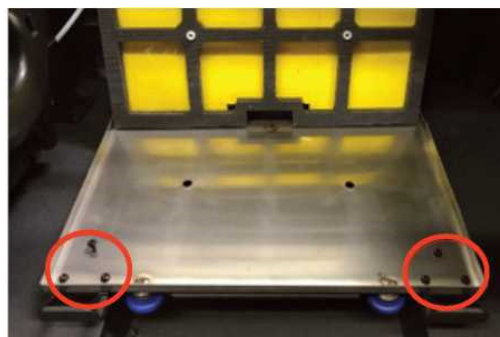


Рисунок 2.29 – Зняття пошкоджених затискачів

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

5. Встановіть нові затискачі для пластин. Після цього встановіть нову опорну пластину та поверніться до кроку 4.

6. Тепер потрібно встановити компоненти верхньої платформи.

Встановіть компоненти назад і переконайтеся, що проставки все ще встановлені в пінопласті (див. рис. 2.30).

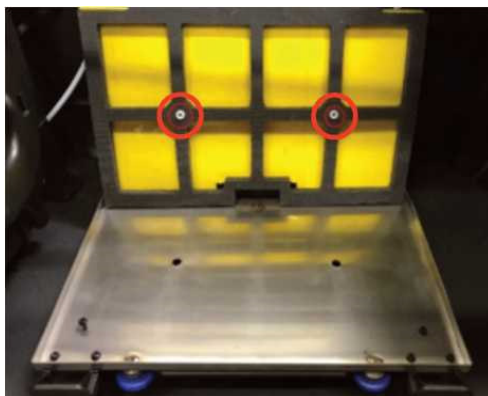


Рисунок 2.30 – Встановлення компонентів верхньої платформи

Потім підніміть платформу та закріпіть її на місці за допомогою 2-міліметрових гвинтів, використовуючи шестигранні головки з невеликими шайбами та гайками. Поверніться до кроку 3.

Нарешті, встановіть скляну монтажну пластину та перевірте, чи вона надійно закріплена.

2.2.2 Заміна вирівнюючого кронштейна

Якщо екструдер викидає розплавлений філамент, який прилипає до нього під час друку, або коли втрачається точність друку, це сигналізує про те, що вирівнювальний кронштейн вузла екструдера пошкоджено.

Dremel Digilab 3D40-FLX буде відремонтовано за допомогою спеціальних інструментів. Знімач та прес для підшипників – це два основні інструменти, які будуть використовуватися для ремонту.

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Не торкайтесь наконечника екструдера або нагрітої платформи під час роботи Dremel Digilab 3D40-FLX або доки він не охолоне до 60°C. Контакт із наконечником або базовою платформою під час роботи, доки вона не охолоне, може спричинити опіки. Замініть її, дотримуючись антистатичних запобіжних заходів. Вузол екструдера складається з датчика рівня, серводвигуна та монтажного (вирівнювального) кронштейна (див. рис. 2.31).

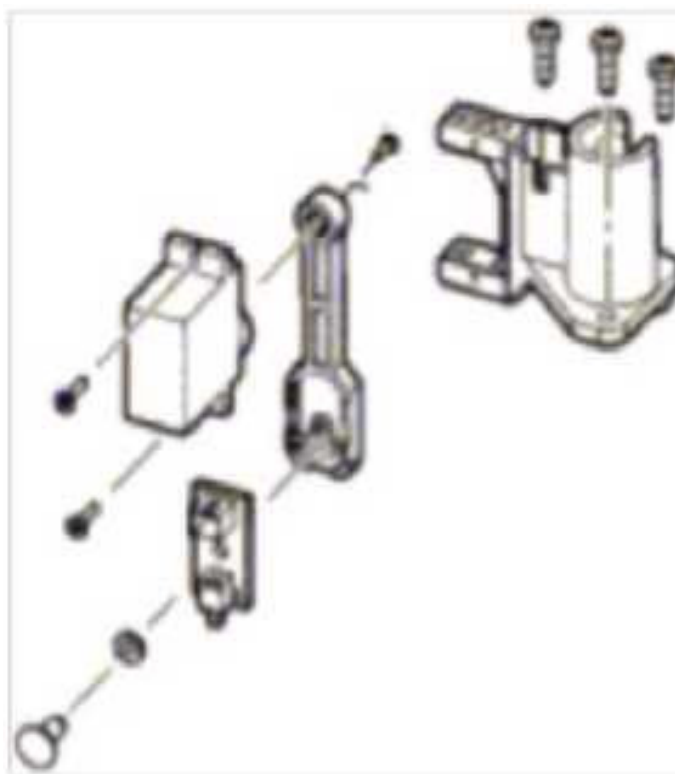


Рисунок 2.31 – Конструкція вузла

Необхідні інструменти:

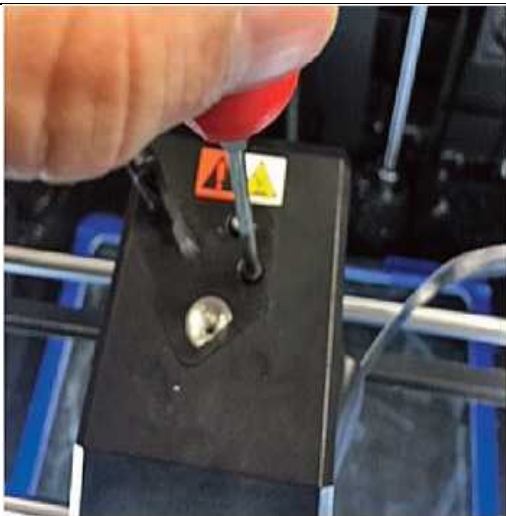
- Ножиці.
- Шестигранна насадка 2,5 мм.
- Викрутка Torx T10.

Порядок заміни кронштейна вирівнювання наведено в таблиці 2.1.

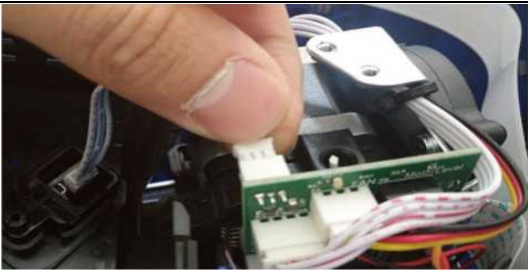
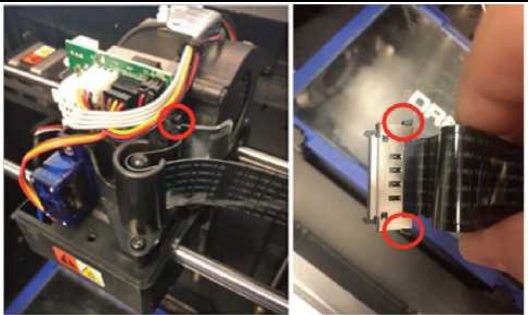
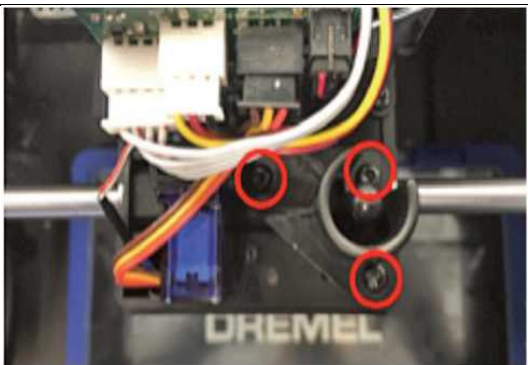
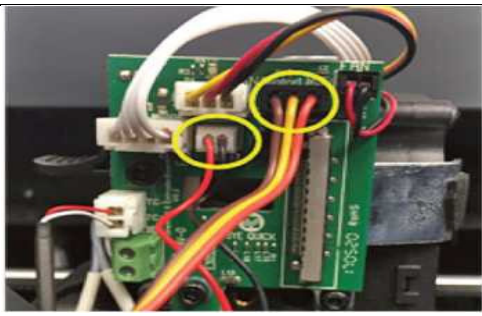
Після складання вузла екструдера та встановлення його на принтер необхідно виконати процедуру калібрування.

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Таблиця 2.1 - Процедура заміни вирівнюючого кронштейна

№ п/п	Зображення	Опис
1	2	3
		Переведіть принтер у безпечний стан. Залиште пластину та сопло, щоб температура досягла придатної для використання, а потім вимкніть принтер та від'єднайте його від джерела живлення — зачекайте 15 хвилин. Температура сопла та платформи має опуститися нижче 60°C.
2		Зніміть верхню кришку екструдера. Відріжте нитку безпосередньо перед вхідним отвором у верхній частині екструдера. Відкрутіть гвинт, розташований на бічному отворі праворуч; для цього вам знадобиться викрутка Torx T10.
3		Відкрутіть два гвинти у верхній частині кронштейна напрямної нитки за допомогою шестигранного ключа на 2,5 мм.

таблиці 2.1.

