

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Технології машинобудування

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

зручий (магістерський)

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Дослідження конструкцій, принципів роботи,
розробка і виготовлення 3D FDM принтера

Виконав: студент VI курсу, групи М-113.4
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладна механіка

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Юбиков М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Лохинюк В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гермачев А.І.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) Другий (магістерський)
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____
 (код і назва)

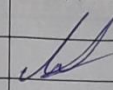
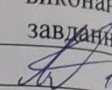
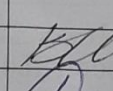
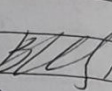
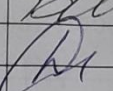
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМБ
РП доц. Дзгя С. І.
 "19" 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

- Лобшикову Миколі Володимировичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема роботи Дослідження конструкції, причини: роботи розруха; виготовлення 3D FDM принтера
 - керівник роботи Логомнов Віктор Олександрович к.т.н.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 - затверджені наказом вищого навчального закладу від "26" 11 2018 року № 366
 - Строк подання студентом роботи 10.12.2018
 - Вихідні дані до роботи технології швидкого прототипування
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд літературних джерел, механізм та електронні складові 3D принтера, аналіз та підготовка керуючої програми (G-код), охолодження пруді та необхідна у надзвичайних ситуаціях
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
науково-дослідний	Логашіков	 10.09.18	 12.11.18
Охорона праці	Шлишкіо В.І., к.т.н, доц.	 19.10.18	 19.10.18
Нормо-контроль	Ріддя С.І. доцент	 19.12.18	

7. Дата видачі завдання 27 вересня 2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	10.10.2018	
2	Розробка конструкції та вибір складових частин 3D принтера	30.10.2018	
3	Електронна складова, логіка роботи, схема з'єднання	10.11.2018	
4	Підготовка черткової програми, аналіз б-кода,	18.11.2018	
5	Схема вирішення проблеми, які виникають під час друку	22.11.2018	
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	30.11.2018	

Студент


(підпис)Лобачков М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)Логашіков В.О.
(прізвище та ініціали)



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську роботу Дослідження конструкцій принтів роботи,
(вказати тему дипломного проекту (роботи))
розробка і виготовлення 3D FDM принтера

Студент Ловчиков Микола Володимирович

Спеціальність «Триплатна механіка» , група М-113.М

Обсяг проекту повний

Кількість аркушів креслень (проектів) 20 штук

Кількість сторінок пояснювальної записки 91

а) короткий зміст проекту та прийнятих рішень проаналізовано
типи 3D FDM принтерів; вибрано тип принтера, розроблено конструкцію 3D прин-
тера, а також виготовлено 3D FDM принтера.

б) висновок про відповідність проекту завданню виконана робота
повністю відповідає поставленому завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту,
рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим
методам роботи

робота виконана на високому рівні і відповідає останнім
досягненням науки і техніки.

г) негативні особливості виконання проекту не виявлено

д) позитивні особливості розроблено оригінальна конструкція

Ф.В.М. з д. критикера.

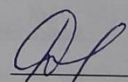
е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту
Пояснювальна записка і графічний матеріал (середня частина) виконані
у відповідності до діючих стандартів.

е) відгук про роботу загалом в цілому майстерська робота
студента Ловишова М.В. Відповідає вимогам вищої школи

ж) інші зауваження у якості зауважень можна зробити:
- в роботі присутні деякі орфографічні помилки.

з) оцінка проекту в цілому майстерська робота студента
Ловишова М.В. заслуговує оцінки „відмінно“.

Рецензію склав Зев. Ігор Тейб Деве С.І
 (посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)


 (підпис)

« 20 » грудня 20 18 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

[13:57:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №362 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:01:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №427 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:01:54] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №432 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:02:13] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №437 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:02:26] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №442 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:02:39] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №447 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:02:49] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №452 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:03:13] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №457 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:03:33] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №462 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:03:43] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №467 [2] (200070 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:03:56] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №472 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:04:07] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №477 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:04:19] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №482 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:04:38] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №487 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:04:51] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №492 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:06:22] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №497 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:08:25] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №502 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:08:45] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №507 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:09:02] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №512 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:09:21] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №517 [2] (200054 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[14:09:25] Тип проверки: *Стандартная*

[14:09:26] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 31%)**

[14:09:26] **Уникальность текста 88%[®] (Проигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Ловчиков М.В., провів
зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

12.12.2018р.

РЕФЕРАТ

ПЗ: 92 сторінки, 52 рисунок, 1 таблиця, 1 додаток, 21 джерел.

Об'єкт дослідження – декартові 3D принтер і його програмне забезпечення.

Метод дослідження – експериментальний аналіз і синтез.

Мета дослідження – дослідження конструкційних особливостей 3D принтера, логіки роботи, настройка керуючої програми, алгоритм створення G-коду.

В ході виконання магістерської роботи був проведений огляд літературних джерел, в яких описуються всі існуючі, на сьогоднішній день, технології 3D друку. Проаналізувавши всі складності створення, плюси і мінуси кожної технології, вибрали оптимальну, на основі якої, буде працювати наш 3D принтер. Провели аналіз ключових компонентів, з яких буде складатися принтер. На симуляторі 3D принтера за допомогою програми-слайсера Simplify3D, ознайомилися з G-кодом, його особливостями, проблемами, які виникають при підготовці керуючої програми, та дефектами, які виникають в процесі друку. Було проведено аналіз потенційних небезпек при роботі у лабораторії, обладнаній персональним комп'ютером з візуальним дисплейними терміналами, запропоновано заходи захорони праці, які направлені на зменшення та мінімізації дії шкідливих факторів.

3D ПРИНТЕР, FDM ДРУК, АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОГРАМА-СЛАЙСЕР SIMPLIFY3D, G-КОД, PLA І ABS ПЛАСТИК, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕШЬ	6
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ 3D ДРУКУ	8
1.1 Історія 3D друку	8
1.2 Класифікація адитивних технологій	12
1.3 FDM технологія.....	23
1.3.1 Опис, переваги і недоліки	23
1.3.2 Матеріали для FDM друку	25
1.4 Типи конструкцій FDM принтерів	26
1.4.1 Декартовий принтер.....	27
1.4.2 Дельта принтер	28
1.4.3 Полярний принтер.....	29
1.4.4 Роботизований модуль	30
1.5. Огляд програмного забезпечення.....	31
1.5.1 Cura	31
1.5.2 CraftWare	32
1.5.3 Simplify3D.....	33
1.5.4 Slic3r	34
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	36
2.1 Механічна складова	36
2.1.1 Складові частини принтера.....	38
2.1.2 Кінематика переміщення.....	42
2.2 Електронна частина	43
2.2.1 Компоненти плати Arduino	44
2.2.2 Схема з'єднання.....	46
2.2.3 Логіка роботи.....	48
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	49
3.1 Етапи підготовки керуючої програми.....	49

3.2 Параметри і режими 3D друку.....	53
3.3 Проблеми та дефекти 3D друку.....	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
4.1 Аналіз потенційних небезпек	71
4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	72
4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	73
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	79
4.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	80
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	86
Додаток А. Специфікація	88

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕШЬ

SLA, STL – Stereolithography;
CAD – Computer–Aided Design;
FDM – Fused Deposition Modeling;
ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene;
PLA – Poly Lactic Acid;
ЧПК – Числове Програмне Керування;
DLP – Digital Light Processing;
SLS – Selective Laser Sintering;
SDL – Selective Deposition Lamination;
DMLS – Direct Metal Laser Sintering;
SD – Secure Digital;

ВСТУП

3D-принтер – пристрій, що використовує метод пошарового створення фізичного об'єкта за цифровою 3D-моделлю. 3D – друк може здійснюватися різними методами і з використанням різних матеріалів, але в основі кожного метода лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердого об'єкта.

На сьогоднішній день методи тривимірного друкування можна розділити на дві групи: «Ті що видавлюють або розпилюють» та «Ті які спекають або склеюють».

Ціллю дослідження є розглянути найпоширеніші технології 3D друку, типи конструкцій 3D FDM принтерів, на основі цих даних створити власний. Проаналізувати програмне забезпечення та керуючу програму, порівняти її з керуючою програмою верстата ЧПК.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ 3D ДРУКУ

1.1 Історія 3D друку

3D-друк радикально відрізняється від традиційного метода виробництва, коли матеріал видавлюється з заготовки. Метод на основі 3D-друку дозволяє пошарово створювати деталь без заготовки, маючи тільки наявності 3D модель одержуваної деталі. Це принципова відмінність від будь-якої іншої існуючої традиційної технології виробництва.

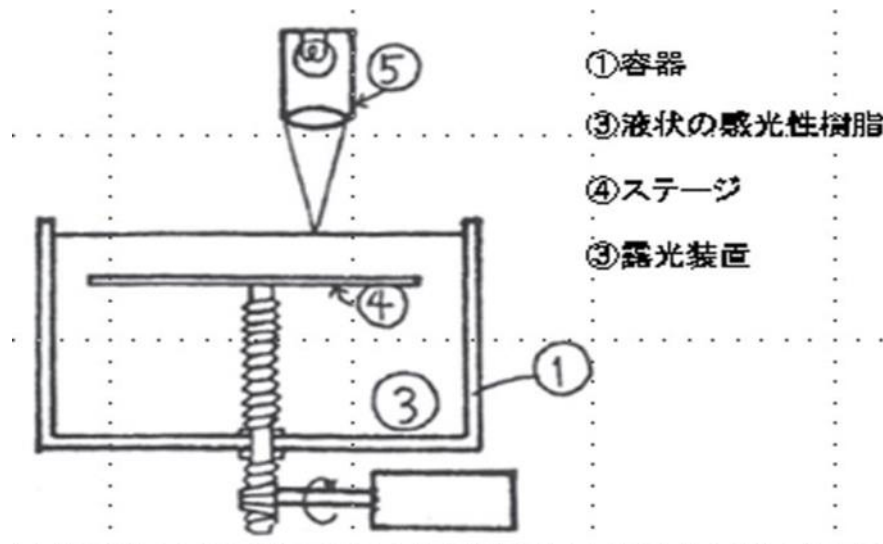
Ці технології ґрунтуються на видаленні матеріалу з заготовки, для отримання готової деталі, а також витрачаються ресурси на інструмент, прес-форму. Варто так само відзначити, що для багатьох деталей існує обмеження в дизайні, виробничі обмеження, дороге обладнання для обробки та складання деталі.

Крім того, традиційний процес отримання деталі механічним шляхом, витрачає до 90% матеріалу даремно. 3D-друк створює об'єкт відразу, шляхом додавання матеріалу шар за шаром використовуючи різноманітні види друку. В залежності від використовуваної технології цей процес, можна порівняти з конструктором Лего. 3D-друк — це свобода дизайнерської думки. Поки був інструмент були обмеження по конфігурації деталі, витрати на покупку, наладку і настройку цього інструменту, без нього зменшується вартість і час, для створення готової деталі.

3D-друк також енергоефективна технологія, яка може забезпечити екологічність виробничого процесу, використовуючи до 90% матеріалу. В останні роки 3D-друк вийшов за рамки промислового прототипування і процес виробництва. Як технологія стала більш доступною для невеликих компаній і навіть окремих фізичних осіб.

Ця технологія доступна для широкої аудиторії, у світі її кількість експоненційно збільшується з кожним роком. Все більше з'являється різних матеріалів, сфер застосування.

Перші технології 3D-друку з'явилися в кінці 1980-х років. Їх називали швидке прототипування (Rapid Prototyping). Це тому, що дані процеси спочатку були задумані, як швидкий і більш ефективний метод для створення прототипів. Найперший патент заявка на технологію RP була подана Д-р Кодама, Японія. У травні 1980 року.



1. Корпус;
3. Робоча зона;
4. Стіл для друку;
5. Лазерна установка для спікання матеріалу;

Рисунок 1.1 – Ідея тривимірного друку Хидео Кодама [<http://world-kruser.blogspot.com>]

У 1986 році, був виданий перший патент на апарат стереолітографії (SLA). Цей патент належав Чарльзу Халл, який вперше винайшов свою машину SLA в 1983. Халл став співзасновником компанії «3D систем». Ця корпорація – одна з найбільших і найбільш плодovitих організацій, що працюють в 3D поліграфічному секторі до сьогоднішнього дня.



Рисунок 1.2 – Апарат SLA-250 [www.orgprint.com]

У 1987 році, Карл Декард, який працював в Техаському університеті, подав патент в США на процес селективного лазерного спікання (SLS) швидкого прототипування. Цей патент був випущений в 1989 і SLS пізніше був ліцензований DTM Inc, яка пізніше була придбана «3D Системс».



Рисунок 1.3 – Апарат Formiga P100, має розміри $1,32 \times 1,07 \times 2,2$ м, при вазі 600 кг та робочій зоні $20 \times 25 \times 33$ см [<https://cnc3d-printer.com>]

У тому ж 1989 року Скотт Крамп, співзасновник компанії Stratasys Inc. подав патент на «модельовання методом наплавлення» (FDM). Дана технологія яка використовує процес заснований на відкритому вихідному коді моделі gerprap, що відома і сьогодні. Патент на технологію FDM був виданий компанії Stratasys в 1992 році.

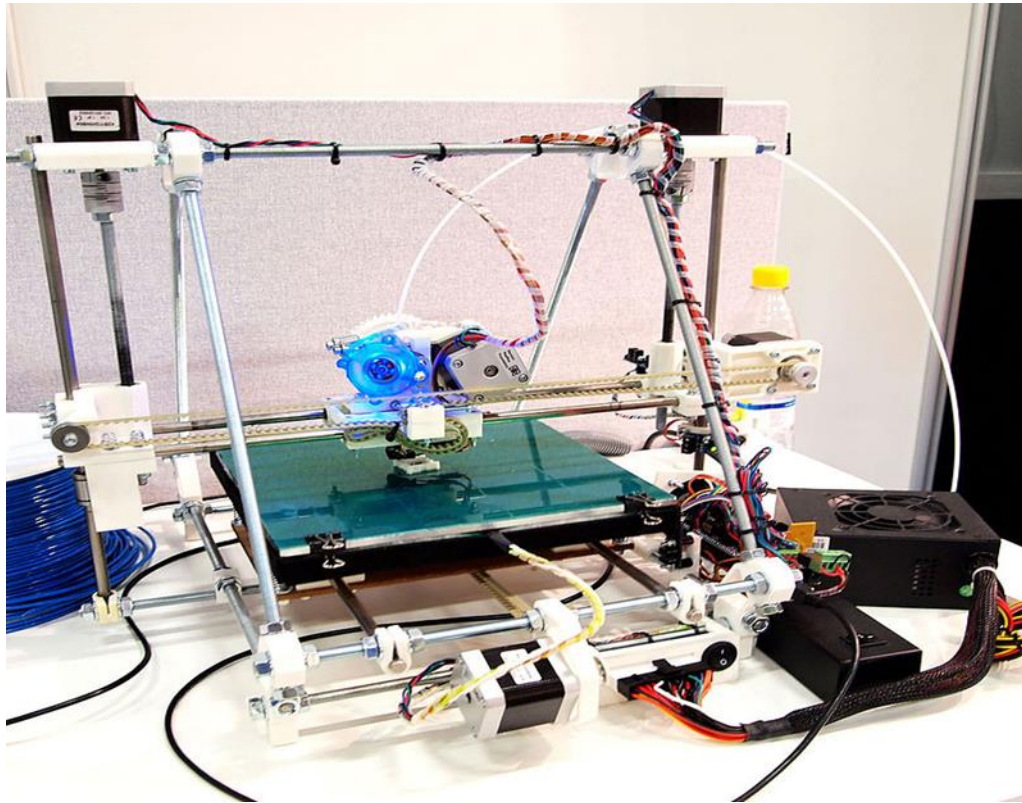


Рисунок 1.4 – Принтер типу RepRap заснований на технології FDM [en.wikipedia.org]

У 2000 році була впроваджена технологія «Селективного лазерного спікання» (SLM) Хон Корпорація та Sciaky Inc були першопрохідцями в цій технології.

Відправною точкою для будь-якого 3D друкування є 3D цифрова модель, яку можна створити, використовуючи різноманітне програмне забезпечення, наприклад 3D CAD системи. Етап STL, готова модель нарізається на шари в окремій програмі, тим самим перетворений файл читається на 3D принтері. Матеріал обробляється на 3D принтері, після цього нашаровується, згідно з конструкцією деталі та процесу печаті. Існує ряд

різних типів технологій 3D-друку, кожен процес відрізняється матеріалами, способом створення кінцевого об'єкта. Функціональні пластмаси, метали, кераміка і пісок, тепер все це зазвичай використовується для промислового прототипування. Дослідження також проводиться для 3D друкування біоматеріалів та різних видів їжі. Пластмаса в даний час широко використовуваний матеріал – зазвичай ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) або PLA (lactic acid або polylactic acid), але зростає і кількість альтернативних, включаючи нейлон. Існує також зростаюче число машин початкового рівня, які були адаптовані для харчової продукції, такі як цукор і шоколад.

1.2 Класифікація адитивних технологій

Стереолітографія (SL) – широко впізнавана, як перша технологія 3D друку. Метод заснований на опроміненні рідкої фотополімерної смоли лазером, для створення твердих фізичних моделей. Побудова моделі проводиться шар за шаром. Кожен шар викреслюється лазером згідно з даними, закладеним у тривимірну цифрову модель. Опромінення лазером призводить до полімеризації (тобто затвердіння) матеріалу в точках дотику з променем.

По завершенні побудови контуру робоча платформа занурюється в бак з рідкою смолою на дистанцію, рівну товщині одного шару – як правило, від 0,05 до 0,15 мм. Після вирівнювання поверхні рідкого матеріалу починається процес побудови наступного шару. Цикл повторюється до побудови повної моделі. Після завершення побудови, вироби промиваються, для видалення залишкового матеріалу і при необхідності, піддаються обробці в ультрафіолетовій печі, до повного затвердіння фотополімеру. Стереолітографія вимагає використання опорних структур для побудови навісних елементів моделі, аналогічно технології моделювання методом пошарового наплавлення (FDM). Опори передбачаються в файлі, що містить

цифрову модель, і виконуються з того ж фотополімерного матеріалу. По суті, опори є тимчасовими елементами конструкції, що видаляються вручну, після завершення процесу виготовлення. Тужавіння смоли відбувається внаслідок опромінення ультрафіолетовим лазером або іншим схожим джерелом енергії.

Головною перевагою стереолітографії можна вважати високу точність друку. Існуюча технологія дозволяє наносити шари товщиною 15 мікрон, що в кілька разів менше товщини людської волосини. Точність виготовлення досить висока для застосування у виробництві прототипів стоматологічних протезів та ювелірних виробів. Швидкість друку відносно висока, якщо враховувати високий допуск подібних пристроїв: час побудови однієї моделі може становити лише кілька годин, але в підсумку залежить від розміру моделі і кількості лазерних головок, які використовуються пристроєм одночасно. Відносно невеликі настільні пристрої можуть мати область побудови від 50 до 150 мм в одному вимірі. У той же час існують промислові установки, здатні друкувати великогабаритні моделі, де вироби вимірюються вже в метрах. Готові вироби можуть мати різні механічні властивості, в залежності від закладених характеристик фотополімера: існують імітатори твердих термопластиків, гуми та інших матеріалів. Стереолітографія дозволяє створювати деталі високої складності, але часто має високу вартість за рахунок відносно високої ціни витратних матеріалів. Один літр фотополімерною смоли може коштувати від \$ 80 до \$ 120, у той час як вартість пристроїв може варіюватися від \$ 10 000 до \$ 500 000.