1	2	3
4		Зніміть верхню кришку, а потім від'єднайте обмежувач філаменту від плати екструдера. Е
5		кранований кабель знято. Використовуйте два чорні контакти шлейфового кабелю, щоб виштовхнути його та витягнути з плати екструдера.
6		Вийміть сервопривід вирівнювання. Зробіть це, відкрутивши три гвинти, що утримують кронштейн серводвигуна на місці — для цього вам знадобиться біта Torx T10.
7		Поверніть важіль у вертикальне положення. Після цього підніміть вузол серводвигуна вгору у вертикальному напрямку, від екструдера.
8		Від'єднайте датчик рівня (чорний та червоний дроти, як виявилось) та серводвигун (червоний, коричневий та жовтий) від плати екструдера. Встановіть важіль регулювання рівня назад.
9	Процес збирання блока екструдера здійснюється у зворотному напрямку	

Щоб виконати це завдання, виконайте такі дії:

Увімкніть принтер і відкрийте екран калібрування. З'явиться повідомлення «Level Arm Set: (1/2)». Кнопки регулювання позначені стрілками вгору та вниз, вони вказують на функції додавання та віднімання відповідно.

2. Натисніть кнопку «тест» один раз, щоб опустити вирівнювач.

3. Переконайтеся, що вирівнювальний важіль знаходиться вертикально в положенні «вгору/вниз» (див. рис. 2.32). Якщо ні, то перед регулюванням «вниз» можна скористатися кнопкою + для збільшення кута та кнопкою - для зменшення кута (див. рисок 2.33).

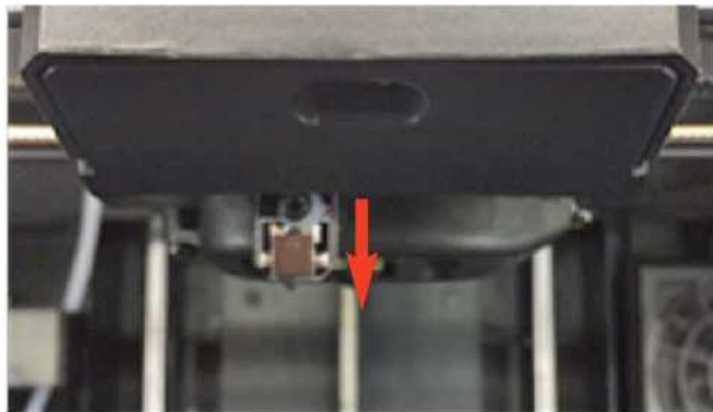


Рисунок 2.32 – Вертикальна орієнтація важеля вирівнювання.

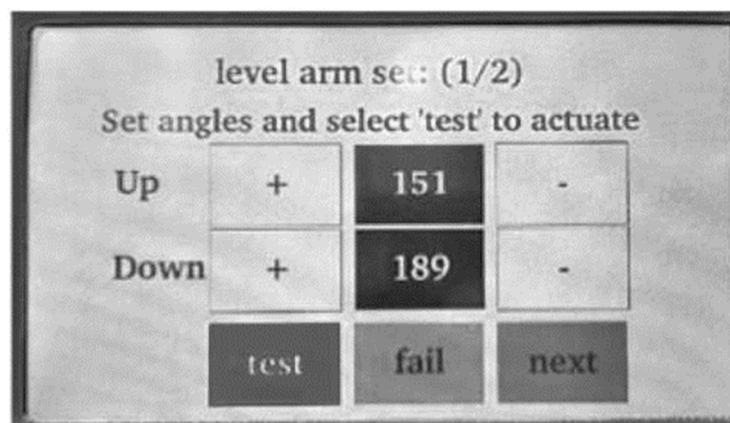


Рисунок 2.33 – Екран перевірки кута.

4. Потім двічі натисніть кнопку «тест», щоб перевірити орієнтацію після регулювання у вертикальному положенні. У разі неправильної орієнтації важеля повторіть кроки, описані вище.

5. Щоб переконатися, що важіль регулювання рівня не знаходиться у відкритому положенні, натисніть кнопку перевірки один раз, щоб повернути важіль у складене положення (див. рис. 2.34).

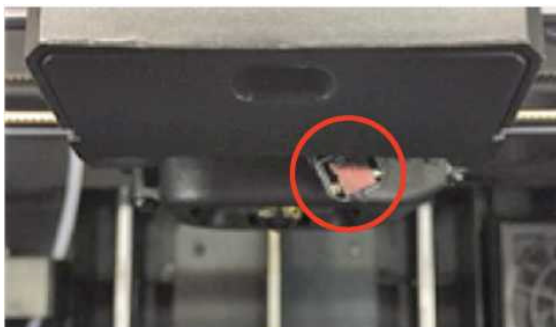


Рисунок 2.34 – Важіль регулювання рівня у складеному положенні

Якщо важіль знаходиться у відкритому положенні, натисніть кнопку «мінус», щоб зменшити кут перед положенням «вгору». Брязкання або підстрибування важеля у складеному стані свідчить про те, що кут встановлено занадто високо. У цьому випадку натисніть кнопку «плюс», щоб збільшити кут перед положенням «вгору». Важіль слід скласти, як показано на рисунку 2.35 нижче, переконавшись, що він не стирчить і не підстрибує.

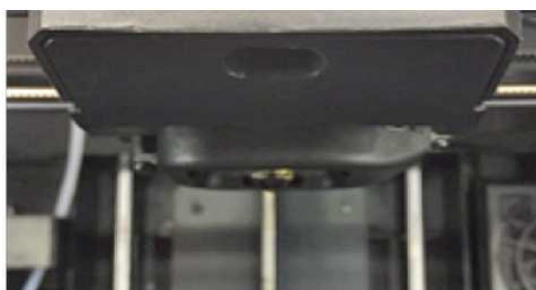


Рисунок 2.35 – Механізм вирівнювання у складеному положенні.

Якщо кути вирівняні правильно, натисніть кнопку «Далі» та перейдіть до калібрування зазору сопла.

2.2.3 Заміна датчика закінчення нитки

Якщо принтер не розпізнає, коли закінчився філамент, потрібно замінити датчик кінця філаменту, розташований на принтері. Ця процедура вимагає зняття та встановлення верхньої кришки екструдера.

Щоб виконати цю процедуру, потрібно зробити наступне. Потрібний інструмент – викрутка Torx T10, довжина якої не повинна перевищувати 10 см.

Відріжте нитку безпосередньо перед вхідним отвором у верхній частині екструдера (див. рис. 2.36).



Рисунок 2.36 - Різання нитки

2. Далі вам потрібно буде відкрутити гвинт з правого боку отвору за допомогою викрутки Torx T10 (див. рис. 2.37). Перша частина зображення показує, де знаходиться гвинт, а наступна частина показує вигляд знизу на місце, де знаходиться гвинт, причому гвинт, який потрібно викрутити, позначено червоним кольором.



Рисунок 2.37 – Послаблення стопорного гвинта

3. Викрутіть два гвинти у верхній частині кронштейна на прямої нитки за допомогою шестигранного ключа 2,5 мм.

4. Зніміть верхню кришку.

5. Від'єднайте кінцевий вимикач нитки від плати екструдера. Пам'ятайте, що потрібно витягнути пластиковий роз'єм, а не дроти, як показано на рисунку 2.38.



Рисунок 2.38 – Від'єднайте датчик від плати екструдера.

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

6. Знову під'єднайте роз'єм перемикача заливної горловини, як описано в попередньому кроці; потім продовжуйте складання компонентів у зворотному порядку.

7. Вставте філамент в екструдер і продовжуйте звичайну роботу принтера.

2.2.4 Очищення екструдера

Якщо трубка радіатора засмітилася через застрягання різьби всередині трубки, тоді пристрій потрібно очистити. Трубка може засмітитися старим волокном розжарення, яке висохло, втратило всі функції, або продуктами сторонніх виробників, які мають неправильні температури переходу. Або, іншими словами, засмічення також може виникнути, якщо використовуються невідповідні продукти сторонніх виробників з неправильними температурами переходу.

Існує багато способів очищення сопла екструдера. Інші інструменти включають:

- Плоскогубці.
- Пензель.
- Шестигранний ключ 2 мм.
- Шестигранний ключ 2,5 мм.
- Ножиці.
- Викрутка Torx T10.

Спосіб 1: Прочищення нитки.

Спочатку розігрійте екструдер, перейшовши до меню Інструменти/Попередній нагрів. Потім зачекайте, поки екструдер досягне температури, рекомендованої для вашого філаменту. Після того, як значки стануть зеленими, натисніть кнопку Продувка (див. рис. 2.39). Переконайтеся, що філамент екструдується.

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

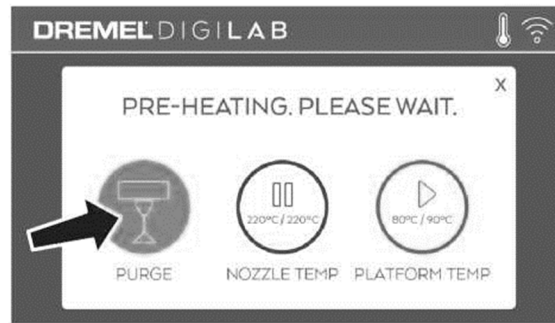


Рисунок 2.39 – Активація продувки

Якщо філамент не виходить із сопла, перейдіть до налаштувань філаменту, виберіть опцію редагування/перегляду та збільште температуру екструдера на 10°C. Після цього налаштування можна перейти до процесу попереднього нагрівання та продувки.

Спосіб 2: Видалення нитки.

Розігрійте екструдер, потім перейдіть до меню Інструменти/Попередній нагрів і дайте температурі екструдера досягти рівня, рекомендованого для нитки, як зазначено на рисунку 2.40.

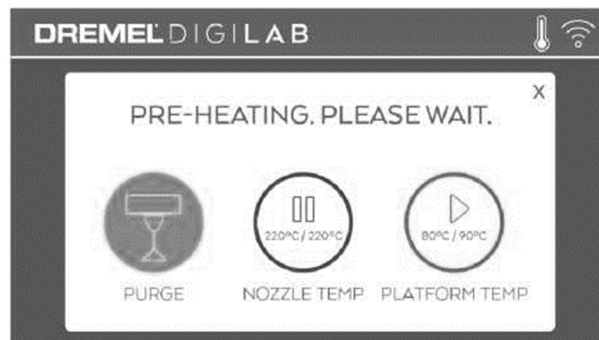


Рисунок 2.40 – Керування нагріванням нитки

За допомогою плоскогубців візьміть кінець нитки та одночасно натисніть на важіль, розташований збоку екструдера, щоб послабити натяг нитки. Тепер витягніть нитку плоскогубцями, щоб видалити її (див. рис. 2.41).

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



Рисунок 2.41 – Метод 3 для вилучення нитки: екструзія нитки

Спочатку ви обрізаєте філамент. Перейдіть до меню Інструменти/Попередній нагрів, щоб попередньо розігріти екструдер. Зачекайте, поки температура екструдера досягне рекомендованого рівня.

Потім слід натиснути на важіль, розташований збоку екструдера, щоб послабити натяг нитки. Після цього візьміть інструмент для звільнення та обережно натисніть на нього, щоб усунути блокування, як показано на рисунку 2.42.

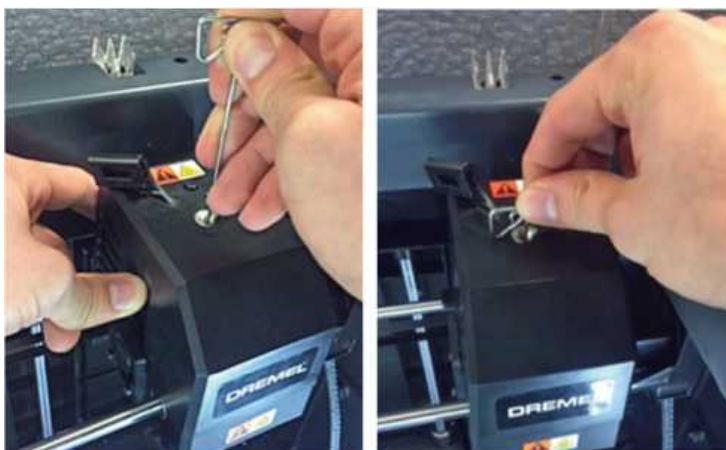


Рисунок 2.42 – Процес екструзії нитки

Спосіб 4: Перевірте кроковий двигун на наявність перешкод.

Перш за все, потрібно позбутися статичної електрики. Філамент може або застрягти всередині крокового двигуна, або накопичитися на приводній шестерні

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

його редуктора, що полегшує подачу філаменту через екструдер. Тому, щоб почистити привід крокового двигуна, потрібно розібрати екструдер.

Слід переконатися в робочому стані принтера. Увімкніть принтер і перевірте, чи індикатор температури показує «Cold» (див. рис. 2.43). Якщо принтер дійсно ще не охолонув, тоді потрібно дати соплові трохи часу, щоб досягти нижчої температури.

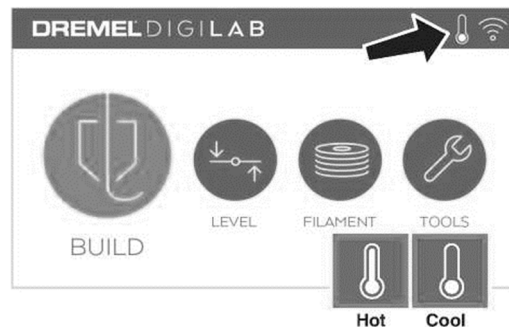


Рисунок 2.43 – Перевірка стану принтера

Вимкніть живлення та від'єднайте принтер від мережі. Зніміть верхню кришку екструдера та обріжте нитку безпосередньо перед тим, як вона ввійде у верхню частину екструдера (див. рис. 2.44).



Рисунок 2.44 – Перерізання нитки

Використовуючи викрутку Torx T10, відкрутіть гвинт, розташований праворуч від отвору, фактично роблячи те саме, що й для заміни кронштейна

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

вирівнювання. Після цього відкрутіть два гвинти зверху прямого кронштейна за допомогою шестигранного ключа на 2,5 мм і зніміть верхню кришку. Обережно зніміть роз'єм датчика подачі філаменту з плати екструдера.

Наступний крок – від'єднання двигуна екструдера. Це можна зробити, від'єднавши білу клемну коробку екструдера від роз'єму екструдера, як показано на рисунку 2.45.

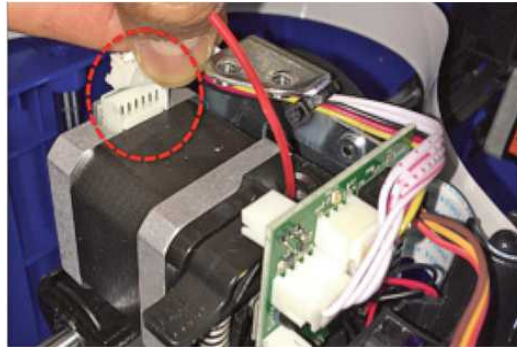


Рисунок 2.45 – Від'єднання екструдера

Далі потрібно відкрутити два гвинти, що утримують двигун, за допомогою викрутки Torx (див. рис. 2.46). Переконайтеся, що після відкручування гвинти кріплення залишаються на місці в отворах на корпусі екструдера. Щоб вийняти його, двигун екструдера слід підняти вертикально з принтера.

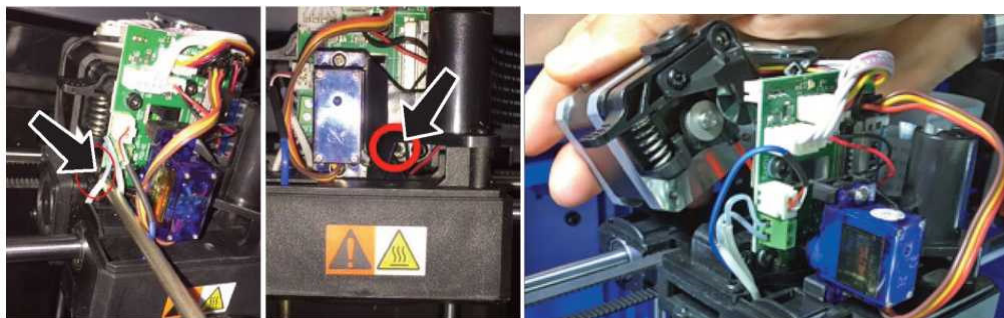


Рисунок 2.46 – Від'єднання крокового двигуна від екструдера.

Рекомендується затупити шестерню крокового двигуна для її очищення. На шестерні крокового двигуна можуть бути залишки різьби, для очищення яких слід використовувати щітку (див. рис. 2.47).



Рисунок 2.47 – Технічне обслуговування редуктора крокового двигуна

Замініть двигун екструдера, якщо він несправний. Що стосується процесу складання принтера, він виконується у зворотному порядку.

2.2.5 Заміна екструдера

Замініть сопло екструдера, якщо вузол трубки радіатора заблокований через те, що різьба проходить всередині трубки. Схема екструдера показана на рисунку 2.48.

Необхідні інструменти:

- Шестигранний ключ, 2 мм.
- Шестигранний ключ, 2,5 мм.
- Ножиці.
- Викрутка з плоским головкою, 3/32 дюйма.
- Вам знадобиться викрутка Torx T10.