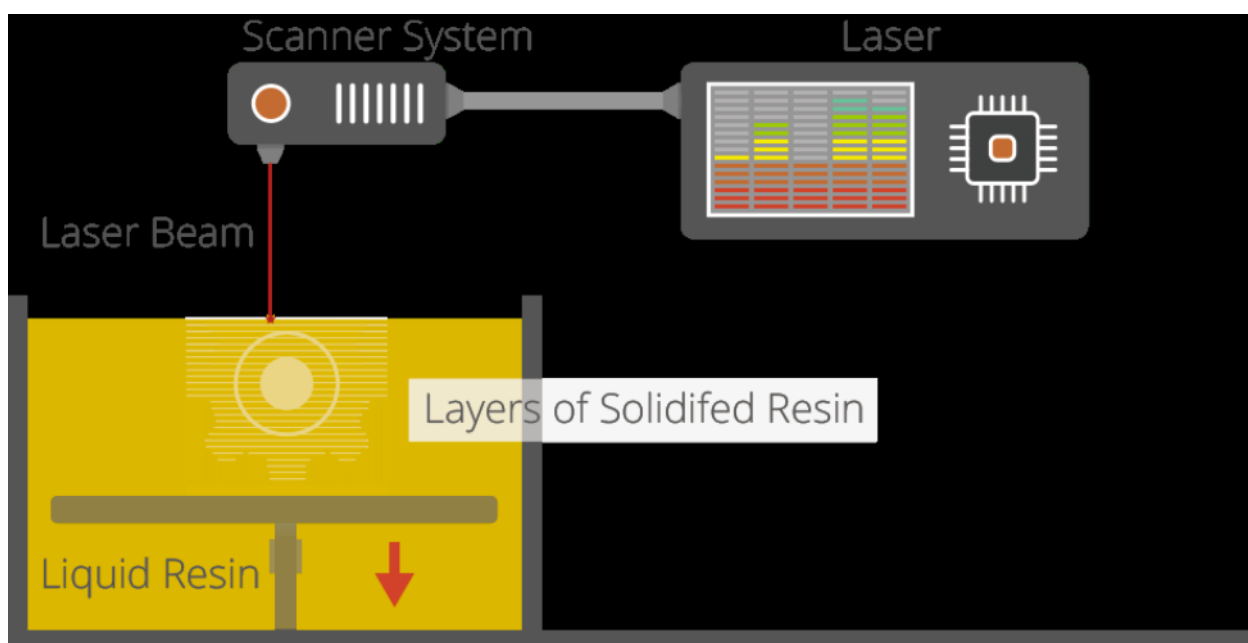


Рисунок 1.5 – Схема створення 3D моделі шляхом стереолітографії [3D-Printing-Guide]

DLP технологія – цифрова обробка світлом. Процес подібний до стереолітографії, яка працює з фотополімерами. Основною відмінністю є джерело світла. Метод використовує цифрові світлодіодні проектори (DLP), дозволяючи знижувати собівартість пристроїв. На відміну від лазерних установок, скануючих поверхню матеріалу одним або декількома лазерними проміннями, DLP принтери проєктують зображення цілого шару до затвердіння полімерної смоли, після чого наноситься новий шар матеріалу і проєктується зображення нового шару цифрової моделі. Також, як SL, DLP виготовляє дуже точні деталі з чудовою шорсткістю, але її подібності також включають ті ж вимоги для структур підтримки. Основною перевагою DLP над SLA є більш низька вартість використовуваних проекторів в порівнянні з лазерними випромінювачами та менші відходи.

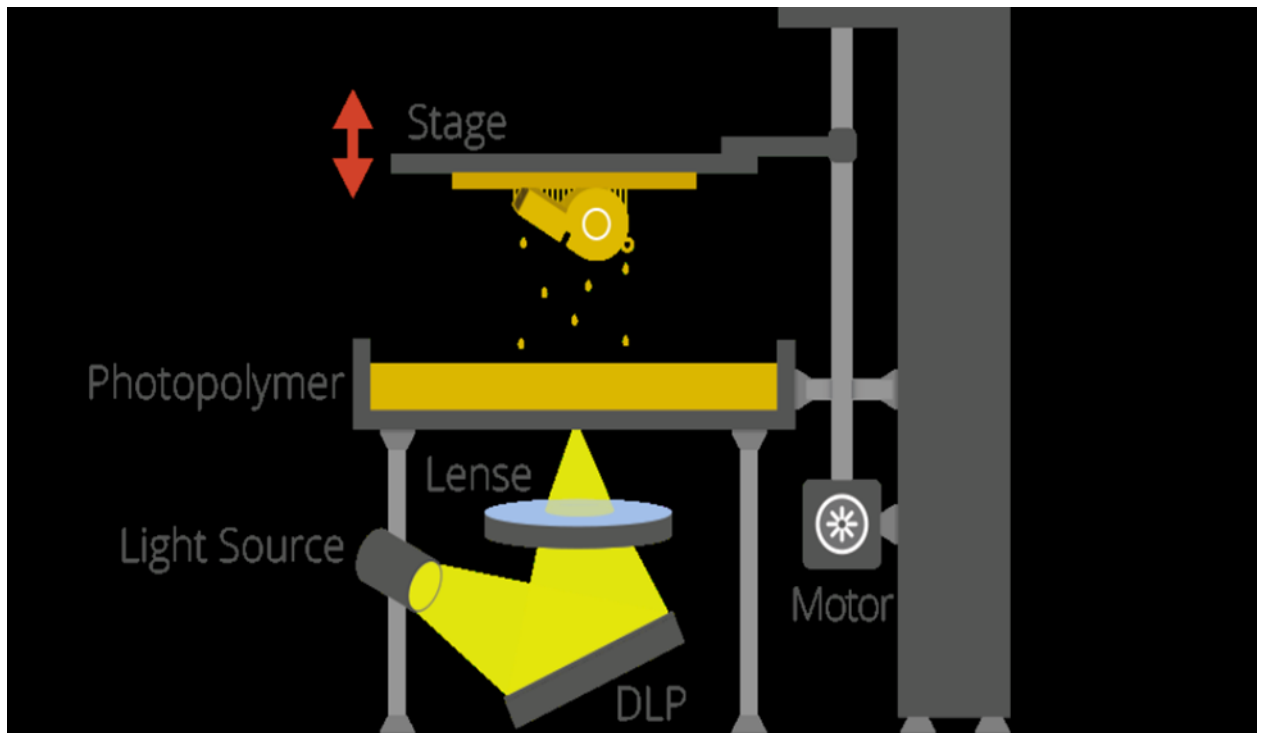


Рисунок 1.6 – Процес створення 3D моделі шляхом DLP технології [3D-Printing-Guide]

Лазерне спікання або плавлення (SLS). Технологія заснована на послідовному плавленні шарів порошкового матеріалу, за допомогою лазерів високої потужності. Лазер взаємодіє з поверхню порошкового матеріалу. Він спікається або сплавляється, утворюючи тверде тіло. У міру того як кожен шар є завершеним, bed-платформа з порошком переміщується на глибину одного шару і ролик пригладжує порошок над поверхнею bed-платформи до наступного опромінення лазером для наступного шару, який потрібно сформувати і сплавити з попереднім шаром.

Камера повністю герметична, тому що треба підтримувати точну температуру під час процесу спікання порошкоподібного матеріалу. Після завершення, весь порошок витягується із машини, для того щоб вийшли "надруковані" деталі. Один з головних переваг цього процесу, те що платформа з порошком служить підтримкою в місцях схилу і підрізу, тому складні форми які неможливо отримати в будь-який інший технології, тут можливі. Однак, з іншого боку, через високі температури лазерного спікання

час на охолодження є набагато більшим. Крім того, пористість є головним недоліком цього процесу, і поки не вдалося домогтися значних поліпшень в щільності матеріалу. Технологія спікання лазером може обробляти такі матеріали як пластмаси та метал. Частини виготовлені за цією технологією є набагато міцнішими ніж з SL або DLP, хоча поверхня і точність гірші за попередні технології.

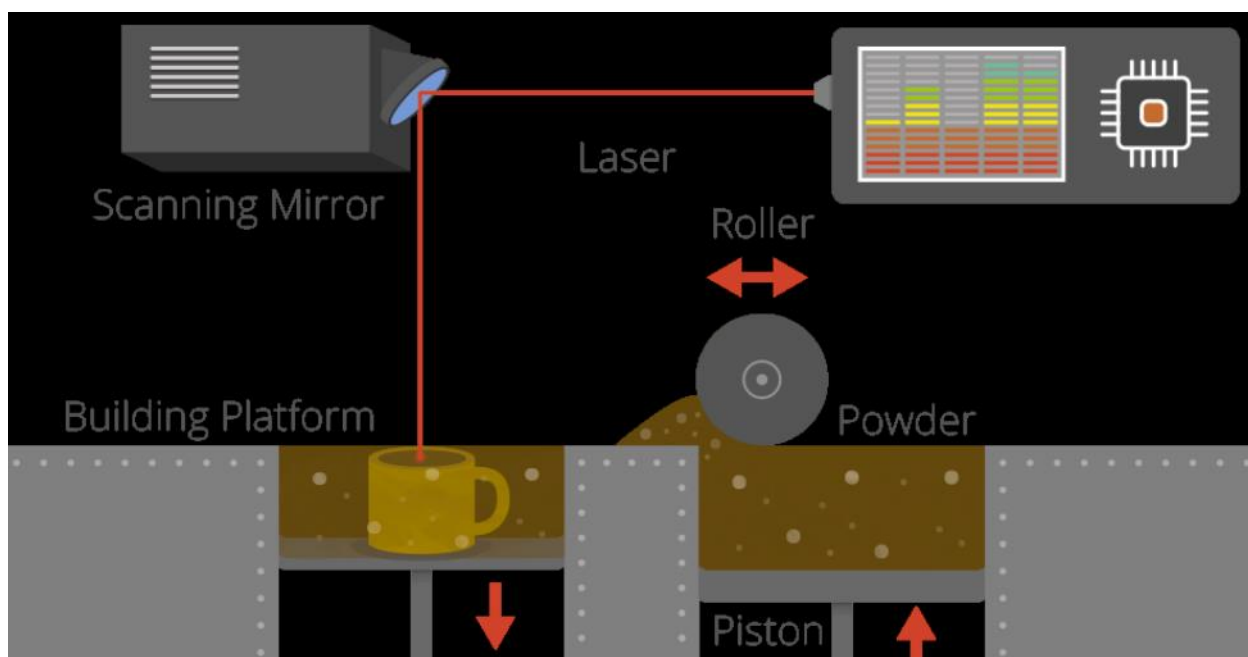


Рисунок 1.7 – Процес створення 3D моделі за SLS технологією [3D-Printing-Guide]

FDM – моделювання методом пошарового наплавлення. Технологія FDM ґрунтується на створенні тривимірних об'єктів шляхом нанесення послідовних шарів матеріалу, які повторюють контури цифрової моделі. Як правило, в якості матеріалів для друку виступають термопластики, що поставляються у вигляді котушок ниток або прутків. Точність побудови моделей за технологією FDM, багато в чому залежить від товщини друкованого шару. Ця величина може складати від 0,127 до 1 мм. Поверхня готових об'єктів зазвичай злегка ребриста (ступінчаста – в межах 0,1-1 мм). Ребристість обумовлена тим, що розплавлена нитка має округлу форму. Надати додаткову гладкість поверхні можна за допомогою пост-обробки.

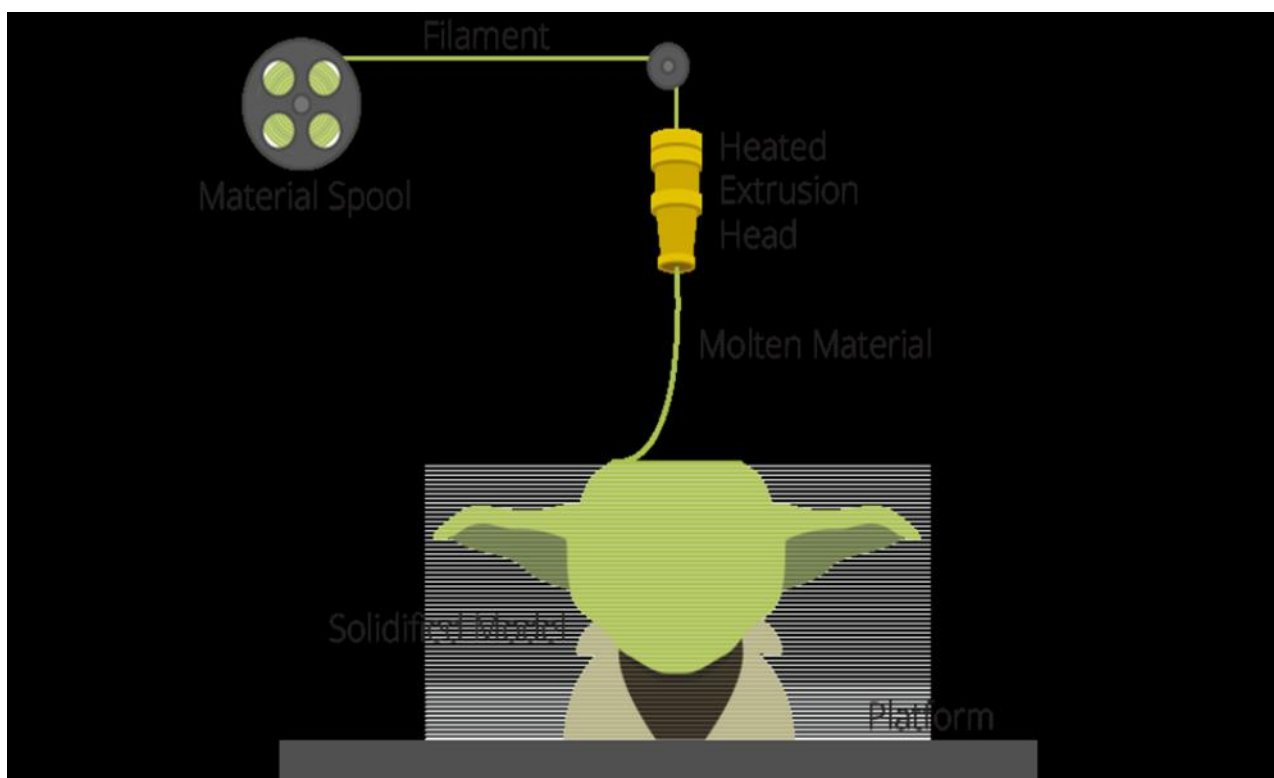


Рисунок 1.8 – Процес створення 3D моделі за FDM технологією [3D-Printing-Guide]

Струменевий тривимірний друк (3DP). Як і інші технології адитивного виробництва, це технологія пошарової побудови фізичних об'єктів на основі цифрової тривимірної моделі. В якості матеріалів використовуються різноманітні порошки, що наносяться послідовними тонкими шарами. Контури моделі викреслюються друкованою головкою, що задає сполучний матеріал. Таким чином, частки кожного нового шару склеюються між собою з попередніми шарами до виготовлення готової тривимірної моделі.

Поряд з високою універсальністю в плані використовуваних матеріалів, метод 3DP відрізняється відсутністю необхідності друку опорних структур. Однак деталі одержувані цим методом вимагають подальшої обробки для забезпечення довговічності.

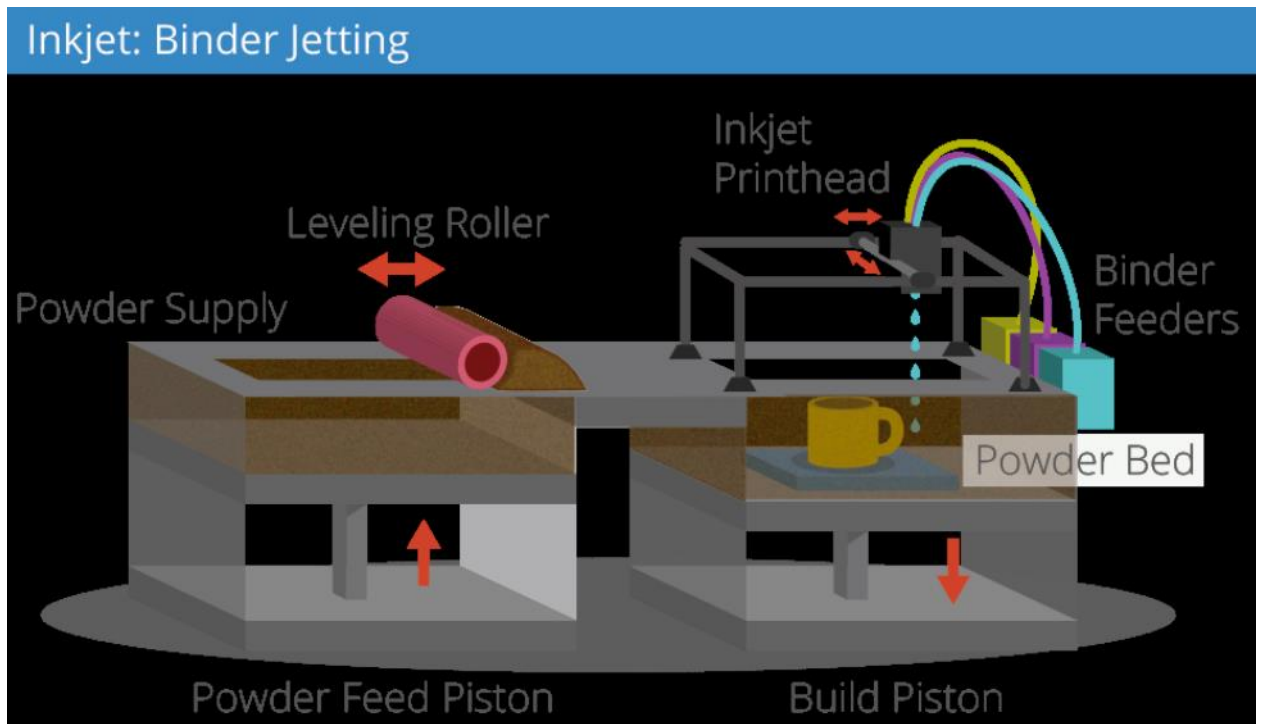


Рисунок 1.9 – Процес створення 3D моделі шляхом 3DP технології [3D-Printing-Guide]

SDL (Selective Deposition Lamination – селективне пресування). Являє собою сучасну технологію виготовлення тривимірних об'єктів, яке забезпечується шляхом склеювання і пресування листів зі спеціальним клейким покриттям.

Процес друку з використанням технології SDL виглядає наступним чином: на робочу платформу всередині принтера наноситься перший аркуш паперу з клейким покриттям, для цього використовується нагрітий ролик. Після цього контур шару висвічується за допомогою вбудованого лазера, він же відповідає за відрізання і видалення зайвих частин – надлишки розрізаються на дрібні частини і прибираються. Далі платформа зі сформованим шаром зсувається вниз, зверху прикріплюється новий клейкий лист, після чого платформа піднімається - обидва шари міцно склеюються один з одним під високим тиском. Дані дії повторюються циклічно до того моменту, як модель буде повністю сформована. Далі проводиться механічна обробка 3D-моделі. Товщина шару залежить від того, якої товщини

використовується паперовий листовий матеріал, що вносить деякі обмеження в регулювання параметрів шару. Це негативно сказується на точності та розподільній здатності друку, але у свою чергу значно прискорює і полегшує процес створення тривимірної моделі зі своїми плюсами. Часто використовується товщина паперу 100 і 190 мкм.

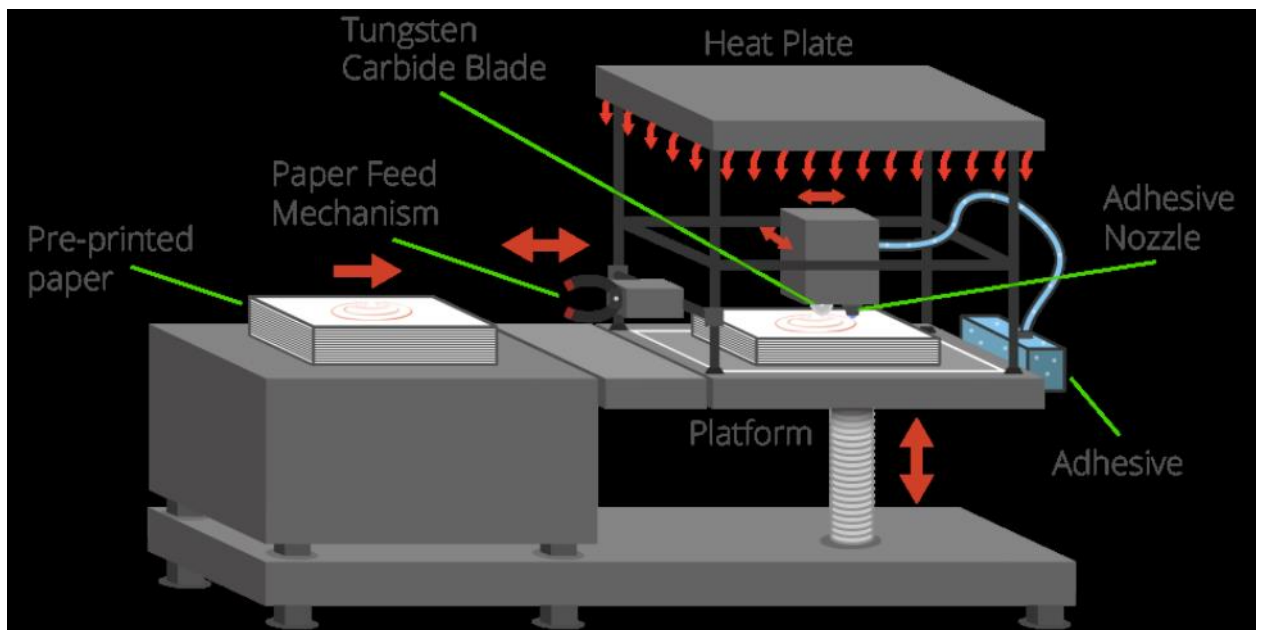


Рисунок 1.10 – Процес створення 3D моделі шляхом SDL технології [3D-Printing-Guide]

DMLS (Direct Metal Laser Sintering – пряме металеве лазерне спікання). DMLS часто плутають зі схожими технологіями вибіркового лазерного спікання («Selective Laser Sintering» або SLS) і вибіркової лазерної плавки («Selective Laser Melting» або SLM). Процес включає використання тривимірних моделей в форматі STL, як креслень, для побудови фізичних моделей. Тривимірна модель підлягає цифровій обробці для віртуального поділу на тонкі шари, товщина яких відповідає товщині шарів, що наносяться адитивною машиною. В якості нагрівального елемента для спікання металевих порошків використовуються оптоволоконні лазери високої потужності – близько 200Вт. Для підвищення продуктивності друку використовують декілька лазерів. В якості сировини використовується

металевий порошок діаметром не більше 20 мікрон, який розплавляється лазерним променем великої потужності, формуючи готовий виріб. Яких-небудь додаткових сполучних речовин або матеріалів ця технологія не вимагає, при цьому об'єкти з металевого порошку характеризуються монолітністю, міцністю і чудовими фізичними властивостями.