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

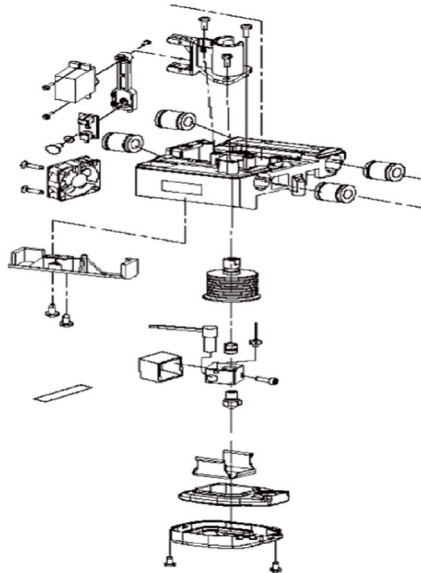


Рисунок 2.48 – Схема екструдера

Почніть з від'єднання крокового двигуна від редуктора. Також обріжте різьбу якомога ближче до верху трубки сопла та зніміть цей сегмент.

Процедура зняття сопла така. Відкрутіть гвинт сопла, показаний на рисунку 2.49, за допомогою шестигранного ключа на 2 мм. Праворуч від двигуна синього датчика рівня є наскрізний отвір для гвинта. Переконайтеся, що гвинт залишається в отворі після відкручування; можливо, знадобиться відрегулювати вирівнювання, щоб послабити стопорний гвинт.



Рисунок 2.49 – Викрутіть стопорний гвинт.

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Після цього викрутіть гвинти Torx, які утримують блок дефлектора вентилятора на місці, та обережно опустіть його (див. рис. 2.50).



Рисунок 2.50 – Розбирання блоку дефлектора вентилятора

Тепер вам потрібно буде від'єднати білий роз'єм термопарі від плати екструдера (див. рис. 2.51).

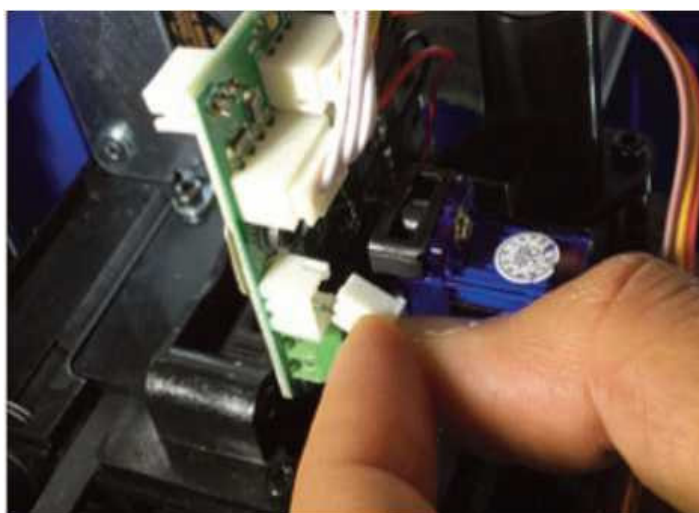


Рисунок 2.51 – Відключення термопарі

За допомогою плоскої викрутки обережно витягніть дроти нагрівача із зеленої клемної колодки на платі екструдера (див. рис. 2.52).

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

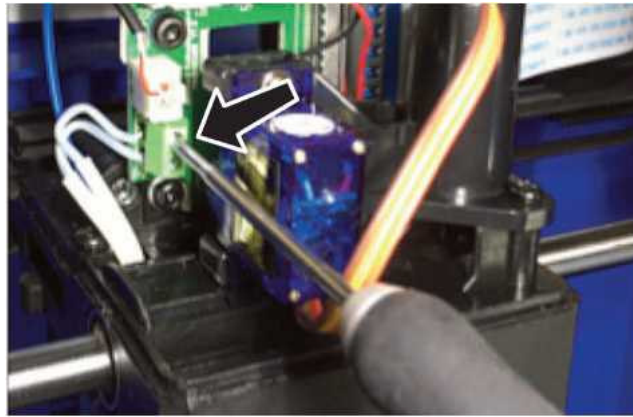


Рисунок 2.52 – Відключення обігрівача.

Потім натисніть на трубку сопла та потягніть її вниз. Вам потрібно буде взяти нагрівальний вузол, як показано на рисунку 2.53, та обережно витягнути сопло. Пальцями випряміть будь-які дроти, які можуть бути зігнуті, та проведіть їх вниз через порожнину (закриту) з ізоляцією.

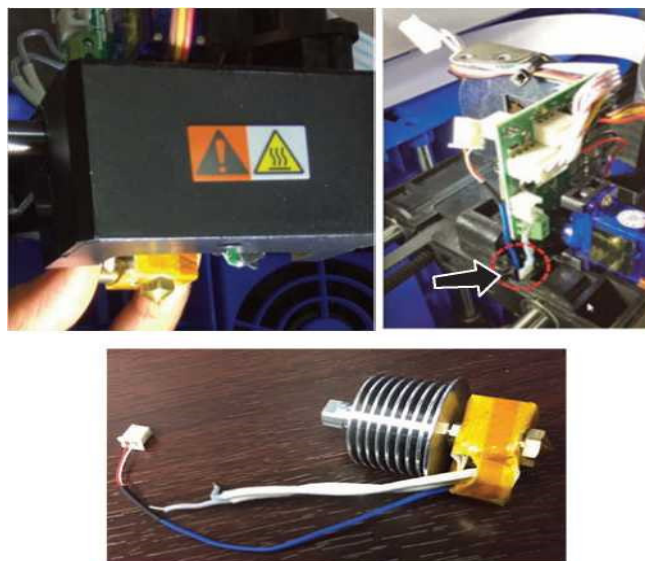


Рисунок 2.53 – Видалення сопла

Наступним кроком є встановлення нового сопла. Дуже важливо спочатку протягнути дроти через отвір у корпусі, а потім підключити їх до термопар.

					2026.КВР.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Вузол сопла слід розташувати в корпусі екструдера таким чином, щоб блок нагрівача знаходився з лівого боку (див. рис. 2.54).

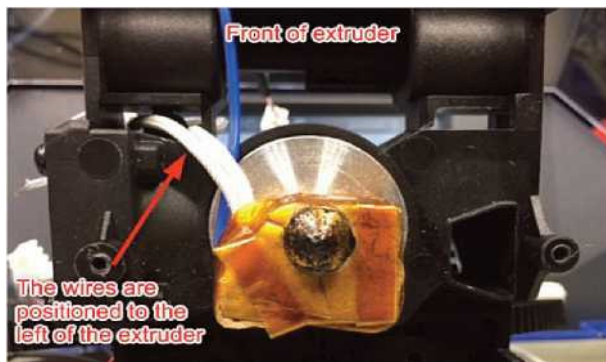


Рисунок 2.54 – Встановлення вузла сопла

Закріпіть сопло гвинтом 2 мм. Розмістіть повітряну дефлекторну систему на шасі екструдера так, щоб отвір сопла розташовувався, як показано на рисунку 2.55. Вставте вентиляторну дефлекторну систему, переконавшись, що отвори гвинтів збігаються з отворами корпусу. Потім затягніть гвинти.



Рисунок 2.55 – Встановлення блоку повітряної перегородки

					2026.KBP.123.4 18.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Більше того, встановлення компонентів та складання принтера виконуються у зворотній послідовності.

2.2.6 Послідовність виявлення та усунення несправностей

Процес усунення несправностей 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX можна звести у вигляді таблиці (таблиця 2.2), де детально описано конкретні проблеми, їх ймовірні причини та рекомендовані рішення для виправлення цих несправностей.

Таблиця 2.2 - Послідовність виявлення та усунення несправностей.

Проблема	Причина	Усунення
1	2	3
Нитка погано видавлюється, або прилипає до поверхні.	Робоча платформа не правильно виставлена за рівнем відносно головки екструдера.	Зупиніть процес створення об'єкта, очистіть робочу платформу та розпочніть процедуру автоматичного калібрування платформи. Продовжуйте друк.
Принтер висне перед початком друку.	-Конфлікт команд. -Збій прошивки.	- Вимкніть принтер, зачекайте щонайменше кілька секунд, а потім увімкніть живлення. - Отримайте найновішу версію прошивки з офіційного вебсайту та продовжте оновлення.
Підкладка не відділяється при очищенні	Не правильна орієнтація моделі.	Щоб зменшити споживання підкладки, доцільно налаштувати орієнтацію моделі у файлі програми зрізу або розташувати підкладку на іншій поверхні. Крім того, рекомендується використовувати функцію

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3
Хаотичне нагромадження друкованих елементів моделі в кінці друку.	- Надто мала площа доторку моделі до базової платформи. - Модель повністю знаходилася у висячому стані без опорних елементів. - Через сопло витискається забагато філаменту. - Головка екструдера виставлена неправильно.	- За потреби використовуйте допоміжні компоненти для елементів моделі.
Друк лише частини моделі.	- Закінчився філамент. - Засмічення каналу філаменту.	- Змініть подачу філаменту та замініть сопло екструдера.
Не виходить філамент.	- Забитий екструдер. - Філамент не вірно завантажений, або перегнутий.	- Відрегулюйте положення головки екструдера відносно поверхні робочої пластини. Вставте (або додайте) нитку та переконайтеся, що канал чистий.
Екструдер не повертається у початкове	Вихід із ладу контролерів сервоприводу	- Очистіть сопло екструдера та, в крайніх випадках, замініть його. - Вийміть філамент.
Неоднорідний шар матеріалу на розміщених під кутом елементах	Задалеко рознесені висячі частини моделі, або розміщені під занадто крутим кутом ($<45^0$).	Замініть дефектну плату та додайте додаткові допоміжні компоненти під час процесу створення моделі.
Принтер не бачить мережу Wi-Fi, або не може установити з нею зв'язок.	- Пристрій розміщено занадто далеко від безпроводного маршрутизатора. - Мережа захищена брандмауером. - Не вірний пароль входу, або SSID.	- Розташуйте пристрій поблизу бездротового маршрутизатора.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Кваліфікаційна робота присвячений технічному обслуговуванню і ремонту 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX.