Іншою цікавою особливістю процесу є відсутність необхідності побудови опор для нависаючих елементів конструкції. Неспечений порошок не видаляється під час друку, а залишається в робочій камері. Таким чином, кожен наступний шар має опорну поверхню. Крім того, невитрачений матеріал може бути зібраний з робочої камери після завершення друку і використаний заново. DMLS виробництво можна вважати фактично безвідходним, що важливо при використанні дорогих матеріалів – наприклад, дорогоцінних металів.

Технологія практично не має обмежень по геометричній складності побудови, а висока точність виконання мінімізує необхідність механічної обробки надрукованих виробів.

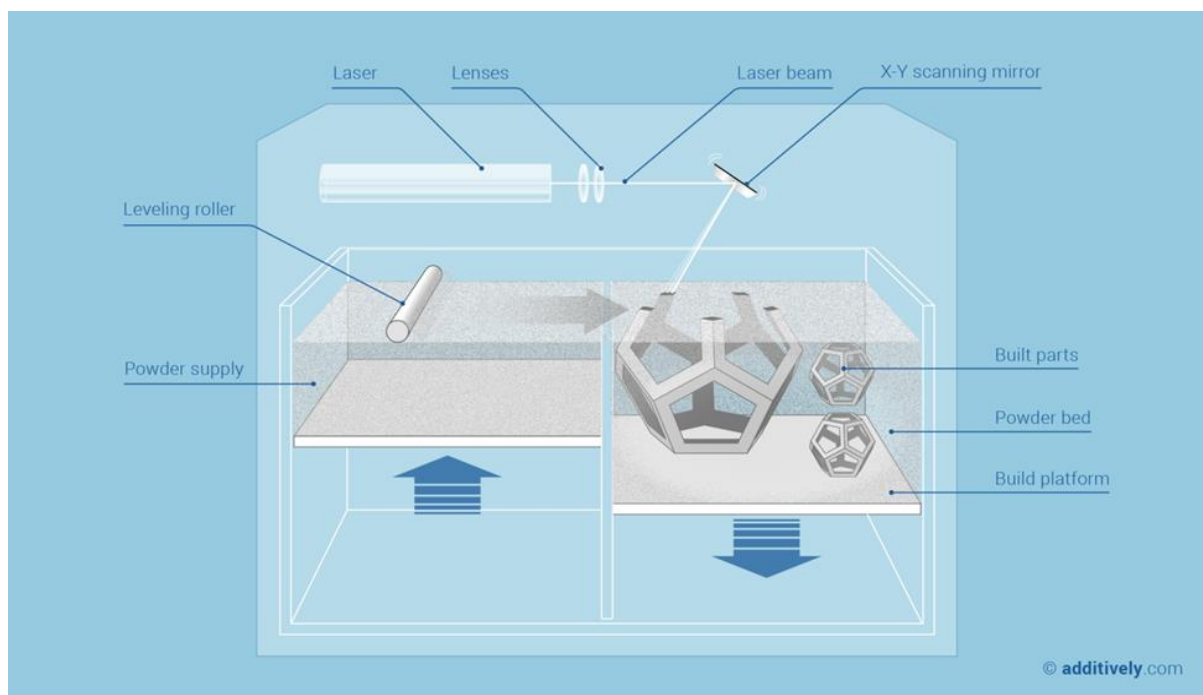


Рисунок 1.11 – Процес створення 3D моделі шляхом DMLS технології
[additively.com]

The Electron Beam Melting (Метод електронно-променевої плавки) – це процес розроблений шведською компанією Arcam. Цей метод металевої печаті дуже схожий на DMLS. Ключовою відмінністю є джерело спікання, який впливає з назви, електронний промінь, а не лазер, це означає присутність вакуумної установки. EBM має здатність створювати повноцінні вироби з різних металевих сплавів. Точність друку дозволяє друкувати медичні інструменти, і в результаті ця техніка була особливо успішною в медичній промисловості, особливо для імплантатів. Аерокосмічна і автомобільна промисловості також використовують технологію EBM для виробництва деталей. Вони повністю безпечні і екологічні.

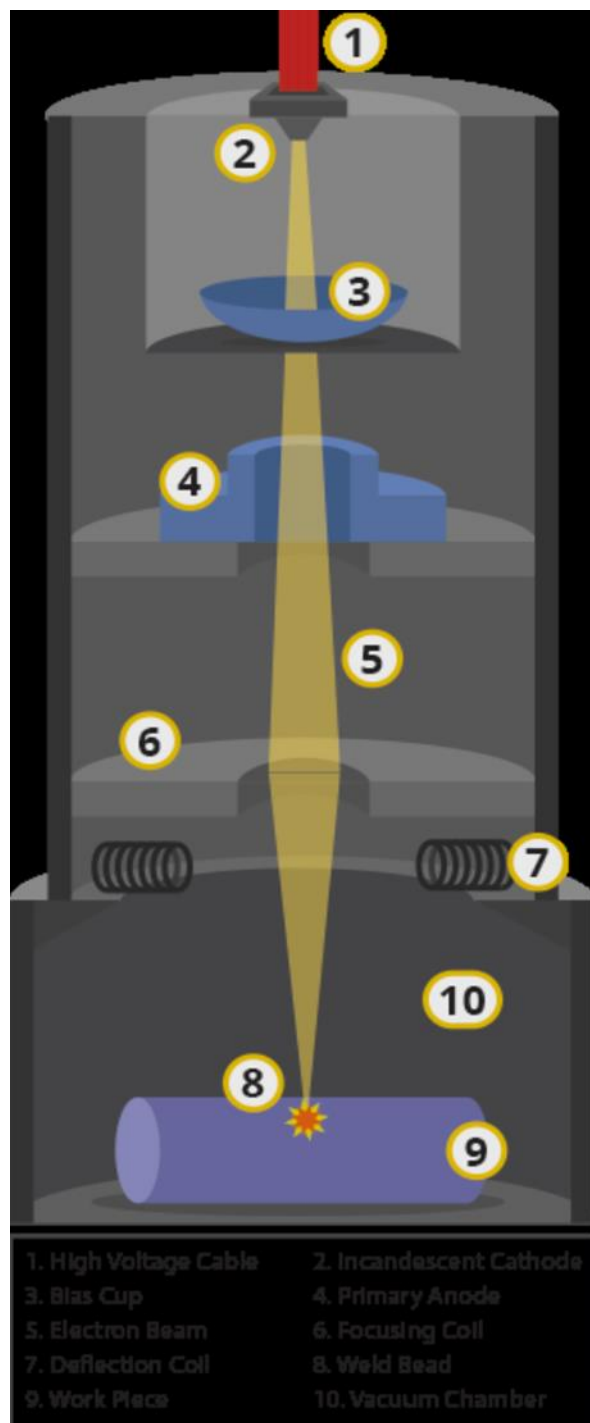


Рисунок 1.12 – Схема роботи EBM технології [3D-Printing-Guide]

1.3 FDM технологія

1.3.1 Опис, переваги і недоліки

Моделювання методом пошарового наплавлення (англ. Fused deposition modeling FDM) – технологія адитивного виробництва, широко використовувана при створенні тривимірних моделей, при прототипуванні в промисловому виробництві. Технологія FDM створює тривимірні об'єкти шляхом нанесення послідовних шарів матеріалу, які повторюють контури цифрової моделі. Як правило, в якості матеріалів для друку виступають термопластики, що поставляються у вигляді катушок ниток або прутків. [3dtoday.ru/wiki/FDM_print/]

Виробничий цикл починається з обробки тривимірної цифрової моделі. Модель в форматі STL ділиться на шари і орієнтується найбільш вдалим чином для друку. При необхідності генеруються підтримуючі структури, необхідні для друку нависаючих елементів. Деякі пристрої дозволяють використовувати різні матеріали під час одного виробничого циклу. Наприклад, можливий друк моделі з одного матеріалу, а підтримуючі опори з іншого, легкокорозійного матеріалу, що дозволяє з легкістю видаляти його після завершення процесу друку. Також, можливий друк різними кольорами одного і того ж виду пластику при створенні єдиної моделі.

Виріб формується завдяки «екструзії», тобто видавлюванням розплавленого термопластика, що відразу застигає.

Екструдер переміщається в горизонтальній і вертикальній площинах під контролем алгоритмів, аналогічно тим що використовуються в верстатах з числовим програмним управлінням. Сопло переміщається по траєкторії, заданою системою автоматизованого проектування («САПР» або «САМ» за англійською термінологією). Модель будується шар за шаром, від низу до верху. Як правило, екструдер («друкована головка») приводиться в рух моторами або сервоприводами. Найбільш поширеною системою координат, яка застосовується в FDM, є декартова, побудована на прямокутному

тривимірному просторі з осями X, Y і Z. Альтернативою є циліндрична система координат, яка використовується так званими «дельта-принтерами».

Переваги методу:

- дешева і широко поширена сировина для друку (полімери і пластик);
- проста у виготовленні і ремонті механічна частина пристрою;
- можливість використання великої палітри кольорів для друку;
- невисока вартість друку;
- стабільна точність друку;
- масова настройка виготовлених деталей;

Недоліки:

- розтікання пластика через нагрівання за межі друкованої області;
- обмеження застосування інших матеріалів крім тих, що можна розплавити і продавити через сопло екструдера;
- чутливість до перепадів температур під час процесу друку.

1.3.2 Матеріали для FDM друку

На сьогоднішній момент існує велика різноманітність різних типів матеріалів (порошок, нитка, гранули, смола і т. д.). В даний час конкретні матеріали розроблені для конкретних платформ, що виконують спеціалізовані продукти й деталі.

1.3.2.1 Нейлон

Зазвичай використовується у вигляді порошку в процесі спікання, або у формі нитки в процесі FDM. Це сильний, гнучкий і міцний пластиковий матеріал, що виявився відповідним і надійним для 3D друку. Нитка має природно білий колір, але може бути забарвлений – до, або після друку. Цей матеріал також може бути комбінований (порошкової форми) з порошкоподібним алюмінієм для виробництва тривимірної деталі, матеріал

називається – Alumide. ABS – ще один поширений пластик, який використовується для 3D-друку за FDM технологією, завжди в формі нитки. Це особливо міцний пластик і поставляється в широкому діапазоні кольорів. PLA – це біорозкладний пластиковий матеріал, який набрав популярності в 3D-печатті саме з цієї причини. Його можна використовувати у вигляді смоли для процесів DLP / SL, а також у формі нитки для FDM. Він пропонується в різних кольорах, а також прозорим, який виявився корисним варіантом для деяких застосувань 3D-друку. Однак цей вид пластику не такий довговічний і не такий гнучкий, як ABS. LayWood – це спеціально розроблений тривимірний друкований матеріал для початкового рівня екструзії 3D-принтерів. Він має форму нитки і є деревно-полімерним композитом (також відомий як WPC). [3D Printing-Guide, стр 40]

1.3.2.2 Метали та металеві композити

Метали все частіше використовують в промисловості швидкого прототипування. На перший план з використання вийшли такі метали як, алюміній і кобальт. Лідерство ж у цьому списку займає нержавіюча сталь у вигляді порошку для спікання / плавлення / EBM. Вона є природно сріблястою, але може бути покритою іншими матеріалами, щоб отримати золотий або бронзовий ефект. За останні пару років золото і срібло були додані в діапазон металевих матеріалів, які можуть бути надруковані безпосередньо 3D друком, з застосуванням в ювелірному секторі. Це дуже міцні матеріали і обробляються у вигляді порошку. Титан, є одним з найміцнішим металевих матеріалів і був використаний для 3D-друку в промислових додатках протягом деякого часу. Поставляється у вигляді порошку. Його можна використовувати для спікання / плавлення / EBM. [3D Printing-Guide, стр 41]

1.3.2.3 Кераміка

Кераміка – відносно нова група матеріалів, які можна використовуватися для 3D-друку. Особливе значення цього матеріалу полягає в тому, що постобробка, повинна пройти всі ті ж процеси що і керамічні вироби виконані традиційним методом виробництва, а саме випал і скління.

1.3.2.4 Папір

Стандартний папір, папір-копіювальний, це тривимірний друкований матеріал, що використовується в процесі SDL. Акцент зроблений на легкодоступність, економічне вигідне матеріальне постачання, яке можна купити в будь-якій точці світу. 3D-моделі, зроблені з паперу, безпечні, нешкідливі для навколишнього середовища, легко піддається вторинній переобробці й не потребують подальшої обробки.

1.3.2.5 Біоматеріали

Існує величезна кількість досліджень в області медицини, а саме біоматеріалів на основі яких можна буде відтворити людські клітини і тканини. Інші дослідження в цій області зосереджені на розробці продуктів харчування, найбільш яскравим прикладом є м'ясо і шоколад. [3D Printing-Guide, стр 42]

1.4 Типи конструкцій FDM принтерів

У світі існує величезна кількість різних по конфігурації 3D принтерів, але всі вони створені на основі чотирьох різних типів 3D-принтерів FDM друку: декартової, дельта, полярної та роботизованої руки (маніпулятор).

1.4.1 Декартовий принтер

Принтер на основі декартової системи координат або декартовий принтер є найбільш поширеним 3D-принтером FDM, який існує на ринку. В основі лежить математична система координат, що використовує три осі: X , Y і Z для визначення правильного положення і напрямку друкуючої головки. З цим типом принтера екструдер зазвичай переміщається по осях X , Y , а робочий стіл на якому відбувається процес створення моделі – по осі Z .

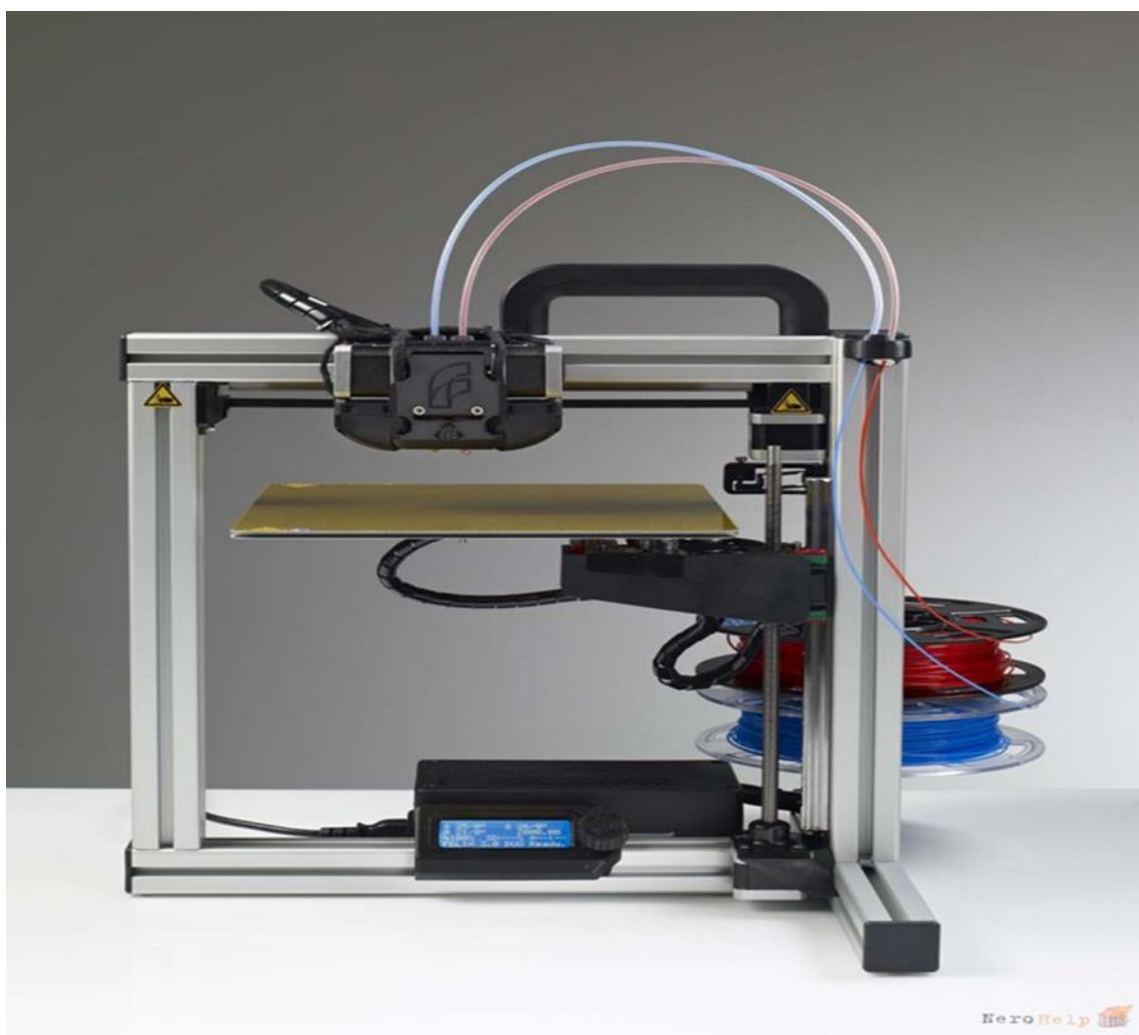


Рисунок 1.13 – Декартовий принтер

1.4.2 Дельта принтер

Дельта принтер, працює з декартовими координатами, але зовсім не схожий на декартовий принтер. Він отримав таку назву завдяки розташованим по колу маніпуляторам, які надають рух екструдеру який переміщається по трьох координатах X , Y і Z . Має круглий нерухомий робочий стіл. Розробники такого принтера розраховували на прискорення процесу друку. Однак багато хто вважає, що цей тип принтера не такий точний, як звичайний декартових принтер.



Рисунок 1.14 – Дельта принтер

1.4.3 Полярний принтер

Принтер використовує полярну систему координат (радіус, кут) для розрахунку траєкторії екструдера, замість стандартної декартової системи (x , y). Пристрій приймає стандартні значення при отриманні креслень моделі, але автоматично конвертує їх у відповідні полярні координати.

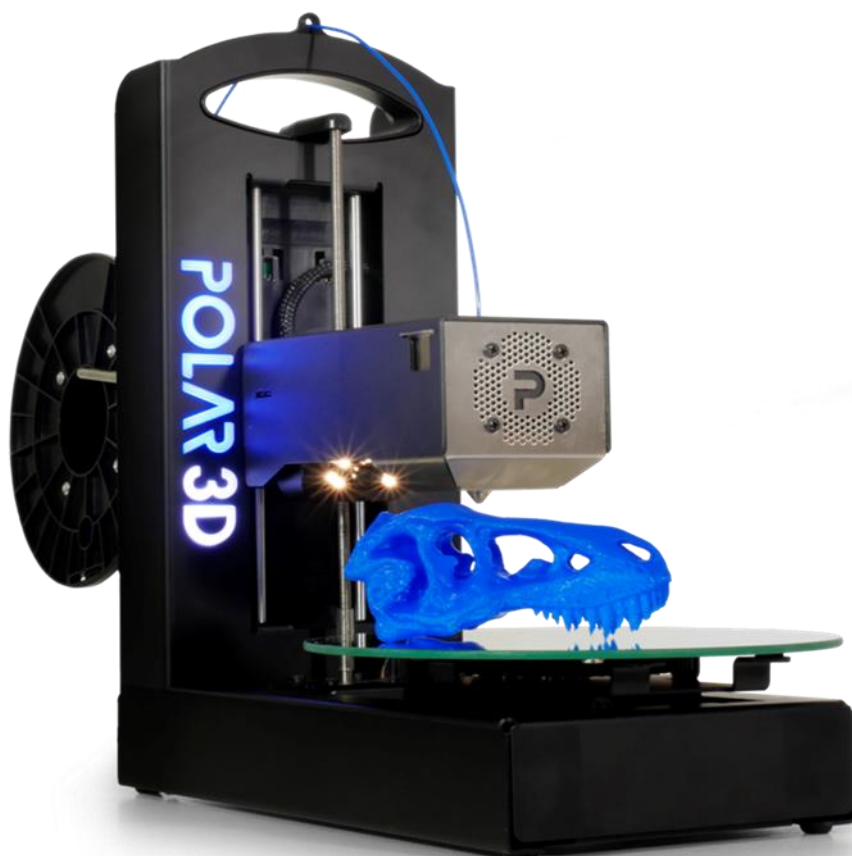


Рисунок 1.15 – Полярний принтер

1.4.4 Роботизований модуль

Це дуже рідкісний тип принтера, який (поки) не з'явився на ринку, хоча вони використовуються у закритих лабораторіях різних підприємств. У цьому типі принтера, друкуюча голівка прикріплена в кінці багатокоординатного маніпулятора і може друкувати на столі друку або діяти всюди, обмежується він тільки досяжністю своєї «руки». Хоча це не широко використовуваний процес друку, цей спосіб починає набувати широке використання. Це пов'язано з тим, що процес друку не закріплений на друкованій платформі, що робить його більш мобільним. Крім того, завдяки гнучкості при розміщенні головки 3D-принтера легше створювати складні структури. Слід, однак, відзначити, що остаточна якість друку не така добра, як у вищеперерахованих принтерах.