Метою економічної частини кваліфікаційної роботи є здійснення економічних розрахунків, спрямованих на визначення економічної ефективності технічного обслуговування 3D-принтера, і прийняття рішення про її подальший розвиток і впровадження або ж недоцільність проведення відповідної роботи.

Розрахунок вартості НДР виконується в декілька етапів:

- описати технологічний процес розробки із зазначенням трудомісткості кожної операції;
- визначити суму витрат на оплату праці основного і допоміжного персоналу, включаючи відрахування на соціальні заходи;
- визначити суму матеріальних затрат;
- обчислити витрати на електроенергію для науково-виробничих цілей;
- розрахувати транспортні витрати;
- нарахувати суму амортизаційних відрахувань;
- визначити суму накладних витрат;
- скласти кошторис та визначити собівартість НДР;
- розрахувати ціну НДР;
- визначити економічну ефективність та термін окупності продукту.

3.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Для визначення загальної тривалості проведення НДР доцільно дані витрат часу по окремих операціях технологічного процесу звести у таблицю 3.1.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Середній час виконання НДР та стадії технологічного процесу обслуговування 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX.

№ п/п	Назва операції (стадії)	Виконавець	Середній час виконання операції, год.
1.	Підготовча	інженер	0,5
2.	Заправка нитки	технік	0,5
3.	Встановлення спеціалізованого ПЗ (слайсера)	технік	0,5
4.	Тестування працездатності принтера	інженер	1,5
Разом			3

Сумарний час виконання операцій технологічного процесу обслуговування даного принтера становить 3 годин, з них 2 години - робота інженера, решту - техніка.

3.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Відповідно до Закону України “Про оплату праці” заробітна плата – це “винагорода, обчислена, як правило, у грошовому виразі, яку власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу”.

Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Основна заробітна плата розраховується за формулою:

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$З_{осн.} = T_c \cdot K_z, \quad (3.1)$$

де T_c – тарифна ставка, грн.;

K_z – кількість відпрацьованих годин.

Виходячи з рекомендованих тарифних ставок встановимо часову ставку для інженера 180 грн./год. та для техніка 90 грн./год.

Отже основна заробітна плата для:

інженера $З_{осн1} = 180 \cdot 2 = 360$ грн.

техніка $З_{осн2} = 90 \cdot 1 = 90$ грн.

Сумарна основна заробітна плата становить:

$$З_{осн} = 360 + 90 = 450 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата становить 10–15 % від суми основної заробітної плати.

$$З_{дод.} = З_{осн.} \cdot K_{дод.}, \quad (3.2)$$

де $K_{дод.}$ – коефіцієнт додаткових виплат працівникам, 0,1–0,15.

Отже додаткова заробітна плата становить:

інженера $З_{дод1} = 360 \cdot 0,1 = 36$ грн.

техніка $З_{дод2} = 90 \cdot 0,1 = 9$ грн.

Загальна додаткова заробітна плата становить:

$$З_{дод} = 36 + 9 = 45 \text{ грн.}$$

Звідси загальні витрати на оплату праці ($B_{о.п.}$) визначаються за формулою:

$$B_{о.п.} = З_{осн} + З_{дод}, \quad (3.3)$$

$$B_{о.п.} = 450 + 45 = 495 \text{ грн.}$$

Крім того, слід визначити суму нарахування на заробітну плату:

- єдиний соціальний внесок – 22 %;

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Отже, сума нарахувань на заробітну плату буде становити:

$$B_{c.з.} = \Phi ОП \cdot 0,22 \quad (3.4)$$

де, ФОП – фонд оплати праці, грн.

$$B_{c.з.} = 495 \cdot 0,22 = 108,9 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки витрат на оплату праці зведемо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 - Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ п/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата, грн.			Додат- кова заробіт на плата, грн.	Нараху- вання на ФОП, грн.	Всього витрат и на оплату праці, грн.
		Тарифн а ставка, грн.	К-сть від- праць ов. год.	Факти чно нарах. з/пл., грн.			
1	Інженер	180	2	36	36	-	-
2	Технік	90	1	90	9	-	-
Разом				450	45	108,9	603,9

Отже загальні витрати на оплату праці становлять 603,9 грн.

3.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни:

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$M_{Bi} = q_i \cdot p_i, \quad (3.5)$$

де q_i – кількість витраченого матеріалу i -го виду;

p_i – ціна матеріалу i -го виду.

Звідси, загальні матеріальні витрати можна визначити:

$$Z_{м.в.} = \sum M_{Bi}. \quad (3.6)$$

Проведені розрахунки занесемо у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Зведені розрахунки матеріальних витрат

№ п/п	Найменування матеріальних ресурсів	Од. виміру	Факт. витрачено матеріалів	Ціна 1-ці, грн.	Загальна сума витрат, грн.
1	Робоча нитка	бобіна	1	989,7	989,7
2	Клей	стік	1	89,9	89,9
3	Набір спецсерветок	шт	1	7,5	7,5
Р а з о м	-	-	-	-	1087,1

Отже, загальна сума матеріальних витрат на обслуговування 3D-принтера становить 1087,1 грн.

3.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Затрати на електроенергію 1-ці обладнання визначаються за формулою:

$$Z_e = W \cdot T \cdot S, \quad (3.7)$$

де W – необхідна потужність, кВт;

T – кількість годин роботи обладнання;

S – вартість кіловат-години електроенергії.

Електроенергія при обслуговуванні даного пристрою використовується на 3-4 етапах (див. таблицю 3.1), сумарний час складає 2 години. При цьому принтер та комп'ютер споживають 0,62 кВт/год. Тому:

Тому: $Z_e = 0,62 * 2 * 15,94 = 19,77$ грн.

3.5 Визначення транспортних затрат

Транспортні витрати слід прогнозувати у розмірі 8–10 % від загальної суми матеріальних затрат.

$$T_{\text{в}} = Z_{\text{м.в.}} \cdot 0,08 \dots 0,1, \quad (3.8)$$

де $T_{\text{в}}$ – транспортні витрати.

Отже, $T_{\text{в}} = 1087,1 * 0,08 = 86,97$ грн.

3.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Комп'ютери та оргтехніка належать до четвертої групи основних фондів. Мінімально допустимі терміни корисного їх використання – 2 роки.

Для визначення амортизаційних відрахувань застосовуємо формулу:

$$A = \frac{B_{\text{в}} \cdot H_{\text{в}}}{100\%}, \quad (3.9)$$

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						76
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де A – амортизаційні відрахування за звітний період, грн.;

B_B – балансова вартість групи основних фондів на початок звітного періоду, грн.;

H_A – норма амортизації, %.

Оскільки для обслуговування використовується один ПК, що працює 2 год., то амортизаційні відрахування становлять:

$$A = \frac{27999 \times 0,04}{150} \times 2 = 14,93 \text{ грн.}$$

3.7 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати пов'язані з обслуговуванням виробництва, утриманням апарату управління підприємства (фірми) та створення необхідних умов праці.

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 20–60 % від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$H_v = B_{o.l.} \cdot 0,2 \dots 0,6 \quad (3.10)$$

де H_B – накладні витрати.

$$H_B = 495 \cdot 0,2 = 99 \text{ грн.}$$

3.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Результати проведених вище розрахунків зведемо у таблицю 3.4.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						77
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 - Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума, грн.	В % до загальної суми
Витрати на оплату праці (основну і додаткову заробітну плату)	495	25,89
Відрахування на соціальні заходи	108,9	5,7
Матеріальні витрати	1087,1	56,87
Витрати на електроенергію	19,77	1,03
Транспортні витрати	86,97	4,55
Амортизаційні відрахування	14,93	0,78
Накладні витрати	99	5,18
Собівартість	1911,67	100

Собівартість (C_B) НДР розраховуємо за формулою:

$$C_B = B_{o.n.} + B_{c.z.} + Z_{m.v.} + Z_e + T_e + A + H_e \cdot \quad (3.11)$$

Отже, собівартість дорівнює $C_B = 1911,67$ грн.