Рисунок 1.16 – Роботизований модуль

1.5 Огляд програмного забезпечення

Тривимірному принтеру перш ніж надрукувати фізичне тіло потрібно мати проміжний файл між 3D моделлю та готовим виробом. Такий файл називається STL – це геометричне уявлення інструкцій: скільки видавити пластика, де і як швидко переміщати сопло, як далеко і коли опустити платформу, яка температура екструдера потрібна бути. Справжні механічні рухи кодуються в окремому файлі, а тип файлу залежить від відповідного принтера. Більшість FDM принтерів використовують відкритий тип файлу, G-код, який являє собою ASCII-представлення всіх значень, необхідних для створення об'єкта. G-код дуже зручний в тому, що це всього лише текстовий файл. Ви можете вручну змінити відомі значення, щоб змінити спосіб друку. Якщо ви хочете знизити температуру екструзії, нема потреби перекодувати файл. Ви може просто змінити значення, коли ви знаєте, де воно знаходиться. G-код також відкритий, це означає, що є можливість його створити. Процес переходу з файлу STL в G-код, для тривимірного друку називається «слайсуванням». Цей процес нарізає тривимірну модель на тонкі шари, які принтер буде відтворювати. Деякі програми для нарізання має багато контролю над друком та налаштуваннями, дозволяючи налаштовувати модель на оптимальний режим друку. Програми дозволяють розміщувати моделі в віртуальному 3D принтері й візуально спостерігати за змінами всіх обраних вами налаштувань. [Library Technology REPORTS]

1.5.1 Cura

Cura – це стандартна програма-слайсер для всіх 3D-принтерів Ultimaker, але її можна використовувати і з більшістю інших, включаючи RepRap, Makerbot, Printbot, Lulzbot і Witbox. У програми повністю відкритий вихідний код, її можливості можна розширювати за допомогою плагінів. Ця програма дуже легка у використанні і дозволяє управляти найважливішими

параметрами 3D-друку через зрозумілий інтерфейс. Програма має декілька режимів налаштувань друку, «новачок» дозволяє швидко увійти в курс справи і змінити налаштування якості друку. «Експерт», надає більш тонкий контроль. Програму Cura можна використовувати і для прямого управління принтером, але тоді принтер та комп'ютер повинні бути з'єднані один з одним. [<https://3dpt.ru/page/soft>]

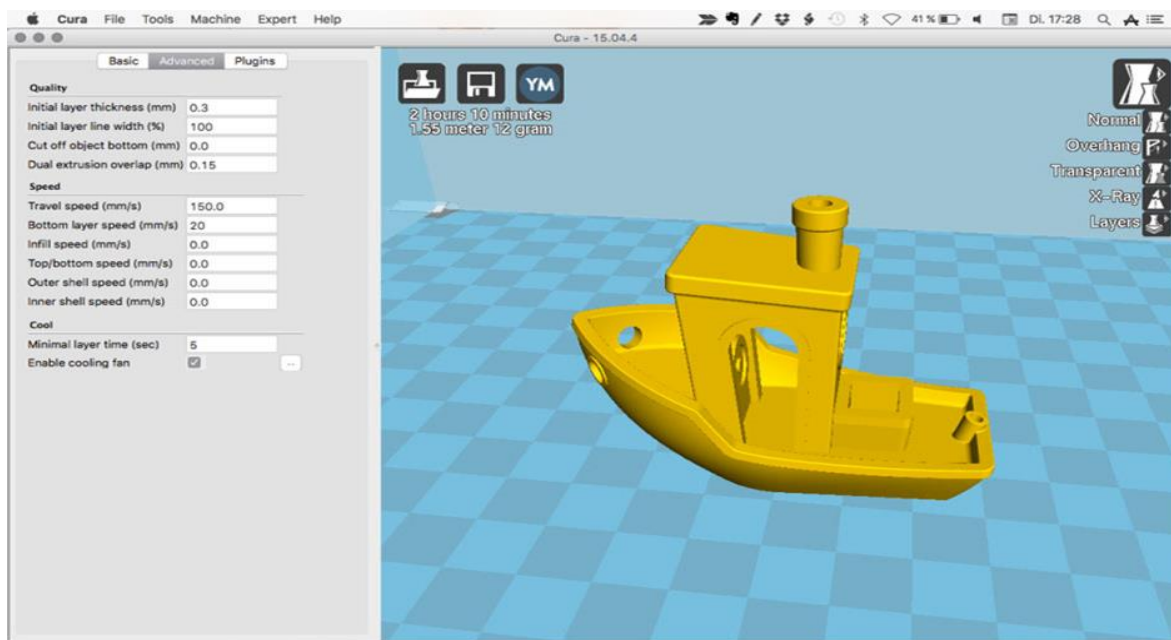


Рисунок 1.17 – Меню налаштувань програми-слайсера Cura [<https://3dpt.ru/page/soft>]

1.5.2 CraftWare

Інша програма-слайсер, розроблена виробником 3D-принтерів, угорським стартапом CraftUnique, для підтримки свого краудфандингового апарату CraftBot. Втім, програма працює і з іншими принтерами. Як і в Cura, в CraftWare можна перемикнути з «легкого» на «експертний» режим – в залежності від того, наскільки добре ви знайомі з особливостями налаштувань. Відмінністю програми є візуалізація G-коду, на якому кожна функція представлена своїм кольором, а також індивідуальна служба підтримки. Однак, варто звернути увагу, що ця програма ще проходить

етапи доробки, тому можливий збій програми і різні помилки.
[<https://3dpt.ru/page/soft>]

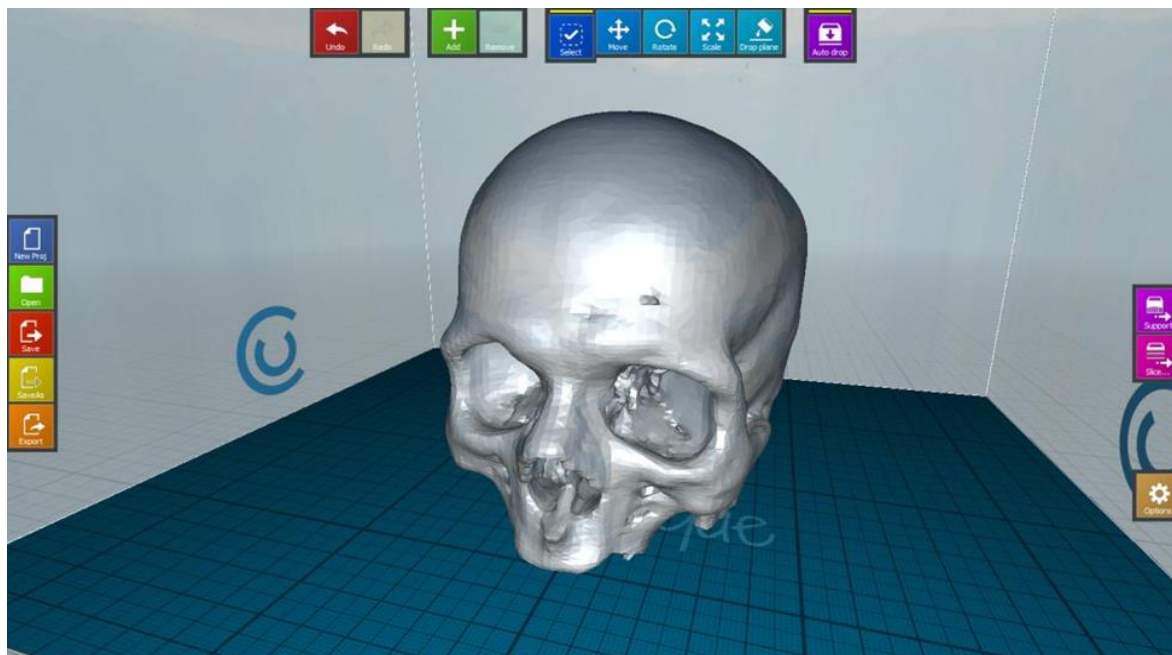


Рисунок 1.18 – Меню налаштувань програми-слайсера CraftWare
[<https://3dpt.ru/page/soft>]

1.5.3 Simplify3D

Simplify3D має гнучкий алгоритм, перевіряє модель на наявність помилок, виправляє їх, показує прев'ю процесу друку (ідеально для виявлення потенційних проблем) і потім нарізає її. Цей слайсер пропонує кращі серед конкурентів варіанти шаблонів заповнення. Для моделей, в яких потрібні підтримки, Simplify3D створить відповідні структури самостійно і надасть вам повний контроль над їх розміщенням. Для принтерів з подвійним екструдером, при друку різними матеріалами допоможе майстер Dual Extrusion, в результаті чого, наприклад, видалити розчининний фрагмент буде легше. Програма Simplify3D підтримує 90% наявних у продажу сучасних настільних 3D-принтерів і є сумісною з прошивками Marlin, Sprinter, Repetier, XYZprinting, FlashForge, Sailfish і MakerBot. Simplify3D

можна використовувати і для прямого управління принтером, але тоді принтер та комп'ютер повинні бути пов'язані. [<https://3dpt.ru/page/soft>]

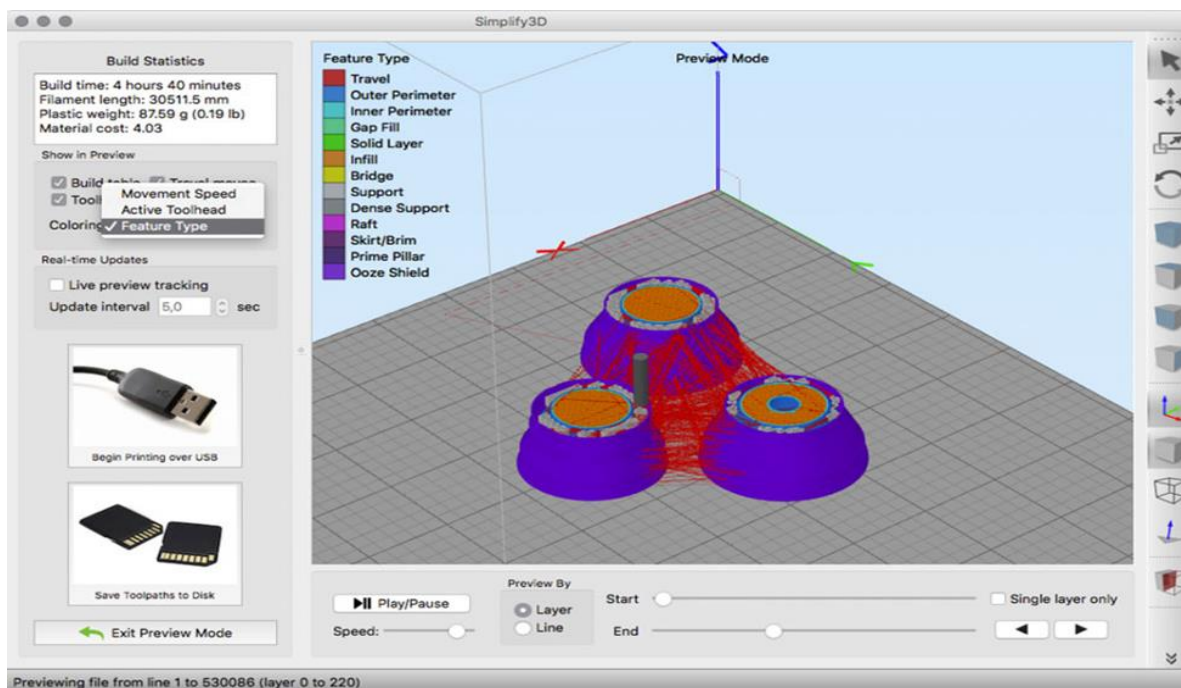


Рисунок 1.19 – Меню налаштувань програми-слайсера Simplify3D
[<https://3dpt.ru/page/soft>]

1.5.4 Slic3r

Slic3r – слайсер з відкритим вихідним кодом, носій нового функціоналу, якого ще ніде не зустрінеш. Поточна версія програми вміє показувати модель з безлічі ракурсів, так що користувач отримує кращі можливості попереднього перегляду. Там також є неймовірне тривимірне сотове заповнення – перший такого роду патерн, який може поширюватися на кілька шарів, а не повторюватися, як штамп. Це істотно підвищує міцність внутрішнього заповнення моделі та фінального друку.
[<https://3dpt.ru/page/soft>]

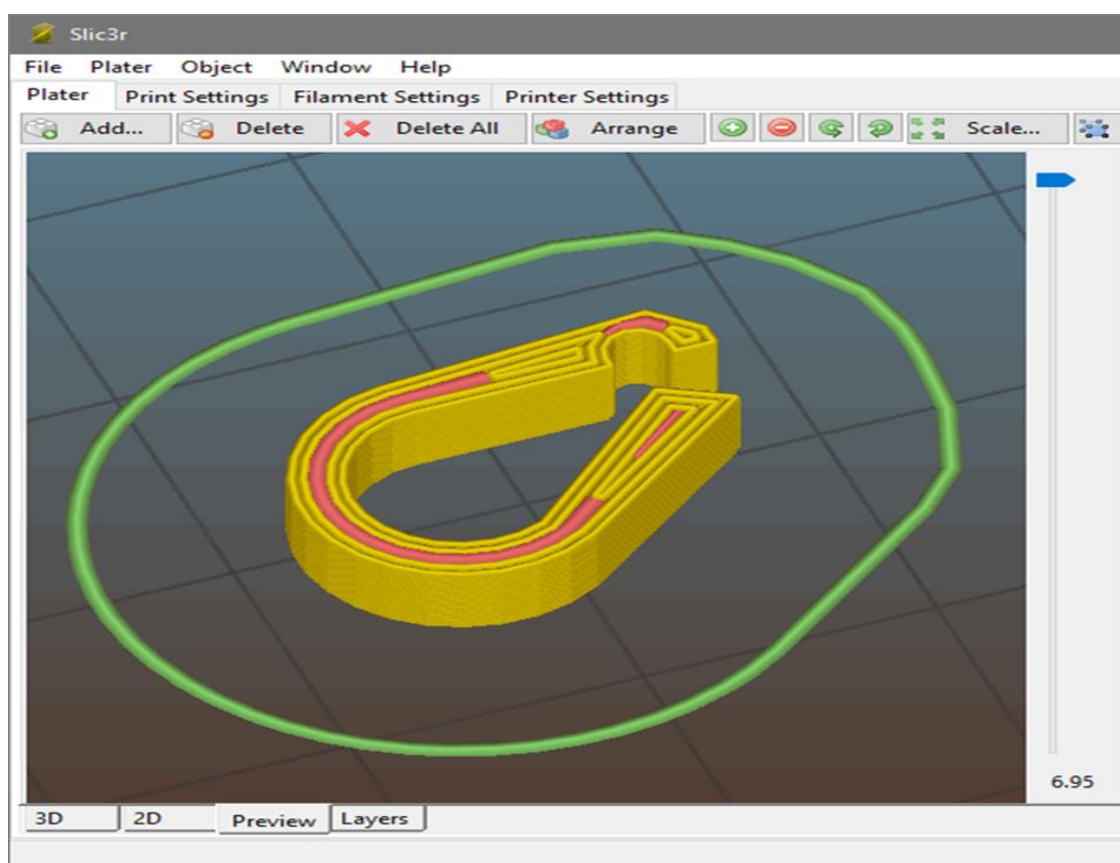


Рисунок 1.20 – Меню налаштувань програми-слайсера Slic3r
[\[https://3dpt.ru/page/soft\]](https://3dpt.ru/page/soft)

Розглянувши всі ці програми слайсери на практиці і оцінивши їх можливості, робимо висновок що програма Simplify3D, найбільш оптимально підходить нам у подальшій роботі з 3D принтером та його подальшому налаштуванню друку .

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Механічна складова

При проектуванні 3D принтера перше з чим потрібно визначитися, це габаритний розмір принтера. Виходячи з функціонального призначення і роботи в лабораторних умовах потрібен такий принтер, щоб легко поміщався на офісному столі разом з комп'ютером. Ми вирішили зупинитися на розмірі 360x340x390 мм, отже робоча область буде становити 230x220x200 мм.

Друге – його вага. Основна конструкція принтера зроблена з ДСП (древесно-слоїстий пластик) панелей, основна вага розподілена між металевими складовими принтера. Така конструкція дозволить стійко стояти на столі, навіть без гумових підкладок.

Крокові двигуни, вирішили заховати за панелями в робочому просторі, з боків від кріплення платформи. Кожна вісь управляється окремим двигуном. На кожен з цих осей приходиться по три ремені. Кріплення осей пластикові, двохскладові, на засувках. Осі X і Y розташовані під кутом в 90 градусів, корпус екструдера розташований в їх перетині, утворюючи своєрідну хрестовину. Така конструкція дозволить гасити інерцію при швидкому русі. Також обрана конструкція стійка до "вигинання" осей при тиску на екструдер.

Екструдер (рис.2.1) складається з двох фрезерованих алюмінієвих площин. Між цими площинами встановлений алюмінієвий радіатор для створення градієнта температур, а також верхня частина каналу екструдера. Також ми бачимо PTFE "ковпачок" і кінець подаючого патрубку з притисненою пластиною. Сам нагрівальний блок є єдиним цілим з соплом.

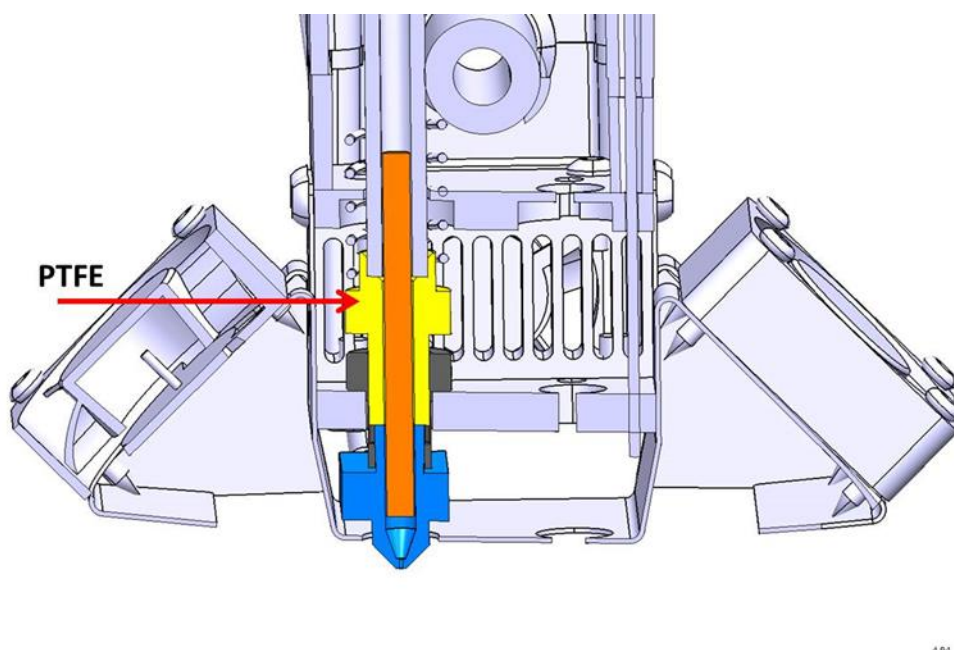


Рисунок 2.1 – Схема конструкції екструдера

Весь екструдер зроблений за схемою "бутерброд". Його рівні стягнуті між собою чотирма довгими болтами. Їх можна побачити зверху екструдерного блоку. Через те, що конструкція нагрівального елементу та екструдера є в цілому дуже компактною, радіатор, для створення градієнта температур є дуже маленький, як і вентилятор на ньому. Такі ж вентилятори стоять і на системі обдування моделі, їх розмір 30x30, конструкція охолодження моделі виконана з металу.

Вся електроніка знаходиться знизу принтера. На передній панелі, в нижній частині маємо консоль управління, так само тут встановимо слот для SD карти. Картки використовуються повнорозмірні SD, для зручності в роботі, тому що при частій зміні карт, мікроSD часто губляться.

Конструкція платформи виконана з декількох тонких металевих листів. Нижній товстий лист служить опорою. На ньому, за допомогою калібрувальних болтів кріпиться більш тонкий лист з нагрівальним елементом. Зверху кладеться скло. Одержуваний стіл досить легкий і схильний до мінімальних вібрацій, але за рахунок жорсткого кріплення він дуже міцний.

2.1.1 Складові частини принтера

Наш принтер складається з наступних ключових елементів.

Блок живлення.

Вибираємо з технічних властивостей, що дозволяють нам отримати з 30 Ампер – 12 Вольтів. Перетворювач компанії «Smun» не тільки підходить з технічної точки зору, але і габаритні розміри 199x98x50 мм дозволяють помістити його в корпус принтера.



Рисунок 2.2 – Блок живлення

Двигуни.

Для забезпечення руху екструдера і робочої платформи нам буде потрібно 4 крокових двигунів з максимально малими габаритами. Двигуни марки HANPOSE мають кут кроку 1,8 °, струм 1,7 Ампер, габаритний розмір 40x40x42 мм. HANPOSE має репутацію надійного і якісного виробника, тому ми вибираємо двигуни саме цієї марки.

Материнська плата – ArduinoMega 2560.

Плата побудована на мікроконтролері ATmega2560. Вона має 54 цифрових входних / вихідних висновків (15 з яких можуть використовуватися в якості ШІМ виходів), 16 аналогових входів, 4 порту UART (апаратних послідовних порту), кварцовий резонатор 16 МГц, підключення USB, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Вона містить все необхідне для роботи з мікро контролером; для того, щоб почати роботу з нею, просто треба увімкнути її до комп'ютера за допомогою USB кабелю або подати харчування від блоку живлення AC / DC або від батареї.

Технічні характеристики:

- робоча напруга – 5 Вольтів;
- постійний струм – 20 міліампер;
- флеш-пам'ять – 256 Кбайт, з яких 8 КБ використовуються

загрузчиком;

- тактова частота – 16 МГц;
- довжина – 101.5 мм;
- ширина – 53.3 мм;
- вага – 37 г;

У комплекті так само йдуть 4 контролери і кроковий модуль драйвер A4988 для 3D-принтера.

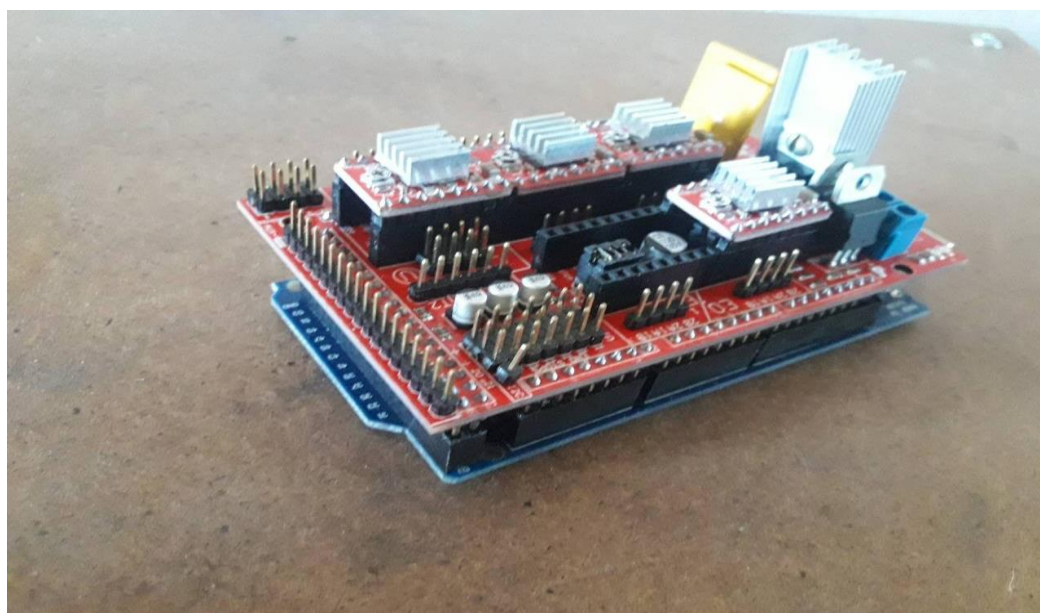


Рисунок 2.3 – Материнська плата ArduinoMega 2560

Екструдер.

Від extrude – видавлювати, створює об'єкт пошарово, видавлюючи розм'якшений матеріал через сопло. Клейовий пістолет, шприц з силіконовим герметиком – діють за аналогічною схемою. Типовий екструдер для друку пластиком ділиться на дві основні частини: блок з механізмом подачі філаменту ("холодний кінець", cold end) і сопло з нагрівачем ("гарячий кінець", hot-end).

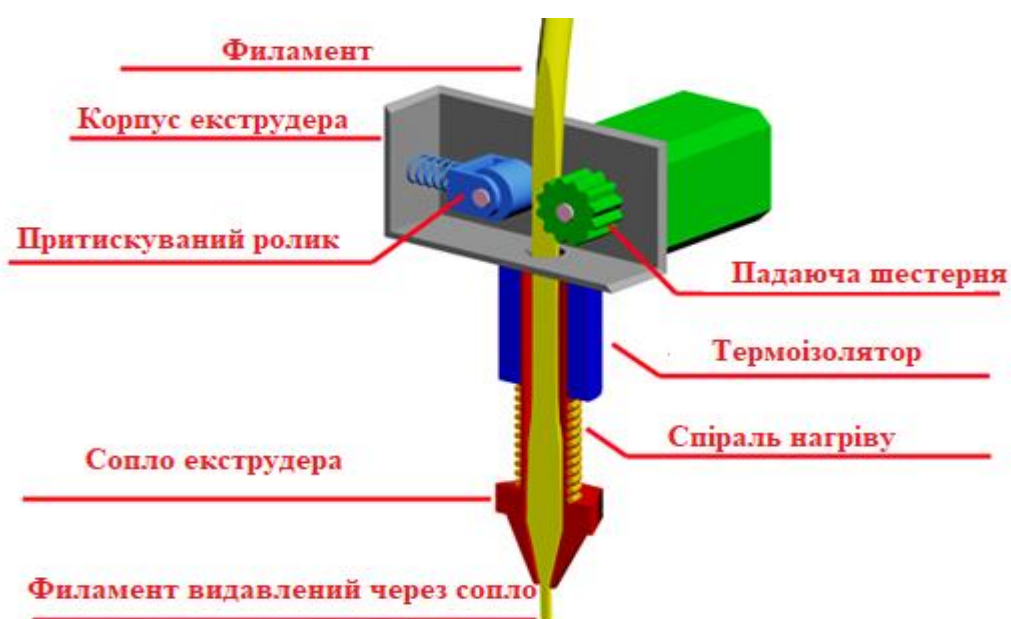
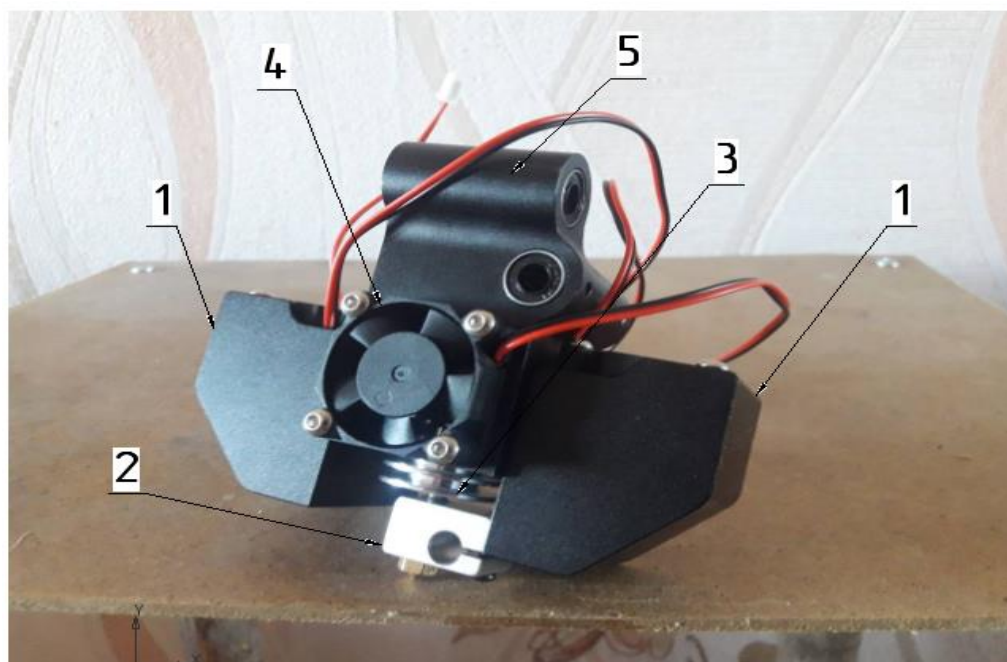


Рисунок 2.4 – Екструдер у розрізі [3dprint.sumdu.edu.ua]



- 1) Кулер охолодження сопла і термістора(Hotend);
- 2) Сопло;
- 3) Радіатор;
- 4) Кулер охолодження радіатора;
- 5) Кріплення для напрямних екструдера;

Рисунок 2.5 – Екструдер

Алюмінієвий стіл з нагрівальним елементом.

Основа платформи, на якій проводиться друк – алюмінієвий стіл розміром 305x255x3.5 мм, на нього кріпитися тонкий лист з нагрівальним елементом, за допомогою якого стіл нагрівається до 100 °C під час друку, поверх цього кріпитися скло на якому і відтворюється 3D модель. Габаритні розміри скла 213x206x4 мм, саме такі розміри обумовлені конструкторською особливістю принтера.

Вали й напрямні.

Для забезпечення руху екструдера і робочого столу по осях X, Y і Z, відповідно, потрібні вали, які у зв'язці з двигунами, ременями і шпулями забезпечать нам необхідне переміщення. Щоб привести в рух екструдер необхідно два вали Ø 6 мм і чотири Ø 8 мм. Вали Ø 6 мм, створюючи

перетинання між собою, додадуть жорсткість і стійкість конструкції, саме по ним буде рухатися друкуюча головка. Вали Ø 8 мм забезпечать переміщення, передаючи обертовий рух від двигунів через ремінні та шпулі. Вали Ø 12 мм служать напрямними столу, рух осі Z здійснює черв'ячний вал Ø 8 мм з кроком 2 мм.

Кулера різних розмірів.

Кулери потрібні нам для охолодження екструдера, материнської плати, блоку живлення, двигунів від перегріву, бо при інтенсивній роботі принтера і недостатньому охолодженні всіх ключових елементів можливі збої в роботі, або всілякі помилки, які можуть привести до поломки принтера.

2.1.2 Кінематика переміщення

При проектуванні нашого 3D принтера, ми зіткнулися з проблемою вибору кінематики переміщення, оскільки на сьогодні існує різні варіації переміщення екструдера і робочої платформи (стола друку). Розглянувши та проаналізувавши популярні кінематичні схеми декартових принтерів, зупинилися на схемі XY Head, Z Bed. Коли екструдер рухається по осях XY, а стіл – по Z. Два двигуна за допомогою чотирьох великих і двох маленьких ременів і гладких загартованих валів починає рухати друкуючу голову. Стіл переміщується під дією трапецеїдального гвинта і крокового двигуна. Як результат – якість друку у 3D принтерів з такою кінематикою, одне з найкращих. З мінусів, вали повинні бути ідеально рівними, інакше весь механізм буде вібрувати при русі.

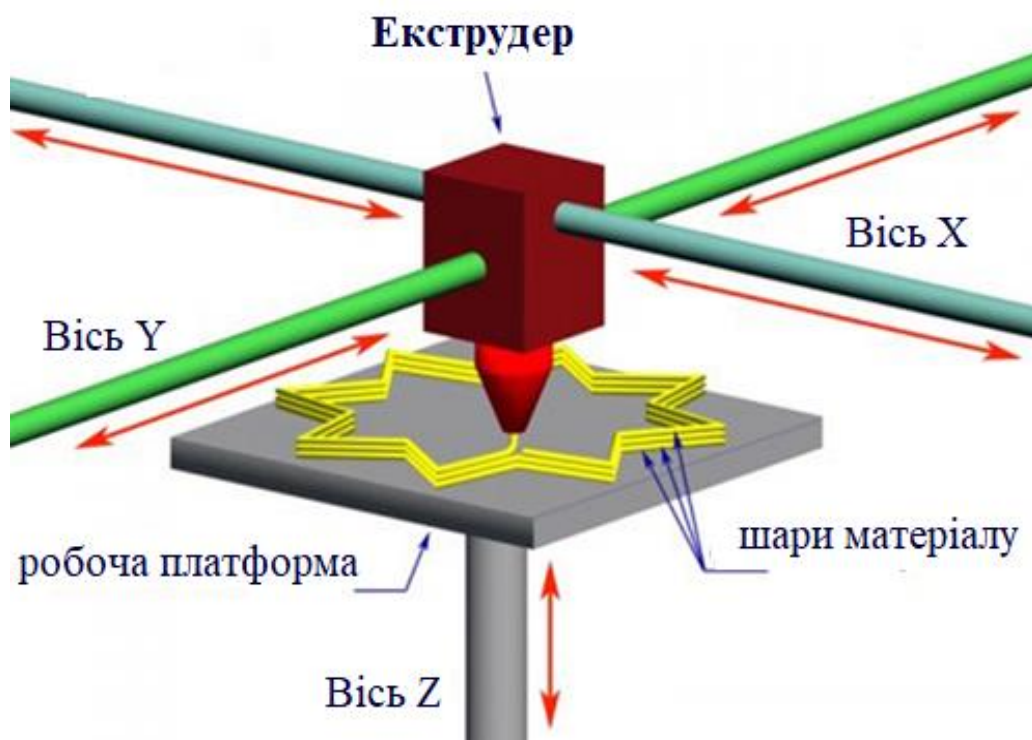


Рисунок 2.6 – Схема переміщення екструдера і робочої платформи

2.2 Електронна частина

Для забезпечення переміщення екструдера над столом друку і видавлюючи там, де це необхідно, певну кількість розплавленого термопластика, принтеру необхідно здійснювати масу узгоджених рухів, дотримуючись певної програми. Тому, як і для будь-якого верстата з ЧПУ, потрібна електронна складова, яка передасть команди через електричний сигнал до механічних складових.

2.2.1 Компоненти плати Arduino Mega 2560

Числовим програмним керуванням нашого 3D принтера є плата Arduino Mega 2560. Вона має 54 цифрових входів / виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ (Широтно-імпульсна модуляція)), 16 аналогових входів, 4 послідовних портів UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB коннектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно під'єднати платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC, або акумуляторною батареєю. Мікроконтролер ATmega2560 має: 256 кБ флеш-пам'яті для зберігання коду програми (4 кБ використовується для зберігання завантажувача).

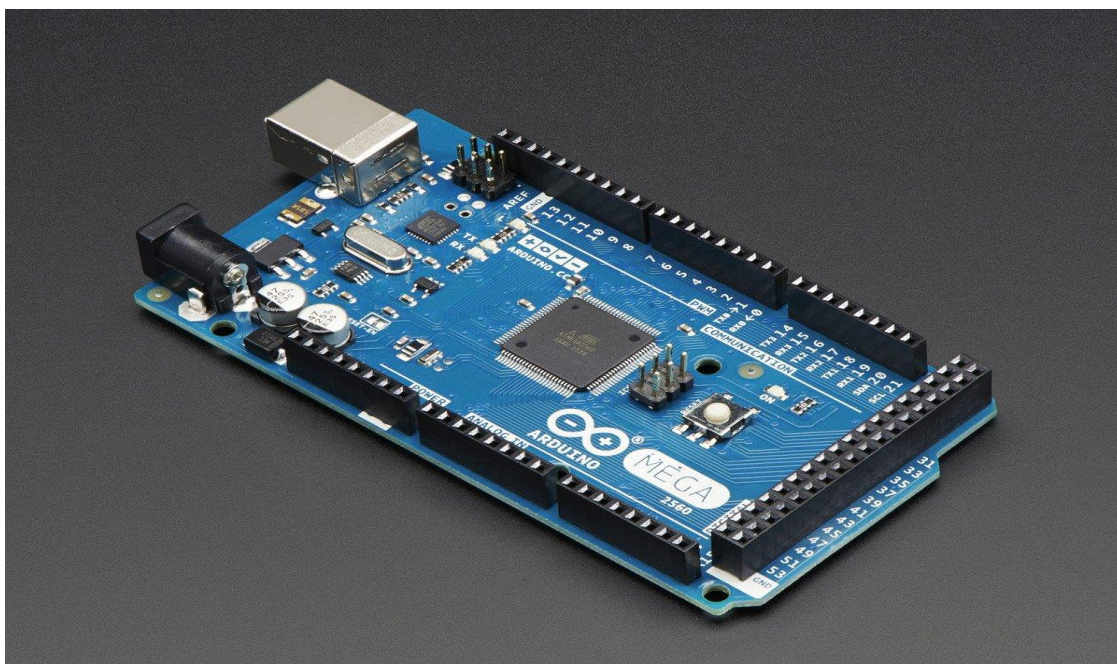


Рисунок 2.7 – Arduino Mega 2560

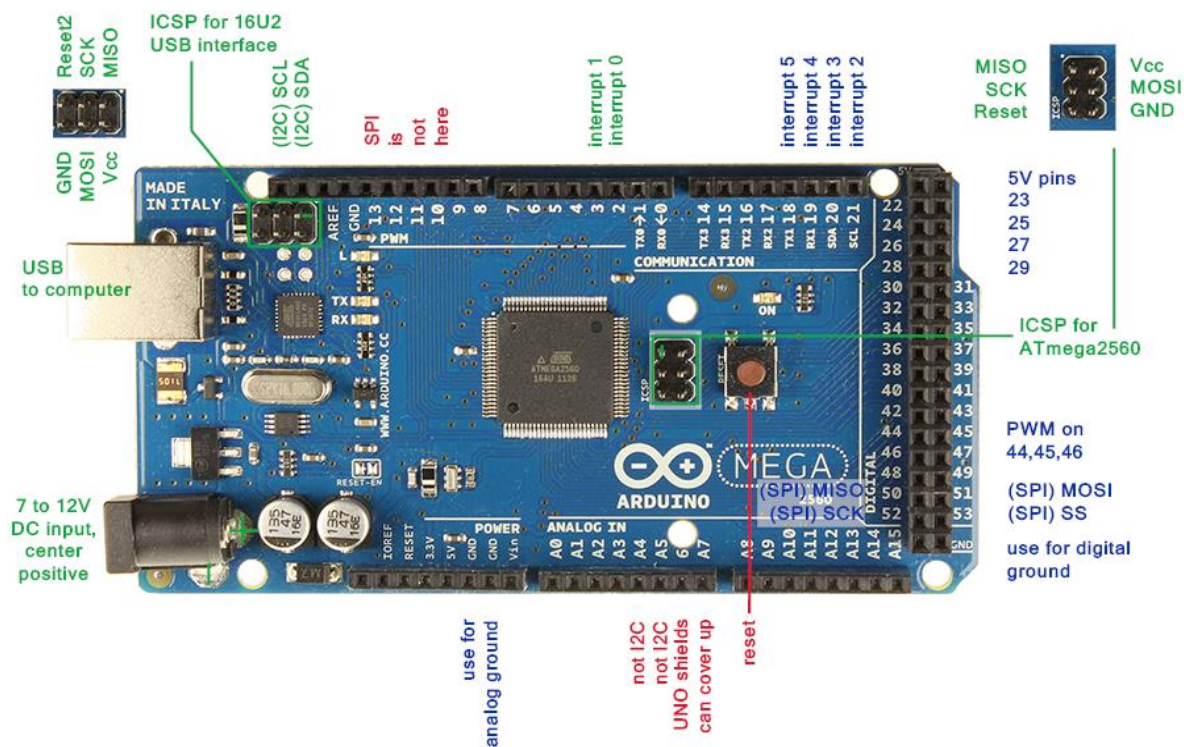


Рисунок 2.8 – Схема платы Arduino Mega 2560 [<http://3dtoday.ru>]

RAMPS 1.4

Це надбудова для Arduino Mega 2560. Перетворює G-коди в сигнали і керує 3D принтером за допомогою силової частини. Плата RAMPS 1.4 встановлюється поверх Arduino і все підключення, крім USB, здійснюються через неї.



Рисунок 2.9 – RAMPS 1.4

A4988.

Драйвер крокового двигуна, являє собою пристрій, який встановлює режими роботи (кут повороту, напрям руху). Струм на драйвері підлаштовується дослідним шляхом, гаяючи 3D принтер на високих швидкостях по всіх координатах. Дослідним шляхом визначили, що оптимальним струмом для драйвера є 2 А.