3.9 Розрахунок ціни НДР

Ціну НДР можна визначити за формулою:

$$Ц = \frac{C_B \cdot (1 + P_{рен.}) + K \cdot B_{i.n.}}{K} \cdot (1 + ПДВ), \quad (3.12)$$

де $P_{рен.}$ – рівень рентабельності;

K – кількість замовлень, од.;

$B_{i.n.}$ – вартість носія інформації, грн.;

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

ПДВ – ставка податку на додану вартість, (20 %).

$$\Pi = 1911,67 * (1 + 0,3) * (1 + 0,2) = 2867,51 \text{ грн.}$$

3.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Для визначення ефективності продукту розраховують чисту теперішню вартість (ЧТВ), можна визначити за формулою 3.13 та термін окупності ($T_{ок}$), який можна визначити за формулою 3.14.

$$ЧТВ = -K_B + \sum_{i=1}^t \frac{\Gamma_{\pi}}{(1+i)^i}, \quad (3.13)$$

де K_B – затрати на проєкт;

Γ_{π} – грошовий потік за t – ий рік;

t – відповідний рік проєкту;

i - величина дисконтної ставки (10...15%).

Якщо $ЧТВ \geq 0$, то проєкт може бути рекомендований до впровадження.

$$ЧТВ = 1911,67 + \frac{955,84}{(1+0,1)} + \frac{955,84}{(1+0,1)^2} + \frac{955,84}{(1+0,1)^3} = 465,37 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначається за формулою:

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

$$T_{OK} = T_{ПВ} + \frac{H_B}{G_{ПР}} \quad (3.14)$$

де $T_{ПВ}$ – період до повного відшкодування витрат, років;

H_B – невідшкодовані витрати на початок року, грн.;

$G_{ПР}$ – грошовий потік на початок року, грн.

$$T_{OK} = 2 + \frac{252,77}{955,84} = 2,3.$$

Всі дані розрахунків внесемо в зведену таблицю 3.5 техніко-економічних показників.

Таблиця 3.5 - Техніко-економічні показники технічного обслуговування принтера

№ п/п	Показник	Значення
1.	Собівартість, грн.	1911,67 грн.
2.	Плановий прибуток, грн.	955,84 грн.
3.	Ціна, грн.	2867,51 грн.
4.	Чиста теперішня вартість, грн.	465,37
5	Термін окупності, рік	2,3

Загальна вартість обслуговування 3D-принтера становить 2867,51 грн. Дану процедуру виробник рекомендує проводити кожні 4-6 місяців в залежності від умов експлуатації. Ця вартість є невисокою в порівнянні з вартістю самого пристрою і тому обслуговувати його економічно доцільно. Термін окупності становить 2,3 року, що є хорошим показником.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Інструкція щодо безпечних прийомів роботи з нагрівальними елементами (екструдером) для запобігання термічним опікам при обслуговуванні 3D-принтера Dremel DigiLab 3D40-FLX

Загальні положення.

Під час експлуатації та технічного обслуговування 3D-принтерів, що працюють за технологією FFF (Fused Filament Fabrication), одним із найбільш небезпечних виробничих факторів є вплив високих температур нагрівальних елементів екструдера. У процесі друку сопло екструдера принтера Dremel DigiLab 3D40-FLX нагрівається до температури близько 230°C, що створює ризик виникнення термічних опіків у разі випадкового контакту працівника з його поверхнею.

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці та проведення інструктажів з питань безпеки під час роботи з обладнанням підвищеної небезпеки [5]. Експлуатація та обслуговування 3D-принтера повинні здійснюватися особами, які пройшли відповідне навчання та ознайомлені з інструкцією виробника.

Основними небезпечними факторами при роботі з екструдером є:

- висока температура сопла та нагрівального блока;
- нагріта поверхня друкувальної платформи;
- можливість контакту з розплавленим полімером;
- ризик отримання опіків під час очищення сопла;
- можливість травмування рухомими частинами друкувальної головки.

Згідно з інструкцією виробника Dremel DigiLab 3D40, доторкатися до наконечника екструдера дозволяється лише після його охолодження до температури нижче 60 °C. Контакт із соплом під час роботи або відразу після завершення друку може призвести до травмування користувача [9].

Вимоги безпеки перед початком роботи.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Перед початком експлуатації або обслуговування 3D-принтера необхідно:

- провести зовнішній огляд обладнання;
- перевірити цілісність кабелів живлення;
- переконатися у справності системи охолодження екструдера;
- перевірити наявність захисних кожухів та елементів огороження;
- забезпечити достатню вентиляцію приміщення.

Робоче місце повинно бути добре освітленим та утримуватися в чистоті. Забороняється розміщення поблизу принтера легкозаймистих матеріалів та рідин. Виробник рекомендує залишати навколо пристрою вільний простір не менше 20 см для забезпечення належного теплообміну та вентиляції.

Працівник повинен використовувати такі засоби індивідуального захисту:

- захисні окуляри;
- термостійкі рукавички при проведенні сервісних робіт;
- робочий одяг із довгими рукавами.

Особливу увагу слід приділяти психофізіологічному стану працівника. Роботи з технічного обслуговування забороняється виконувати в стані втоми або зниження концентрації уваги, оскільки це підвищує ймовірність контакту з нагрітими поверхнями.

Безпечні прийоми роботи під час експлуатації екструдера.

Під час друку категорично забороняється:

- відкривати корпус принтера без необхідності;
- торкатися екструдера або друкувальної головки;
- видаляти залишки пластику руками;
- виконувати регулювання механізмів без зупинки обладнання.

У процесі друку температура сопла може перевищувати 200 °C, а розплавлений полімер здатний викликати опіки шкіри навіть при короткочасному контакті.

При необхідності контролю стану екструдера слід користуватися виключно штатними засобами моніторингу через сенсорний дисплей принтера. Забороняється перевіряти температуру нагрівальних елементів шляхом дотику.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

У випадку виникнення засмічення сопла необхідно:

- Завершити або зупинити друк.
- Відключити живлення принтера.
- Дочекатися охолодження екструдера до безпечної температури.
- Використовувати лише штатний інструмент для очищення.
- Виконувати роботи в термостійких рукавичках.
- Будь-які сервісні операції повинні проводитися лише після відключення

обладнання від електромережі. Така вимога міститься в технічній документації виробника.

Вимоги безпеки під час технічного обслуговування.

Технічне обслуговування екструдера включає:

- очищення сопла;
- заміну філаменту;
- перевірку нагрівального елемента;
- очищення вентилятора охолодження;
- контроль стану термодатчиків.

Перед виконанням будь-яких робіт необхідно:

- завершити друк;
- вимкнути живлення;
- від'єднати кабель живлення;
- дочекатися охолодження екструдера нижче 60 °C;
- перевірити відсутність залишкового нагріву.

Для контролю температури рекомендується використовувати дані системи керування принтером або безконтактний термометр.

Особливо небезпечними є роботи з демонтажу сопла. Навіть після вимкнення принтера металеві елементи можуть тривалий час зберігати високу температуру. Тому забороняється виконувати їх демонтаж без попереднього охолодження.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Під час обслуговування слід використовувати тільки інструменти, передбачені виробником обладнання. Використання сторонніх пристроїв може призвести до пошкодження нагрівального вузла та створення аварійної ситуації.

Дії у разі отримання термічного опіку.

У разі отримання термічного опіку працівник повинен:

- негайно припинити роботу.
- усунути контакт із джерелом тепла.
- охолоджувати ушкоджену ділянку прохолодною водою протягом 10–15

хвилин.

- Накласти стерильну пов'язку.
- Повідомити керівника робіт.
- За необхідності звернутися за медичною допомогою.

Забороняється:

- проколювати пухирі;
- наносити масла або жири;
- використовувати спиртовмісні речовини.

Для зменшення ризику травматизму доцільно проводити регулярні інструктажі з охорони праці та періодичне навчання персоналу правилам безпечної експлуатації адитивного обладнання.

Нагрівальні елементи екструдера 3D-принтера Dremel DigiLab 3D40-FLX є джерелом підвищеної небезпеки через високі робочі температури, що досягають 230 °C. Дотримання вимог охорони праці, використання засобів індивідуального захисту, відключення обладнання перед обслуговуванням та очікування повного охолодження екструдера дозволяють істотно знизити ризик отримання термічних опіків і забезпечити безпечну експлуатацію обладнання.

4.2 Аналіз видів електричних травм при експлуатації 3D-принтерів та організація домедичної допомоги

Аналіз видів електричних травм при експлуатації 3D-принтерів.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Сучасні 3D-принтери широко застосовуються у виробничій діяльності, навчальному процесі, наукових дослідженнях та сервісних центрах. Більшість моделей працює від мережі змінного струму напругою 220 В та містить джерела живлення, нагрівальні елементи, крокові двигуни, контролери керування та інші електротехнічні компоненти. У процесі експлуатації, технічного обслуговування або ремонту такого обладнання існує ризик ураження працівників електричним струмом [3].