Рисунок 2.10 – Драйвер крокового двигуна A4988

2.2.2 Схема з'єднання

До плати RAMPS 1.4, яка знаходиться вже в поєднанні з Arduino Mega 2560, підключаються драйвера двигуна A4988. Далі підключаємо LCD-адаптер, який з'єднає нашу плату з екраном. Під'єднуємо X-двигун до гнізда з маркуванням X. Важливо, щоб червоний кабель знаходиться ближче інших клем на Ramps-платі. Y двигун до гнізда з маркуванням Y. На платі для осі Z передбачено два роз'єми, оскільки деякі принтери використовують два

двигуни на підйом столу. Через те, що у нас один, вибираємо будь-який роз'єм і підключаємо Z двигун. Наступний етап підключення, термістори нагріву столу і хотенда, а також кулери. У живлючих проводів екструдера відсутні полюса, тому як само встановити їх неважливо, потрібно лише потрапити в потрібний роз'єм на MEGA 2560 сумісної плати. Кінцевий етап – підключення кабелів живлення.

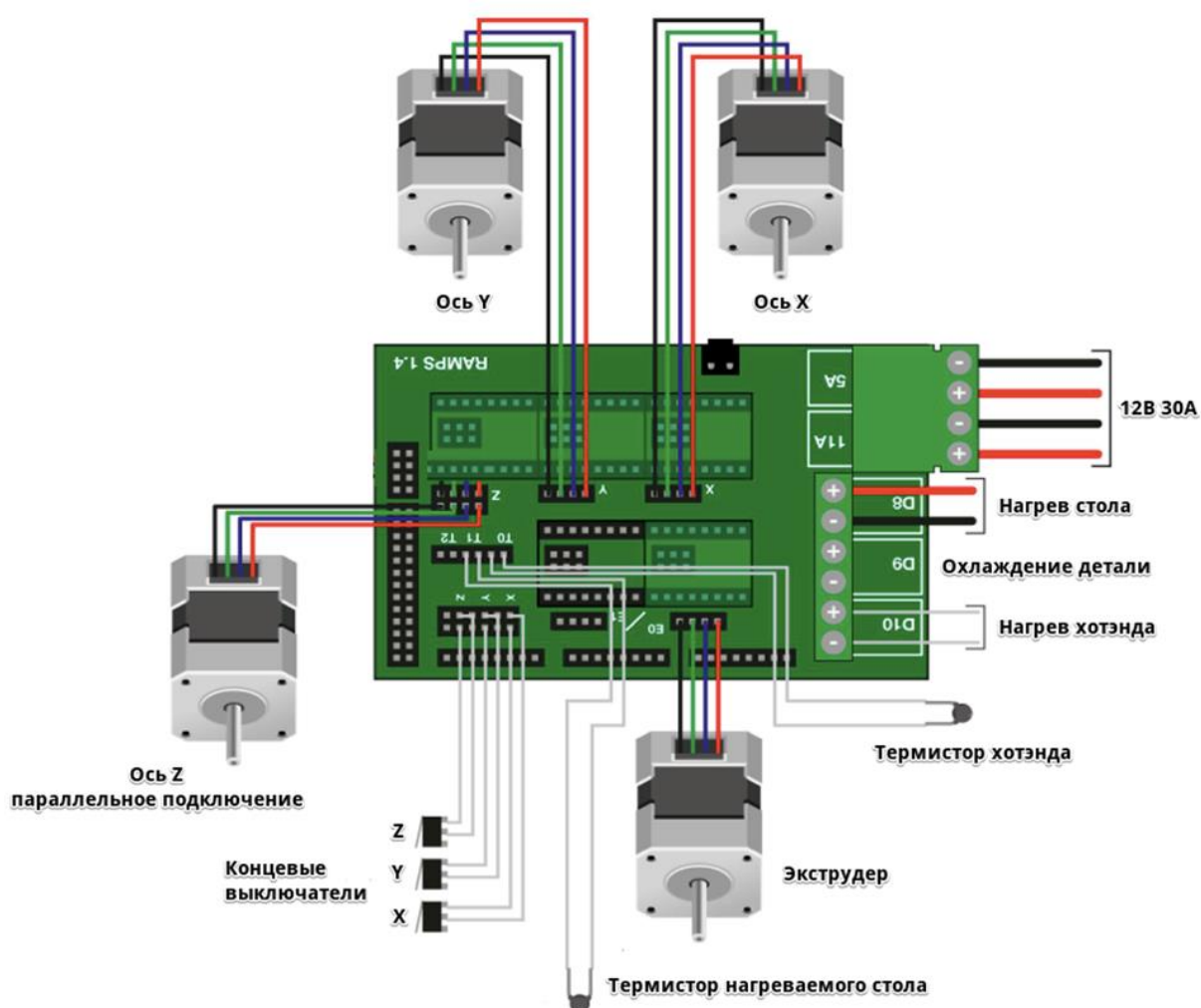


Рисунок 2.11 – Схема з'єднання електронних компонентів до плати Arduino Mega 2560+RAMPS 1.4

2.2.3 Логіка роботи

3D-друк радикально відрізняється від традиційного метода виробництва, але деякі підготовчі операції дуже схожі зі звичним нам виготовленням деталей. Щоб виготовити готовий виріб на будь-якому принтері FDM друку, необхідно зробити такий цикл:

- створити 3D модель в CAD системі;
- перетворити цю модель в STL файл;
- відкрити файл в програмі «слайсер»;
- задати необхідні параметри друку і властивості одержуваної деталі;
- конвертувати настройки в G-код;
- Arduino Mega 2560 передасть дані G-коду на RAMPS 1.4, який, у свою чергу, перетворює їх в сигнали управління;
- сигнали надають руху крокові двигуни, які відповідають за переміщення екструдера і столу друку, а так само подачу пластика;
- включаються нагрівальні елементи екструдера і столу;
- відбувається безпосередньо процес друку;
- по закінченню процесу, готова деталь виймається з робочою області й відбувається механічна обробка, якщо це необхідно.

Як підсумок, для виготовлення однієї деталі, необхідний один кваліфікований фахівець, а не цілий штат людей, які виконують заготівельну, токарну, свердлильну, фрезерну та інші операції.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Етапи підготовки керуючої програми

G-код – це мова програмування для верстатів з числовим програмним керуванням, яким є наш 3D принтер. Файл з G-кодом знаходиться в форматі TXT, де кожен рядок коду називається кадром. Існує базова частина мови, на основі якої різні компанії з виробництва верстатів створюють свої підмови і команди. Наприклад G-код Ultimaker і RepRap трохи відрізняються, і обидва вони дуже примітивні в порівнянні з G-кодами для промислових верстатів.

Формування G-коду відбувається автоматично програмою «слайсер» після завантаження в неї 3D моделі деталі. У слайсері задається технологія виготовлення деталі, на основі якої і формується G-код. Але в ході нашої магістерської роботи нам вдалося прописати G-код без використання будь-яких програм. Сам код вийшов досить примітивним, але був повністю відтворений на симуляторі 3D принтера. Ця маніпуляція дозволила нам самим задавати деякі базові значення процесу друку, які неможливо задати в програмі «слайсер». Наприклад змінювати показник «E» – кількість видавлюємого пластика в окремо взятій координаті. А також міняти швидкість друкуючої голівки, так само в окремо взятій координаті.

Розглянемо G-код сформований слайсером Simplify для нашого 3D принтера. Для цього відкриваємо слайсер Simplify і відкриваємо в ній 3D модель деталі в форматі STL. Задаємо базові настройки, далі тиснемо на кнопку «слайсери», після цієї операції відкриваємо в панелі управління програми одержуваний G-код. Для прикладу використовуємо тестову модель з розмірами 50x50x5 (мм). Отримуємо файл з наступною структурою:

- а) коментарі з різною інформацією;
- б) підготовчі операції;
- в) робоча частина-виготовлення деталі;

г) заключні операції.

Коментарі можна вставляти окремим кадром або після основних команд. Починаються зі знака «;» і необхідні для чіткого розуміння, які параметри 3D друку були задані в програмі «слайсер». Наприклад, скільки часу займе процес друку, дані про заповнення моделі пластиком, товщина стінок, діаметр пластика, що видавлюється.



```
plastina diplom — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
; G-Code generated by Simplify3D(R) Version 4.0.0
; Aug 22, 2018 at 2:02:47 PM
; Settings Summary
;   processName,Process1
;   applyToModels,untitled
;   profileName,Default
;   profileVersion,2017-03-01 08:00:00
;   baseProfile,
;   printMaterial,PLA
;   printQuality,Medium
;   printExtruders,
;   extruderName,Primary Extruder
;   extruderToolheadNumber,0
;   extruderDiameter,0.35
;   extruderAutoWidth,0
;   extruderWidth,0.4
;   extrusionMultiplier,0.9
;   extruderUseRetract,1
;   extruderRetractionDistance,1
;   extruderExtraRestartDistance,0
;   extruderRetractionZLift,0
;   extruderRetractionSpeed,1800
;   extruderUseCoasting,0
;   extruderCoastingDistance,0.2
;   extruderUseWipe,0
;   extruderWipeDistance,5
;   primaryExtruder,0
;   layerHeight,0.2
;   topSolidLayers,3
;   bottomSolidLayers,3
;   perimeterOutlines,2
;   printPerimetersInsideOut,1
;   startPointOption,2
;   startPointOriginX,0
;   startPointOriginY,0
;   sequentialIslands,0
;   spiralVaseMode,0
```

Рисунок 3.1 – Фрагмент G-коду з коментарями до досліджуємого зразка (пластина 50x50x5 мм)

Підготовчі операції.

У цьому проміжку G-коду, є можливість доповнити вихідний код своїми командами і напрацюваннями. Наприклад, перед початком операції прогнати пластик через сопло, після закінчення друку екструдер повернути в домашню позицію, опустити стіл, щоб побачити результат друку, витирання сопла перед друком, зміна пластика, при друці одним соплом.

```
G91
G1 Z10 F1000
G28 Y0 X0
G90
G1 Z200 F3000
```

```
-----
G91 - переходимо в відносну систему координат
Z10 - опускаємо стіл на +10 мм
G28 Y0 X0 - паркуєм головку (Home)
G90 - переходимо в абсолютну систему координат
Z200 - опускаємо стіл до максимуму
F3000 - подача (швидкість)
```

Рисунок 3.2 – Фрагмент G-коду підготовчої операції, повернення екструдера в «домашню позицію»

Робоча частина – виготовлення деталі.

Робоча частина складається в основному з переміщень екструдера (голівки), за координатами і видавлювання пластика, а також саморегулювання температури столу, якщо він має нагрівальний елемент.

```

G1 X70.491 Y73.003 F4800
G1 E0.0000 F540
G92 E0
G1 X73.003 Y70.491 E0.1063 F1800
G1 X73.224 Y70.400 E0.1135
G1 X126.776 Y70.400 E1.7165
G1 X126.997 Y70.491 E1.7237
G1 X129.509 Y73.003 E1.8300
G1 X129.600 Y73.224 E1.8372
G1 X129.600 Y126.776 E3.4402
G1 X129.509 Y126.997 E3.4473
G1 X126.997 Y129.509 E3.5537
G1 X126.776 Y129.600 E3.5608
G1 X73.224 Y129.600 E5.1639
G1 X73.003 Y129.509 E5.1710
G1 X70.491 Y126.997 E5.2774
G1 X70.400 Y126.776 E5.2845
G1 X70.400 Y73.224 E6.8875
G1 X70.491 Y73.003 E6.8947
G1 X70.830 Y73.230 F4800
G92 E0
G1 X73.230 Y70.830 E0.1016 F1800
G1 X73.303 Y70.800 E0.1040
G1 X126.697 Y70.800 E1.7022
G1 X126.770 Y70.830 E1.7046
G1 X129.170 Y73.230 E1.8062
G1 X129.200 Y73.303 E1.8086
G1 X129.200 Y126.697 E3.4069
G1 X129.170 Y126.770 E3.4092
G1 X126.770 Y129.170 E3.5108
G1 X126.697 Y129.200 E3.5132
G1 X73.303 Y129.200 E5.1115
G1 X73.230 Y129.170 E5.1139
G1 X70.830 Y126.770 E5.2154
G1 X70.800 Y126.697 E5.2178

```

<

G1 | Прямолінійний рух по осях XYZ,
з видавлюванням пластика E в мм.
G92 - Встановити поточну задану позицію.
F - Швидкість руху друкуючої голівки в мм/хв.

Рисунок 3.3 – Фрагмент G-коду робочої частини дослідного зразка

Заключні операції.

Цей етап полягає в тому, що в ньому вимикаються всі базові настройки принтера, задані на початку роботи.

```
; layer end
M104 S0 ; turn off extruder
M140 S0 ; turn off bed
M84 ; disable motors
; Build Summary
;   Build time: 0 hours 26 minutes
;   Filament length: 2078.4 mm (2.08 m)
;   Plastic volume: 4999.26 mm^3 (5.00 cc)
;   Plastic weight: 6.25 g (0.01 lb)
;   Material cost: 0.29
```

Рисунок 3.4 – Фрагмент G-коду заключній операції

3.2 Параметри і режими 3D друку

Для того, щоб дізнатися всі можливі режими роботи нашого принтера, і створення максимально якісних і технологічних виробів, необхідно визначити оптимальні настройки друку. Програма «слайсер» Simplify3D, на симуляторі 3D принтера допоможе вибрати з маси різних налаштувань і параметрів, ті, які задовольняють наші вимоги до готового виробу.

Відкривши програму на комп'ютері, перше на що варто звернути увагу це секція «Models» і «Processes». У першій секції проводяться маніпуляції з файлами 3D-моделей. Кнопка "Import" використовується, щоб додати новий файл. Видалити моделі зі списку можна натиснувши кнопку «Remove». У другій секції, кнопки «Add» (додати процес) і «Delete» (видалити процес) не потребують докладного опису, натискання кнопки «Edit Process Settings» викличе відкриття вікна редагування установки, для вибраного процесу. Після натискання кнопки «Prepare to Print» почнеться процес нарізки (слайсінг) моделі (конвертація в «G-Code», що містить інструкції низького рівня, які принтер буде використовувати для друку 3D-моделі). Так само є «область попереднього перегляду», яка дозволяє безпосередньо

маніпулювати моделлю, змінювати її масштаб, переміщення по столу друку, обертання моделі.

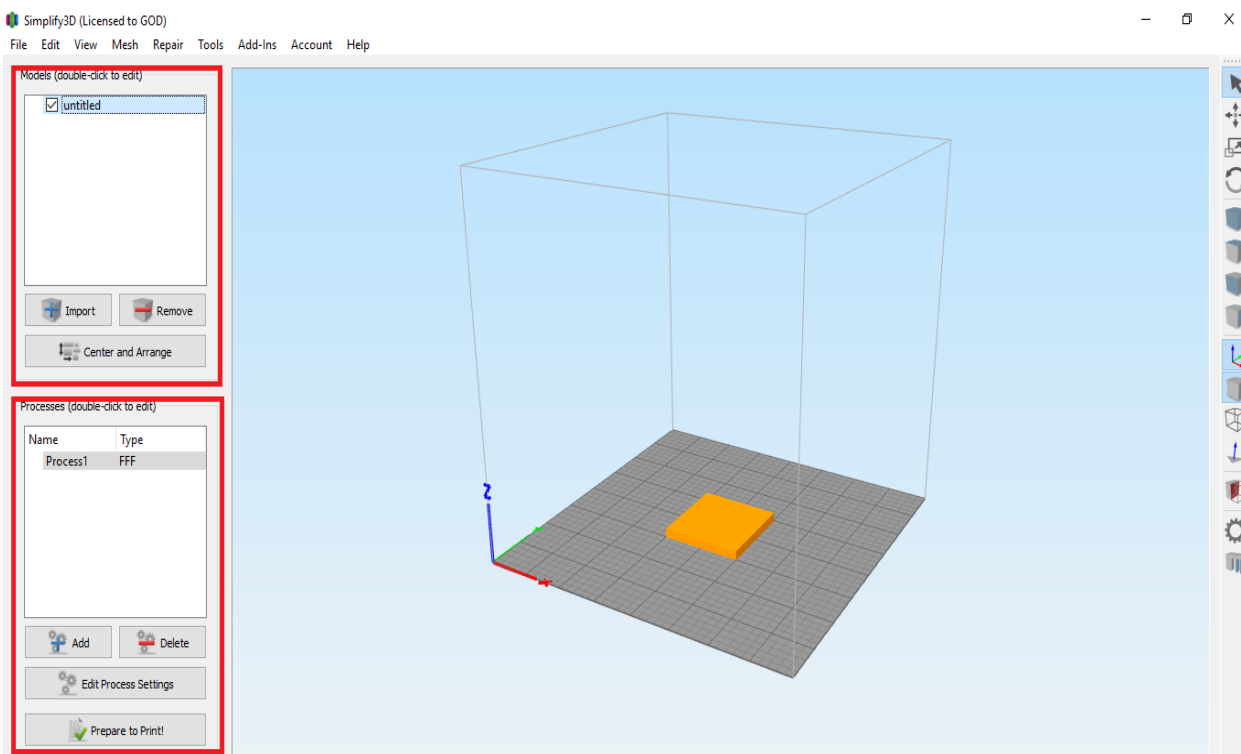


Рисунок 3.5 – Початкове налаштування моделі для друку

Після натискання кнопки «Add» з'явиться вікно налаштування процесу безпосередньо друку. Процес – це набір опцій, які будуть застосовані до моделі, при підготовці її до друку.

Перше на що варто звернути увагу це розділ «Auto-Configure for Material» який містить встановлені параметри для деяких популярних типів пластика таких як: ABS, PLA, Nylon. Сюди ж можна додати свої встановлені параметри для інших типів пластика, натиснувши на зелену піктограму знака «плюс». І розділ «Auto-Configure for Print Quality» в якому встановлені параметри для настройки якості друку. Програма передбачає 3 варіанти для вибору друку: Fast (забезпечує швидкий друк, але шкодить якості), Medium (компроміс між швидкістю друку і якістю), High (Висока якість друку при низькій швидкості). Як і у випадку з попередньою опцією сюди можна додати свої встановлені параметри, натиснувши на зелену піктограму знака

«плюс». Розділ «General Settings» змінює значення заливки моделі в процентах, за допомогою повзунка.

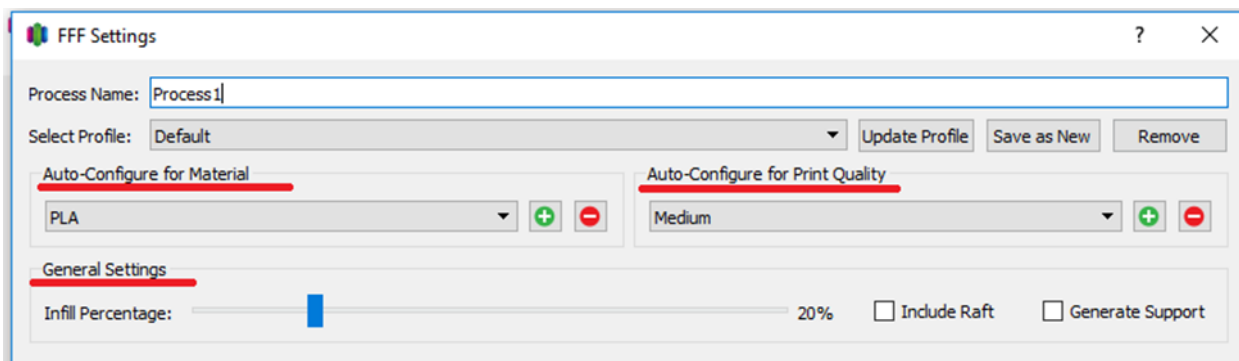


Рисунок 3.6 – Вибір типу пластика і параметр якості друку

У закладці «Extruder» відбувається настройка екструдера. Діаметр сопла, який безпосередньо встановлений на наш принтер «Nozzle Diameter», контроль подачі пластика «Extrusion Multiplier». Параметр «Extrusion Width» задає товщину доріжок пластика, який видавлює екструдер під час друку. «Retraction» (ретракт) – включення або вимикання функції втягування філамента під час холостих переміщень друкуючої головки або зміні шару, необхідний для зниження кількості дефектів (ниток, сміття) на зовнішній поверхні деталі. «Retraction Distance» – відстань, на яке втягується філамент під час холостого переміщення екструдера. Це індивідуальний параметр для кожного типу екструдера і типу використовуваного пластику, підбирається експериментальним шляхом. «Retraction Speed» – швидкість ретрата.