Електротравма являє собою пошкодження організму людини, спричинене дією електричного струму або електричної дуги. Залежно від характеру впливу електричні травми поділяють на місцеві та загальні [6].

До місцевих електротравм належать:

- електричні опіки;
- електричні знаки;
- металізація шкіри;
- механічні пошкодження тканин;
- електроофтальмія.

Електричні опіки виникають внаслідок проходження струму через тіло людини або дії електричної дуги. Під час обслуговування 3D-принтерів небезпека зростає при роботі з відкритими блоками живлення, нагрівальними столами та екструдерами. Температура нагрівального столу може досягати 100–120 °С, а температура сопла екструдера – понад 250 °С, що додатково збільшує ризик комбінованих термоелектричних ушкоджень.

Загальні електротравми проявляються у вигляді електричних ударів різного ступеня тяжкості. При проходженні струму через організм можливі судомні скорочення м'язів, порушення дихання, фібриляція серця та клінічна смерть. Особливу небезпеку становить змінний струм промислової частоти 50 Гц, який використовується для живлення більшості моделей 3D-принтерів.

Основними причинами електротравм під час експлуатації 3D-принтерів є:

- пошкодження ізоляції проводів;
- використання несправних блоків живлення;

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

- відсутність або несправність заземлення;
- дотик до струмовідних частин під час ремонту;
- експлуатація обладнання у приміщеннях із підвищеною вологістю;
- порушення вимог інструкцій з охорони праці.

Особливо небезпечними є випадки самостійної модернізації принтерів, коли користувачі встановлюють додаткові нагрівальні елементи або блоки живлення без дотримання вимог електробезпеки. У таких ситуаціях можливе виникнення коротких замикань, пробоя ізоляції та ураження персоналу електричним струмом.

Для запобігання електротравмам необхідно забезпечити наявність захисного заземлення, використання автоматичних вимикачів та пристроїв захисного вимкнення, регулярний контроль технічного стану обладнання, а також проведення інструктажів з електробезпеки.

Організація домедичної допомоги при ураженні електричним струмом

Ефективність домедичної допомоги при електротравмах значною мірою визначає подальший прогноз для потерпілого. Основним принципом є забезпечення власної безпеки особи, яка надає допомогу, та негайне припинення дії електричного струму.

Першочерговими заходами є:

- Відключення електроживлення обладнання за допомогою вимикача або автоматичного захисту.
- Відокремлення потерпілого від струмовідних частин із використанням сухих діелектричних предметів.
- Виклик екстреної медичної допомоги за номером 103.
- Оцінювання свідомості, дихання та кровообігу потерпілого.

Якщо потерпілий перебуває у свідомості, його необхідно заспокоїти, забезпечити спокій та контроль життєво важливих функцій до прибуття медичних працівників. Навіть за відсутності зовнішніх ушкоджень постраждалий повинен бути госпіталізований, оскільки порушення серцевого ритму можуть виникнути через певний час після травми.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						86
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За відсутності свідомості необхідно перевірити наявність дихання. Якщо дихання збережене, потерпілого переводять у стабільне бокове положення та контролюють його стан.

У разі відсутності нормального дихання необхідно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію відповідно до сучасних рекомендацій домедичної допомоги. Компресії грудної клітки виконують із частотою 100–120 натискань за хвилину та глибиною 5–6 см. Співвідношення компресій і вдихів становить 30:2.

При наявності автоматичного зовнішнього дефібрилятора необхідно використовувати його згідно з голосовими підказками пристрою. Раннє проведення дефібриляції значно підвищує шанси на виживання потерпілих із фібриляцією шлуночків серця.

У разі виникнення опіків необхідно:

- охолодити ушкоджену ділянку прохолодною водою протягом 10–20 хвилин;
- накласти стерильну суху пов'язку;
- не проколювати пухирі та не наносити мазі без призначення лікаря.

При транспортуванні потерпілого необхідно контролювати його свідомість, дихання та пульс. Особи, які перенесли електротравму, підлягають обов'язковому медичному обстеженню навіть при задовільному самопочутті.

Таким чином, експлуатація та обслуговування 3D-принтерів пов'язані з ризиком виникнення електротравм різного ступеня тяжкості. Найбільш ефективним способом профілактики є дотримання вимог електробезпеки, використання справного обладнання та проведення регулярних інструктажів персоналу. Водночас працівники повинні володіти навичками надання домедичної допомоги при ураженні електричним струмом, оскільки своєчасні та правильні дії дозволяють суттєво знизити ризик тяжких наслідків і зберегти життя потерпілого.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

4.3 Захист повітряного середовища від токсичних продуктів плавлення полімерних матеріалів (PLA, ABS)

Під час виконання робіт із використанням технологій адитивного виробництва та ремонту обладнання, пов'язаного з 3D-друком, значна увага приділяється безпеці повітряного середовища робочої зони. Основними матеріалами для технології FDM (Fused Deposition Modeling) є полілактид (PLA) та акрилонітрил-бутадієн-стирол (ABS). Незважаючи на відносну безпечність цих полімерів у твердому стані, при нагріванні до температур плавлення вони здатні виділяти газоподібні продукти термічного розкладання та ультрадисперсні частинки, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Дослідження показують, що під час плавлення PLA та ABS у повітря виділяються леткі органічні сполуки (ЛОС), а також значна кількість ультрадрібних аерозольних частинок, здатних проникати у нижні відділи дихальної системи людини [10].

Найбільш небезпечним із погляду токсичності вважається ABS-пластик. Температура його екструзії зазвичай становить 220–260 °C. За таких умов у повітря можуть виділятися стирол, акрилонітрил, бутадієн та інші органічні сполуки. Стирол належить до речовин, що подразнюють слизові оболонки очей та верхніх дихальних шляхів, а при тривалому впливі можуть викликати порушення функціонування нервової системи. Крім того, під час друку ABS фіксується підвищене утворення ультрадисперсних частинок, концентрація яких значно перевищує аналогічні показники для PLA-пластику. PLA-пластик виготовляється на основі полілактиду та вважається екологічно безпечнішим матеріалом. Однак його використання також супроводжується виділенням летких продуктів термічної деструкції, серед яких можуть бути лактид, ацетальдегід та інші кисневмісні органічні сполуки. Незважаючи на нижчий рівень токсичності порівняно з ABS, тривале перебування працівників у приміщеннях із недостатньою вентиляцією може призводити до накопичення шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Особливу небезпеку становлять ультрадрібні частинки розміром менше 100 нм, які утворюються в процесі плавлення полімерів. Через свої малі розміри вони можуть

					2026.KBP.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
						88
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проникати глибоко в легені та потрапляти до кровоносної системи. Результати токсикологічних досліджень свідчать про здатність таких частинок викликати запальні реакції, оксидативний стрес та інші небажані біологічні ефекти.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно впроваджувати комплекс організаційних та технічних заходів щодо захисту повітряного середовища. Основним технічним засобом є ефективна система вентиляції. Виробничі приміщення, де експлуатуються 3D-принтери або інше обладнання для термічної обробки полімерів, повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією, яка забезпечує нормативний повітрообмін і запобігає накопиченню шкідливих речовин. Особливо ефективним рішенням є застосування місцевих витяжних пристроїв безпосередньо біля джерела утворення забруднень. Це дозволяє видаляти токсичні продукти ще до їх поширення в робочій зоні.

Сучасні системи очищення повітря додатково комплектуються високоефективними HEPA-фільтрами класу H13–H14, які затримують понад 99% ультрадисперсних частинок, а також вугільними фільтрами для поглинання летких органічних сполук. Використання таких комбінованих систем дозволяє суттєво знизити концентрацію шкідливих домішок у повітрі виробничих приміщень.

Важливим напрямом профілактики є правильна організація робочих місць. Рекомендується розміщувати обладнання для друку в окремих приміщеннях або спеціальних витяжних шафах. Бажано використовувати закриті камери друку, що обмежують поширення продуктів термічного розкладання полімерів у повітря робочої зони. Працівники повинні проходити інструктажі з охорони праці та бути поінформованими про можливі ризики, пов'язані з експлуатацією обладнання.

У випадках виконання робіт у приміщеннях із недостатньою вентиляцією або під час обслуговування обладнання доцільним є використання засобів індивідуального захисту органів дихання. Для цього застосовують фільтрувальні напівмаски класу FFP2 або FFP3, здатні затримувати дрібнодисперсні аерозолі та частково адсорбувати органічні випари.