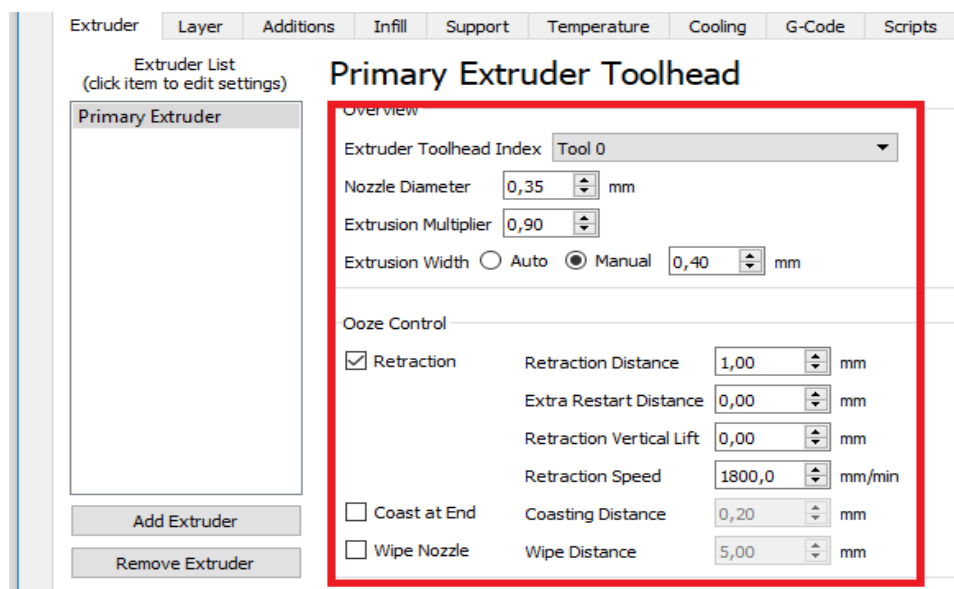


Рисунок 3.7 – Налаштування екструдера

Закладка «Layer» відповідає за настройку параметрів шару друку. Найважливіший параметр «Primary Layer Height», він визначає висоту кожного друкованого шару. «Top Solid Layers» і «Bottom Solid Layers» відповідають за кількість шарів кришки і основи моделі відповідно. «Outline / Perimeter Shells» – кількість периметрів. «Outline direction» відповідає за напрямок (за годинниковою стрілкою і проти). «Vase mode» – пустотіла деталь незалежно від налаштувань. Дану опцію корисно включати при друку пустотілих моделей, товщиною в один периметр, наприклад вази. «First Layer Settings» – це параметри першого шару, тут можна вибрати висоту, швидкість і ширину першого шару.

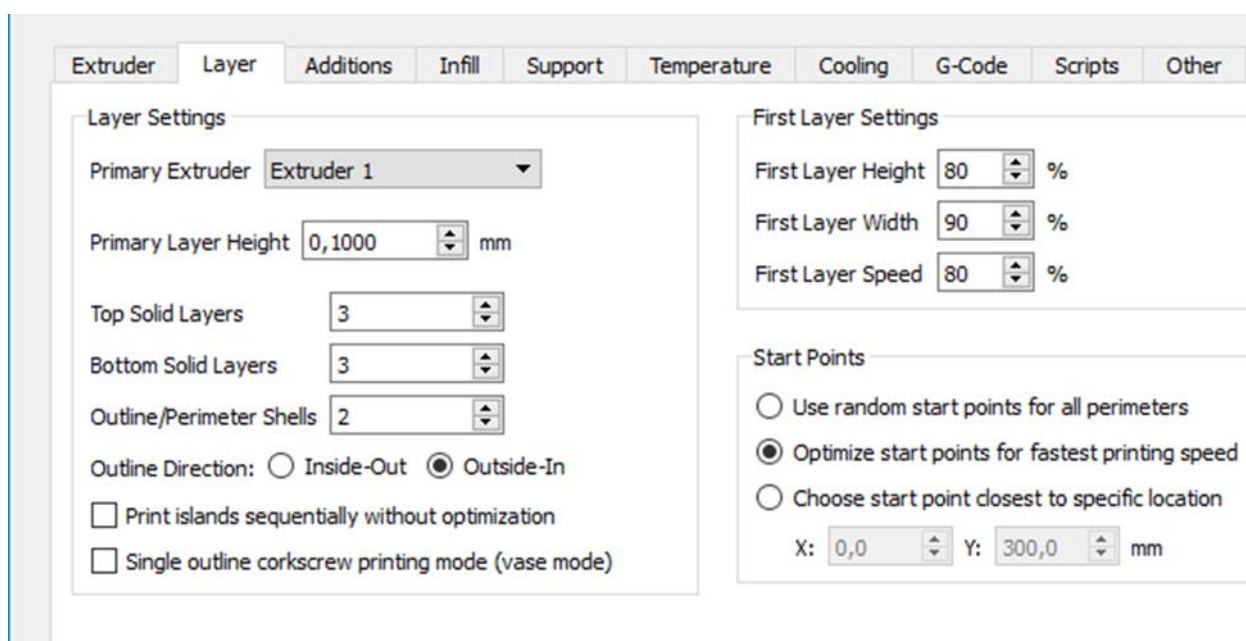


Рисунок 3.8 – Налаштування шару друку

Закладка «Additions» (спідниця), потрібна для того, щоб екструдер роздрукувався, зменшує загортання пластика. Після завершення друку, видаляють від готової деталі механічним способом.

Параметр «Skirt Layers» – кількість друкованих шарів «спідниці». Якщо в якості параметра вказати більш ніж один шар, то під час друку можна створювати стіну навколо друкованого об'єкта, яка буде захищати модель від «протягів» запобігаючи деламінації при друку пластиками з великим коефіцієнтом усадки. «Skirt Offset from part» – дистанція на якій друкується «спідниця» від моделі. «Skirt Outlines» – кількість друкованих периметрів «спідниці».

Розділ «Use Raft» – надрукована прямолінійна сітка філамента, розташована під моделлю, призначена для підвищення рівня адгезії і використовуються в основному з пластиками, схильними до відліпання. Крім того рафти застосовуються в якості міцної основи для перших шарів моделі. Так само рафт буде корисний у тому випадку, якщо площа торкання моделі до столу занадто мала (незалежно від пластику).

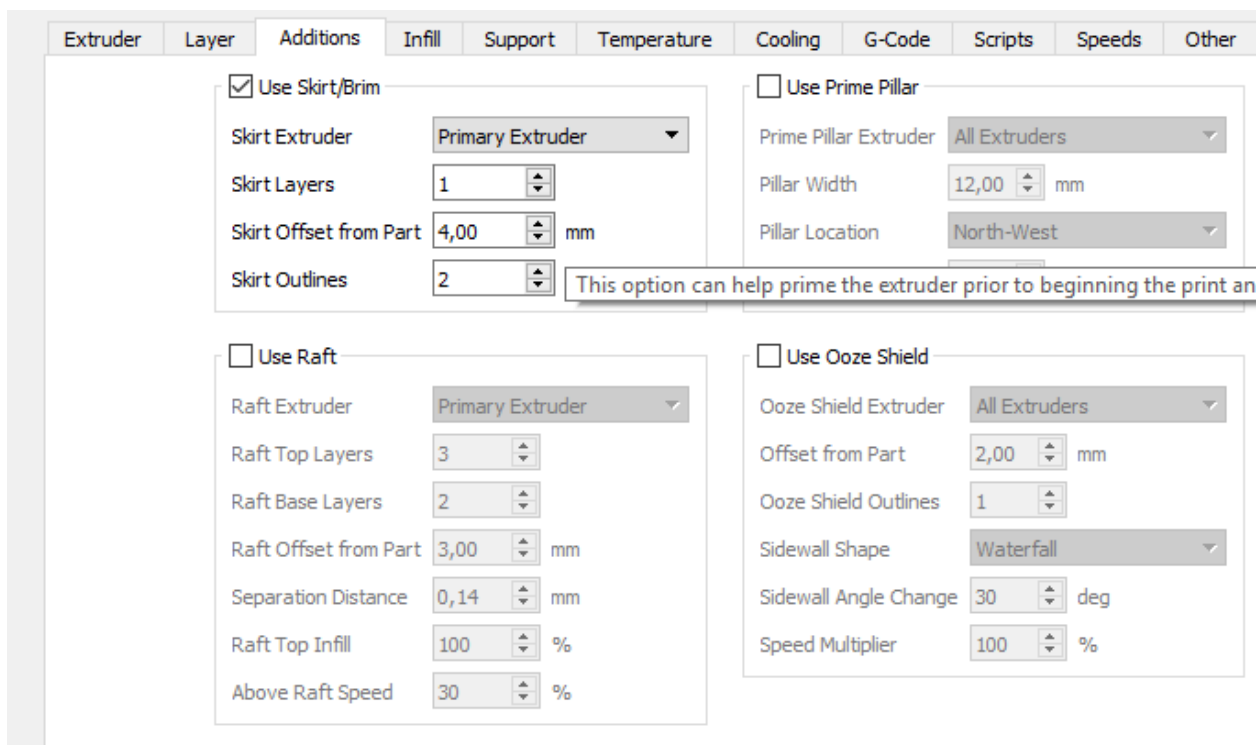


Рисунок 3.9 – Налаштування підкладки (спідниці)

Закладка «Infill» (заповнення), необхідна для настройки заповнення деталі, вибирається тип заповнення всередині деталі, а також кришки і підстави.

Розділ «General» включає в себе вибір типу заповнення «Internal fill Pattern». Програма на вибір надає 6 стандартних типів заповнення: лінійне, сіткове, трикутне, зигзаг, медова сота спрощена і медова сота. «External fill Pattern» – заповнення кришки і підстави, зазвичай лінійне або концентричне. Так само можна ввести такий параметр, як повне заповнення шару, через певну кількість надрукованих шарів. Це необхідно для того щоб надати деталі жорсткості і міцності, за це відповідає параметр «Include solid diaphragm every».

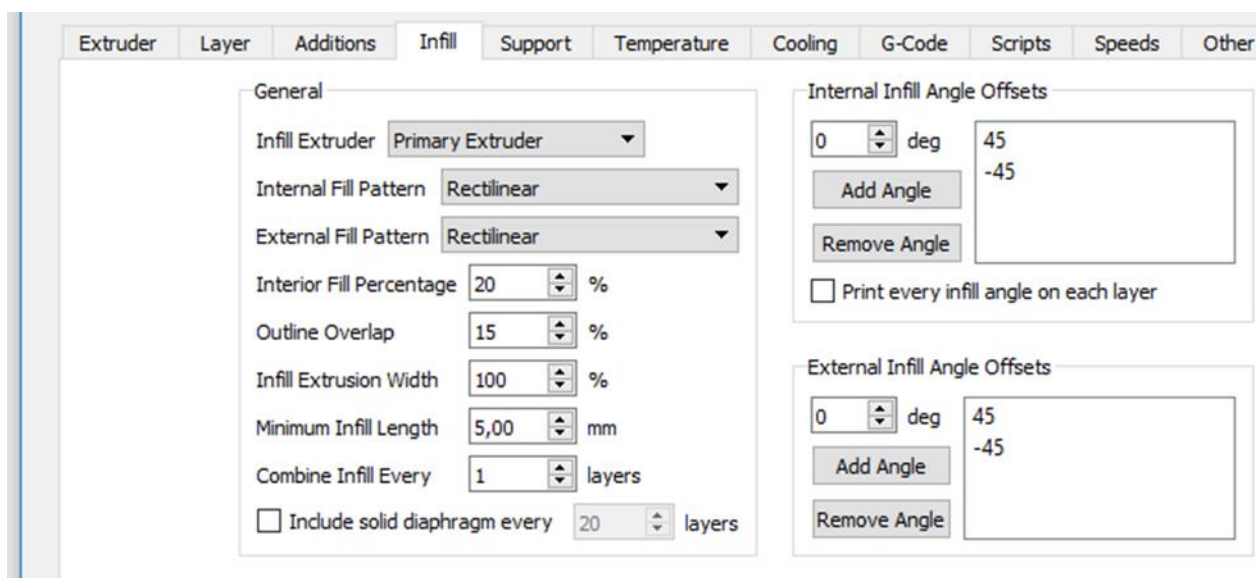


Рисунок 3.10 – Налаштування заповнення

Закладка «Support» (підтримка), потрібна для всіляких нависаючих елементів конструкції деталі. Залежно від габаритів деталі вибирається відсоток заповнення підтримки, і кількість шарів підтримки, ширина підтримки.

«Temperature», тут відбувається настройка температури екструдера і нагрівального елементу столу. Програма має дуже гнучку настройку, дозволяючи задавати температура окремо взятого шару друку. Робити паузу контролером перед початком побудови, для стабілізації температури.

«Cooling» (охолодження), ключовий пункт для якісного друку так, як якщо пластик не буде встигати охолоджуватися, то печатка ніколи не буде відповідати потрібним параметрам. Як і в закладці «Temperature», тут можна задавати охолодження пошарово. Параметр «Blip fan to full power ...» включає / вимикає обдув деталі на повну потужність при переміщенні при холостому ході.

Закладка «Speeds» (швидкість), цей параметр безпосередньо впливає на час виготовлення деталі, оптимальні поєднання заповнення і швидкості дасть можливість створювати швидко і якісно. «Default Printing Speed», параметр відповідає за швидкість друку внутрішніх периметрів, внутрішнього заповнення та інших ділянок моделі. «Outline Underspeed» – швидкість друку

зовнішнього периметра у відсотках від швидкості друку, яка стандартно задана. Більш низька швидкість друку зовнішнього периметра дозволяє поліпшити якість і зовнішній вигляд моделі. «Solid Infill Underspeed» – швидкість друку суцільного заповнення кришки і підстави. «Support Structure Underspeed» – швидкість друку підтримок. «X / Y Axis Movement Speed» – швидкість холостого переміщення каретки принтера з соплом по осях X і Y.

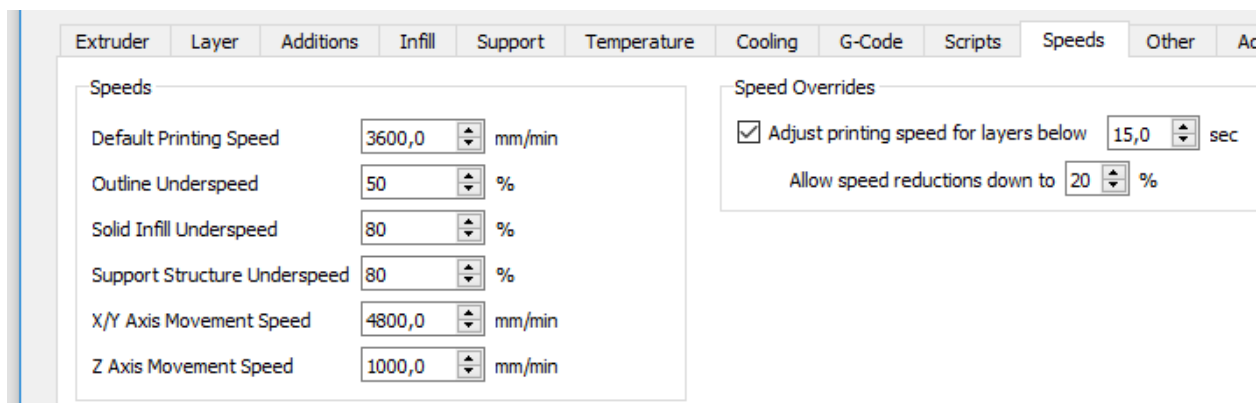


Рисунок 3.11 – Налаштування швидкості

Закладка «G-Code» містить команди для зміни параметрів генерації слайсера G-коду, установка зсувів, змін типу 3Д-принтера, розміру області друку, зміни інформації для слайсера про тип прошивки принтера.

Закладка «Scripts» відповідає за додаткові команди для принтера, перед, під час і після процесу друку. Використовується для зручності деяких моментів друку, такі як: голосове сповіщення про закінчення друку, після закінчення друку привести стіл і екструдер в «домашні позиції», вимкнути мотори, вимкнути нагрівальні елементи.

Після налагодження всіх перерахованих вище закладок, програма генерує G-Code, який сприймає наш принтер і починає роботу з відтворення 3D моделі.

3.3 Проблеми та дефекти 3D друку

Проблеми та дефекти виникають в результаті двох чинників, неправильне налаштування друку і невіправні дефекти самого принтера, найчастіше дефект екструдера. Все це впливає на якість друкувати моделі, її цілісності і механічні властивості.

Першою проблемою, з якою зіткнувся наш 3D принтер, він не друкує, тобто, немає екструдювання при початку друку. Ця проблема досить часто виникає у користувачів нових 3D принтерів. Екструдер не починає з початком виконання завдання продавлювати пластик. Є три причини чому це відбувається:

а) Екструдер не був підготовлений (заповнений) перед початком друку.

У більшості екструдерів є погана звичка протікати пластиком, коли вони не працюють, але при цьому перебувають у високій температурі. Гарячий пластик усередині сопла просочується через хот-енд, в результаті чого всередині сопла виникають порожнечі, звідки пластик витік. Протікання в стані спокою може виникнути перед початком друку, коли йде попередній прогрів екструдера, а також в кінці друку, коли екструдер починає поступово остигати. Якщо частина пластика з екструдера витекла, при наступному екструдюванні, швидше за все, знадобиться кілька секунд, перш ніж пластик знову почне виходити з сопла. Стандартний прийом усунення проблеми полягає в тому, щоб надрукувати так звану «спідницю» (skirt).

б) Сопло починає працювати дуже близько до платформи.

Якщо сопло знаходиться дуже близько до платформи друку, простору для виходу з екструдера пластика може виявитися недостатньо. Отвір на кінці сопла по суті виявляється заблокованим, так що пластику нікуди дітися. На такого роду проблему вказує ситуація, коли пластик не екструдюється на перший, а то і на другий шар, а десь з третього або четвертого, у міру того як платформа опускається по вертикальній осі, все нормалізується. Проблема

вирішується налаштуванням G-Code, який знаходиться під однойменною вкладкою програми 3D-друку.

в) Екструдер засмічений.

Це може статися тоді, коли в сопло потрапляє всякого роду сміття, коли гарячий пластик занадто довго перебував всередині екструдера, або якщо екструдер недостатньо охолоджується і філамент починає розм'якшуватися не там, де слід. Прочистити сопло можна механічно.

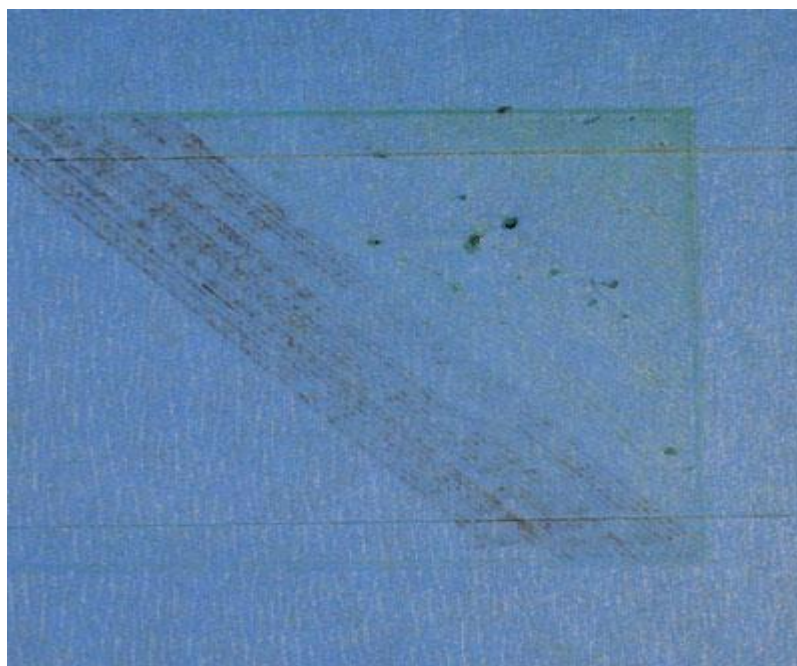


Рисунок 3 – 12 Приклад проблеми відсутності екструдювання на початку друку. [<https://3dpt.ru>]

Друга проблема – термопластик не прилипає до платформи 3D-принтера. Дуже важливо, щоб перший шар роздруківки надійно прикріпився до платформи принтера так, щоб всі інші шари використовували його як фундамент. Якщо перший шар до платформи не прилип, в подальшому виникнуть проблеми.

а) Платформа друку не правильно відрегульована.

Багато принтерів дозволяють підлаштовувати положення платформи друку за допомогою декількох гвинтів або ручок. Якщо є проблеми з прилипанням першого шару, найперше, що треба зробити, переконатися, що

платформа друку рівна і не перекошена. Якщо спостерігається перекіс, одна зі сторін платформи може виявитися занадто близько до сопла, тоді як інша буде занадто далеко.

б) Сопло починає працювати занадто далеко від платформи.

Для того щоб друкований об'єкт краще тримався на платформі, необхідно филамент злегка в неї вмінався. Це можна налаштувати безпосередньо на принтері, але, як правило, набагато простіше і точніше виходить через програму G-Code.

в) Перший шар роздруковується занадто швидко.

Якщо друкувати перший шар занадто швидко, пластик може не встигнути приклеїтися до платформи. З цієї причини, виявляється дуже корисним друкувати перший шар на більш низькій швидкості.

г) Налаштування температури або охолодження.

Буває так що, спочатку шар наче й прилипає до платформи, але потім, остигаючи, починає відставати, причина саме в налаштуваннях температури і охолодження. Наш принтер має функцію підігріву платформи, яка допомагає боротися з цією проблемою.