Таким чином, захист повітряного середовища під час плавлення полімерних матеріалів PLA та ABS є важливою складовою системи охорони праці. Основними

					2026.KBP.123.418.06.00.00.P3	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

напрямами забезпечення безпеки є застосування ефективної вентиляції, локального відсмоктування забрудненого повітря, використання фільтраційних систем, раціональна організація робочих місць і застосування засобів індивідуального захисту. Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати вплив токсичних продуктів термічного розкладання полімерів на працівників та забезпечити відповідність умов праці чинним санітарно-гігієнічним вимогам.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі на тему – “Розробка проєкту технічного обслуговування 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX” було зроблено аналітичний огляд сучасних технологій 3D друку, описано функціональну схему принтера. Наведено технічні характеристики пристрою, описано панель керування, наведено технічні вимоги до витратних матеріалів, якими друкує даний принтер.

Розроблено повну інструкцію з експлуатації, методи та способи обслуговування 3D-принтера, принципи виявлення і усунення неполадок роботи, алгоритм пошуку несправностей.

Кваліфікаційна робота має економічну частину, з розрахунком собівартості робіт по обслуговуванні даної моделі 3D-принтера а також розділ, що описує питання охорони праці, та техніки безпеки при роботі з даним типом обладнання.

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

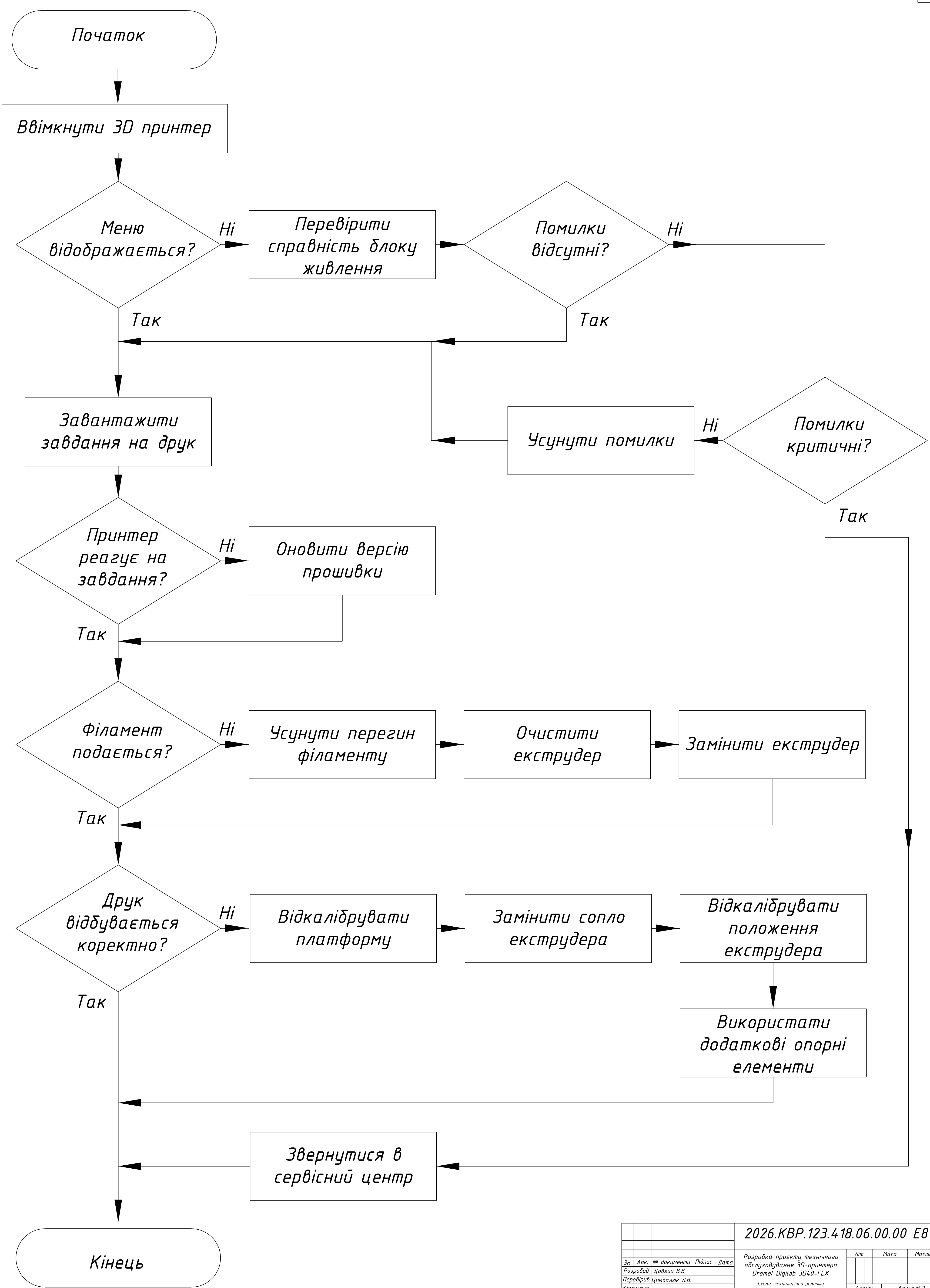
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В. В. Березуцький. Основи професійної безпеки та здоров'я людини: підручник. Харків: НТУ "ХПІ", 2018. 553 с.
2. Вовк П.Б. Технічне обслуговування ЕОМ. Курс лекцій для здобувачів освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія денної форми навчання / уклад. П.Б. Вовк. Луцьк : ТК Луцького НТУ, 2019. 86 с.
3. Жигулін О. А. Безпека праці в енергоустановках : навчальний посібник. Ніжин, 2020. 288 с.
4. Жуков І.А., Дрововозов В.І., Масловський Б.Г. Експлуатація комп'ютерних систем та мереж. Київ : НАУ, 2017. 368с.
5. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями станом на 2025 р.).
6. Лут М. Т., Радько І. П., Ковтун П. М., Окушко О. В. Охорона праці (електробезпека) : навчальний посібник. Київ, 2017. 355 с.
7. Степаненко О.С. Технічне обслуговування та ремонт IBM PC. Київ : Діалектика, 1919. 192 с.
8. Тарарака В.Д. Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2018. 383 с.
9. DREMEL 3D40 FLEX: URL: Free user manual and instructions: URL: <https://www.dremel.com/binaries/content/assets/dremel/us/digilab/digilab-support/3d40/4-manual-3d40-flex-10-18.pdf> (дата звернення: 23.05.2026).
10. Particle and Volatile Organic Compound Emissions from a 3D Printer Filament Extruder: URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8202132/?utm_source (дата звернення: 25.05.2026).

					2026.КВР.123.418.06.00.00.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

Блок-схема алгоритму пошуку несправностей
3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX

2026.KBP.123.418.06.00.00 E8



Проблеми, що виникають під час роботи
3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX
та методи їх вирішення

2026.KBP.123.4.18.06.00.01 ТБ

Опис проблеми	Причина виникнення	Методи вирішення
Нитка погано витискається, або пристає до поверхні.	Робоча платформа не правильно виставлена по робочому рівню відносно головки екструдера.	Відмінити процес створення об'єкта, провести очищення робочої платформи, запустити процес автоматичного калібрування платформи. Відновити друк.
Підкладка не може відділитися при очищенні	Не правильна орієнтація моделі.	Слід змінити орієнтацію моделі у файлу програми-слайсера для мінімізації використання підкладки, або розмістити підкладку на другорядній поверхні.
Хаотичне нагромадження елементів моделі в кінці друку.	- Замала площа дотику моделі до технологічної платформи. - Модель повністю знаходилася у висячому положення без допоміжних опорних елементів. - Через сопло витискається забагато філаменту. - Головка екструдера виставлена не вірно.	- Слід використовувати функцію попереднього перегляду у слайсері та контролювати висоту першого шару. - При необхідності використовувати для елементів моделі допоміжні опорні елементи. - Замінити сопло екструдера та відрегулювати подачу нитки. - Провести калібрування головки екструдера відносно поверхні робочої платформи.
Друк лише частини моделі.	- Закінчився філамент. - Засмічення каналу проходження філаменту.	Заменити (добавити) філамент і провести прочистку каналу.
Не виходить філамент.	- Забитий екструдер. - Філамент не правильно завантажений, або перегнутий.	- Провести очищення сопла екструдера, а у важких випадках і заміну. - Видалити філамент та повторна його завантажити.
Екструдер не повертається у початкове положення.	Вихід із ладу контролерів сервоприводу	Провести заміну несправної плати.
Неоднорідний шар матеріалу в розміщених під кутом висячих елементах моделі.	Задалеко рознесені висячі частини моделі, або розміщені під занадто крутим кутом (<450).	При створенні моделі слід використовувати додаткові опорні елементи.

					2026.KBP.123.4.18.06.00.01 ТБ				
					Розробка проекту технічного обслуговування 3D-принтера Dremel Digilab 3D40-FLX Таблиця несправностей	Літ.		Маса	Масшт.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Довгий В.В.								
Перевірив	Цимбалюк Л.В.								
Консульт.									
Реценз.						Аркуш		Аркушів 1	
Н.Контр.	Приймак В.А.					ВСП "Тернопільський фаховий коледж ТНТУ ім. Івана Пулюя гр. КІ-418сх, м. Тернопіль			
Зав. каф.									