Рисунок 3 – 13 Приклад проблеми коли перші шари не прилипають до платформи 3D-принтера. [<https://3dpt.ru>]

Пластика видавлюється недостатньо. У програмі є настройка в якій вказується, скільки пластика 3D-принтер повинен видавити. Однак, оскільки сам 3D-принтер не дає ніяких сигналів щодо того, скільки пластика він видавив насправді, може статися, що філамента було видавлено менше, ніж це передбачує програма (це називається недоекструдкуванням). Якщо виникла така проблема, можуть з'явитися щілини між сусідніми шарами. Існує кілька причин цієї проблеми:

а) Невірний діаметр нитки філамента.

Найбільш поширені значення діаметра нитки філамента - 1,75 мм і 2,85 мм. На багатьох котушках пластика вказується точний діаметр ниток. Потрібно переконатися чи правильно вказано діаметр в програмі друку.

б) Маленький коефіцієнт екструдкування.

Якщо діаметр філамента правильний, а пресування і раніше недостатнє, потрібно підлаштувати коефіцієнт екструдкування. Цей параметр (показник витрат), дозволяє легко змінювати кількість екструдіруемого пластика. Для PLA коефіцієнт екструдкування зазвичай виставляють 0.9, для ABS – ближче до 1.

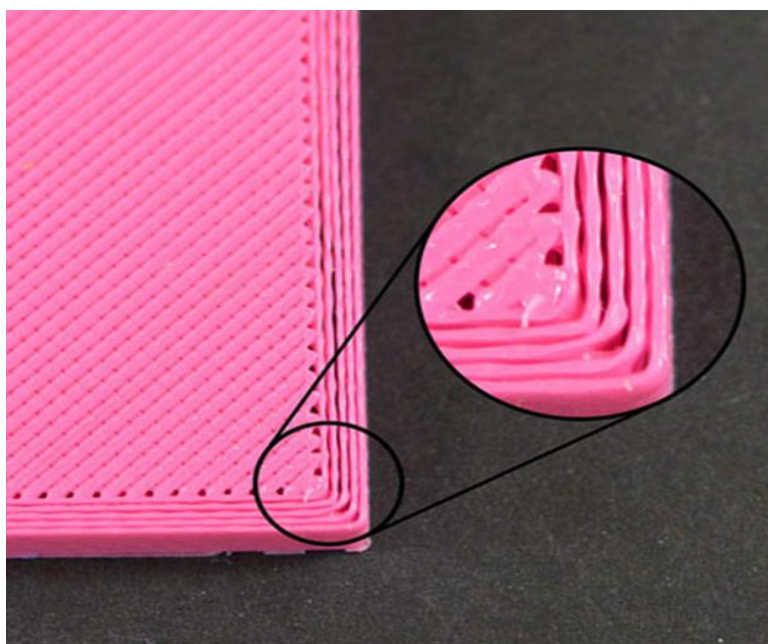


Рисунок 3 – 14 Приклад проблеми коли пластика видавлюється недостатньо [https://3dpt.ru]

Пластика екструдується занадто багато. Для вирішення цієї проблеми треба звернути увагу на декілька параметрів в установках програми друку. Вище написано про те, що робити при недостатній екструзії. Хоча це інструкції на випадок недоекструдкування, необхідно налаштовувати ті ж самі параметри, тільки в інший бік.

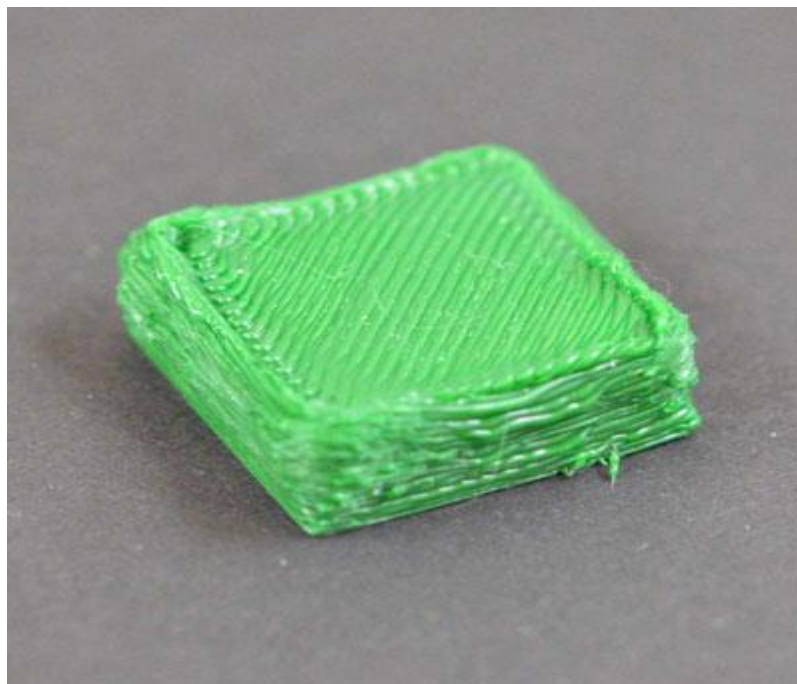


Рисунок 3 – 15 Приклад проблеми коли пластика видавлюється занадто багато [<https://3dpt.ru>]

Павутина, з'являються тоді, коли при друку 3D-моделі утворюються тонкі, небажані нитки пластика. Як правило, це пов'язано з тим, що такі нитки витягуються з сопла, коли екструдер переміщається на нову позицію. Наладка, яка бореться з описуваної проблемою, називається «Retraction» (втягування). Найважливіша настройка у втягування – це дистанція, вона визначає, скільки пластика втягується назад в сопло. Зазвичай, чим більше пластику втягується, тим менш імовірно, що сопло буде протікати під час переміщення. Наступний параметр втягування, який потрібно перевірити – швидкість, на якій філамент втягується в сопло. Якщо вона занадто мала, пластик буде повільно стікати вниз і може почати капати ще до того, як

екструдер завершив переміщення на нову позицію. Якщо вона занадто висока, филамент може відірватися від гарячого пластику в соплі. Золота середина зазвичай знаходиться десь між 1200 і 6000 мм / хв (20-100 мм / с), тоді втягування проходить найкращим чином. Якщо з настройками параметрів втягування все добре, другою причиною виникнення павутини є надлишкова температура екструдера. PLA особливо чутливий до температури. Якщо вона занадто висока, пластик всередині сопла стає надмірно рідким і йому набагато легше витікати через сопло. Якщо ж температура занадто низька, пластик буде занадто твердим і його буде важко продавити через хот-енд.

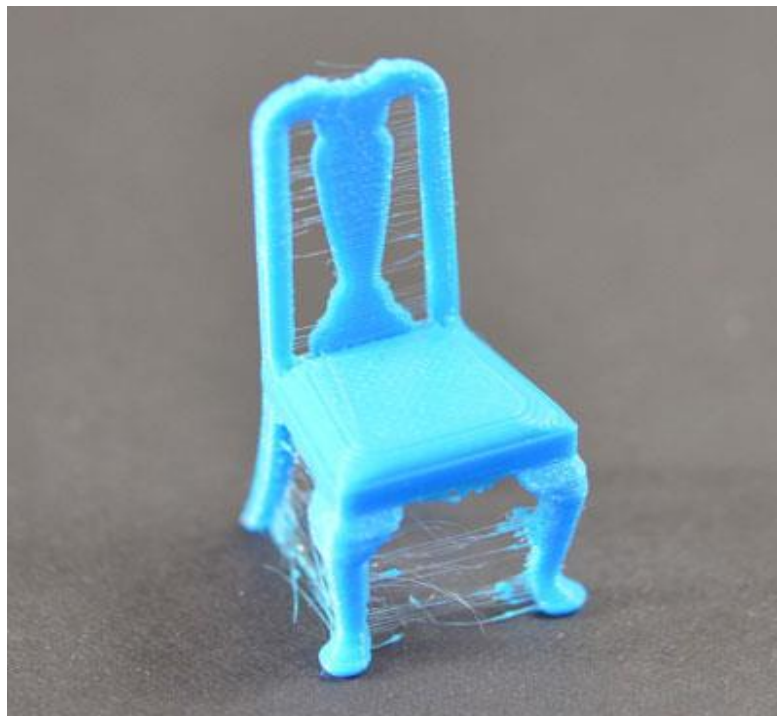


Рисунок 3 – 16 Приклад проблеми виникнення павутини
[<https://3dpt.ru>]

Проблема друку, коли шари розділяються або розщеплюються. Щоб надрукований об'єкт був досить міцним і надійним, потрібно зробити так, щоб кожен шар був належним чином пов'язаний з попереднім. Для цього потрібно ретельно контролювати такі параметри:

- а) Висоту шару;

б) Температуру друку.

У першому випадку, для уникнення розщеплення, висота шару повинна бути на 20% меншим, ніж діаметр сопла. Наприклад, якщо сопло 0,4 мм, висота шару повинна бути 0,32 мм – в іншому випадку шари пластика не будуть належним чином прилипати один до одного.

Гарячий пластик завжди краще з'єднується, ніж холодний. Якщо зчеплення шарів недостатня, а висота шару задана правильно, можливо филаментам для з'єднання шарів потрібна більша температура. Наприклад, якщо друкувати пластиком ABS при 190 ° C, швидше за все шари друкованого об'єкта будуть занадто легко розщеплюються. Це відбувається тому, що для друку ABS потрібна температура 220 – 235 °C, тоді шари склеюються надійно.



Рисунок 3 – 17 Приклад проблеми, коли шари розділяються і розщеплюються [<https://3dpt.ru>]

Погане заповнення. Заповнення 3D-моделі грає дуже важливу роль в плані її міцності. Воно відповідає за те, щоб скріплювати зовнішню оболонку 3D-об'єкта і підтримувати ті його площини, які друкуються поверх нього. Цю проблему можна усунути без особливих зусиль, просто змінивши тип заповнення деталі в налаштуванні програми «слайсер» або збільште ширину

екструдуюча наповнювача, цей параметр так само є в програмі налаштувань друку.

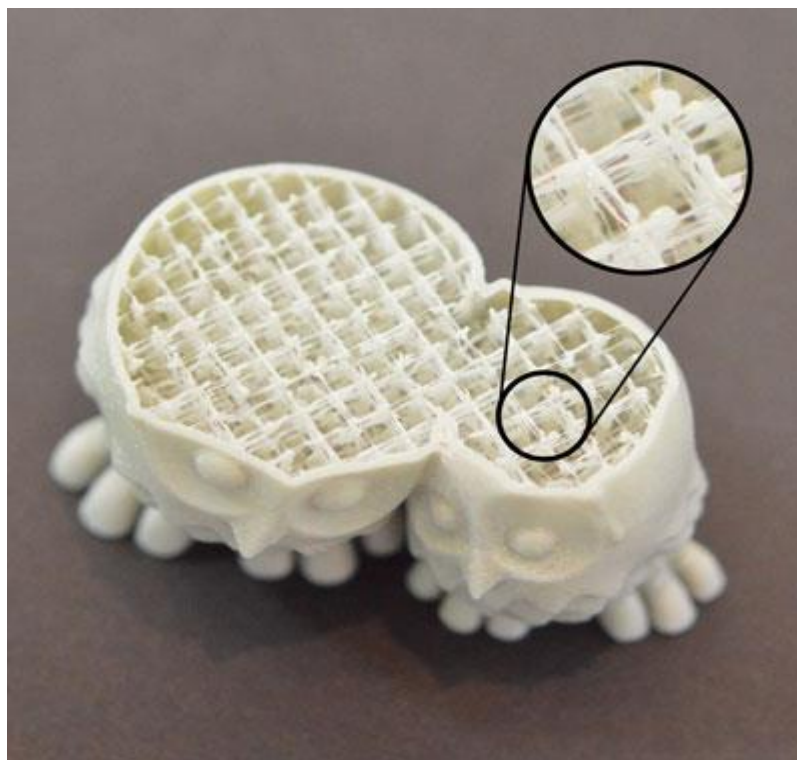


Рисунок 3 – 18 Приклад поганого заповнення моделі [https://3dpt.ru]

Щілини між заповненням і контуром. Кожен шар друкованого 3D-об'єкта створюється в результаті комбінації зовнішнього периметра і заповнення. Периметри шарів слідує контуру моделі, створюючи міцну поверхню. Заповнення, яке друкується всередині цих периметрів, становить іншу частину шару. Воно зазвичай виповнюється у вигляді шаблонів, які виходять в результаті зворотно-поступального руху голівки. Через цю особливість побудови можливі щілини між контуром і заповненням деталі. Існує дві причини виникнення цієї проблеми друку. Перша – це занадто велика швидкість. Заповнення моделі зазвичай друкується значно швидше, ніж контури. І може виявитися що, часу на те, щоб воно зчепилося з периметром недостатнім. Знизивши швидкість заповнення, можливо, вирішить цю проблему. Друга – недостатнє перекриття контуру. У деяких програмах управління 3D-печаткою є параметр, який дозволяє регулювати

міцність зчеплення зовнішнього контуру і наповнення. Наприклад, якщо вказано 20% перекриття контуру, це означає, що програма передасть на принтер інструкції, за якими заповнення буде на 20% перекривати внутрішню частину периметра. Якщо збільшити його до 30%, можливо проблема зникне.

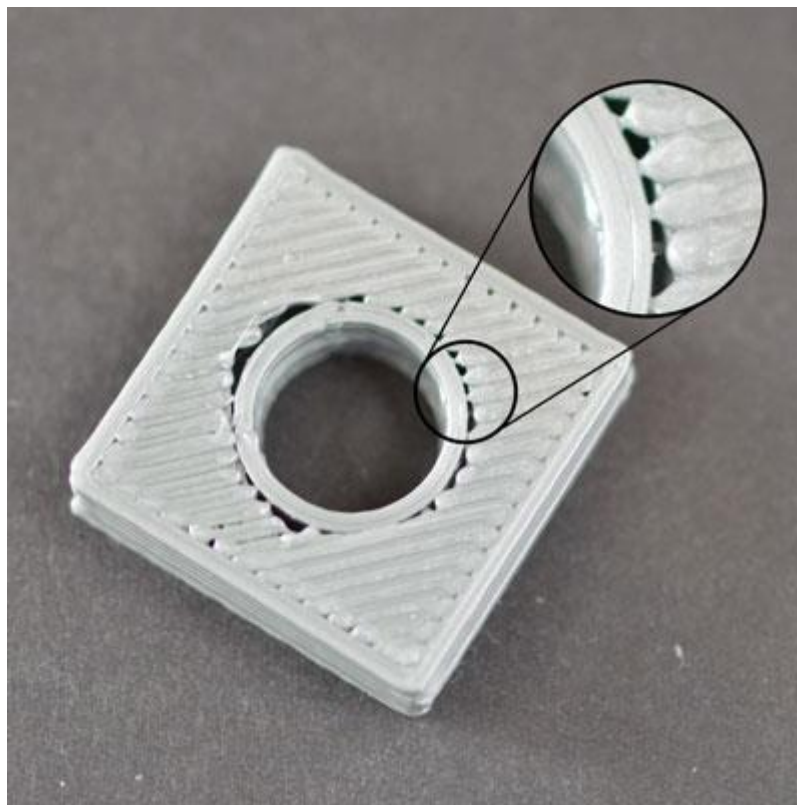


Рисунок 3 – 19 Приклад щілини між заповненням і контуром.
[<https://3dpt.ru>]

Загинання або нерівні кути і краї. Через якийсь час буває, що деякі частини роздруківки починають загинатися, проблема зазвичай в перегріві. Пластик екструджується при дуже високій температурі і якщо він швидко не охолоджується, з часом він може змінити форму. Цю проблему можна уникнути, якщо швидко холодітиме кожен шар у пластика не залишалося часу на деформацію до повного застигання.

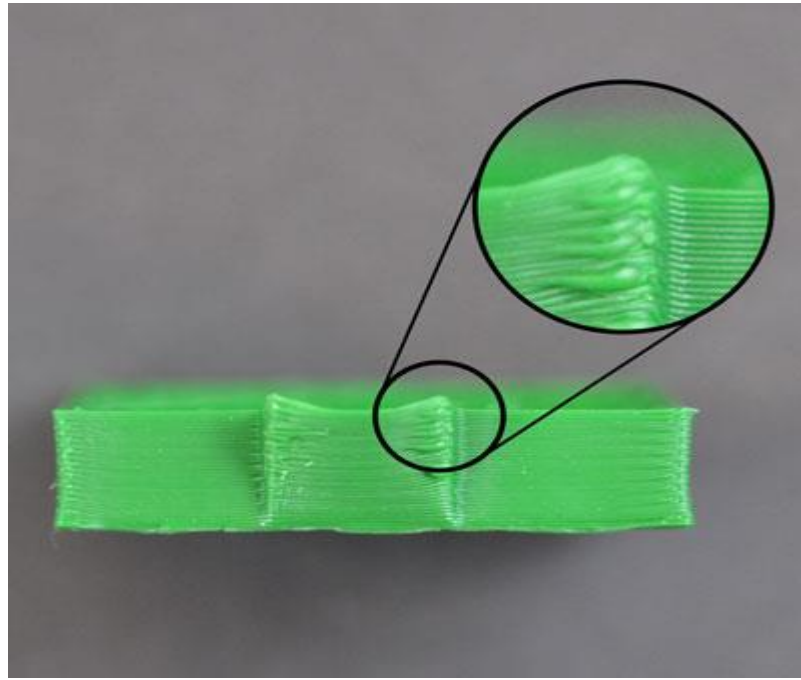


Рисунок 3 – 20 Приклад загинання або нерівних кутів і країв.
[<https://3dpt.ru>]

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Робота та дослідження, які виконуються в магістерській роботі передбачає проведення дослідів в лабораторії «Мотор Січ» на території запорізького національного технічного університету. Для усунення ризиків травматизму, нещасних випадків та створення нормованих умов роботи необхідно дотримуватися правил техніки безпеки під час роботи з персональним комп'ютером та 3D принтером. Така робота належить до розряду робіт з підвищеним розумовим навантаженням. Тому на дослідника впливають такі небезпечні та шкідливі фактори як:

- можливість зазнати опіки від розплавленого термопластика, або столу печаті, який нагрівається до 100-150°C;
- недостатній рівень штучного та природного освітлення може призвести до швидкої втоми, зниження працездатності, короткозорості(допустимий рівень освітленості в зоні роботи з комп'ютером та дрібними деталями 300- 500 лк);
- ураження електричним струмом внаслідок недотримання правил безпеки при роботі з електричними приладами, порушення ізоляції дротів, несправності електричних приладів;
- підвищена пульсація світлового потоку (при коефіцієнті пульсації більше 5%) може призвести до втоми органів зору, зниження уваги, гальмування активності мозку, погіршення зору;
- механічне травмування в наслідок не раціонального розташування робочого місця;
- кістково-м'язові порушення, у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг;
- негативний вплив монітора комп'ютера, а саме коливання зображення, занадто яскраве, або темне зображення, неправильне розташування монітора, все це приводить до погіршення зору;

- підвищений рівень вібрації від 3D принтера та ПК визиває у людини головну біль, погіршення зору та слуху;
- хімічні отруйні речовини, що виділяються під час друку, сприяють виникненню легеневих захворювань і зниження імунітету;
- інтелектуальне перевантаження може призвести до втоми, підвищеного емоційного стану, порушенню сну;
- температура повітря в теплу та холодну пори року в робочій зоні (холодна пора року 21...24°C, в тепла пора року 23...25°C) можуть призвести до млявості, застуди, загострення хронічних хвороб;

4.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Перед початком дослідницької роботи студент повинен пройти вступний інструктаж з охорони праці. Також безпосередньо перед роботою на робочому місці проводиться первинний інструктаж.

Для захисту від можливих опіків та травм, пов'язаних з розплавленим пластиком надати робітнику засоби індивідуального захисту (спеціальний одяг, засоби захисту рук, очей) згідно НПАОП 0.00-4.01-08 «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту».

Для усунення ймовірності ураження електричним струмом передбачаються організаційні заходи. Згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Робітник повинен утримувати робоче місце в чистоті, не захащувати його сторонніми предметами. Дотримуватися вимог санітарних норм та правил особистої гігієни.

Системний блок та принтер не слід розміщати всередині столу, або в іншому замкнутому просторі де порушена циркуляція повітря.

Для запобігання впливу шкідливих чинників при роботі на ПК та 3D принтера необхідно дотримуватись режиму роботи та відпочинку.

4.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Стопи ніг повинні розміщуватися на спеціальній підставці або горизонтальній підлозі, стегна у горизонтальній площині, а передпліччя – вертикально, лікті повинні бути під кутом 70 - 90° до вертикальної площини, зап'ястя – зігнуті відносно вертикальної площини не більш ніж на 20°. Висота робочої поверхні столу 680-800мм, а ширина достатня для забезпечення можливості виконання операцій у зоні досяжності рук.

Для запобігання запиленості та загазованості приміщення пилом і парами пластика, що плавиться при 3D друкуванні необхідно передбачити вентиляційні системи, які повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Оцінку впливу рівня вібрацій необхідно проводити за ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину».

Рівень шуму при проведенні дослідів в лабораторії не повинен перевищувати 80 дБ згідно вимог ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

Приміщення повинні мати природне та штучне освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення ПК має становити 400 лк, якщо ці значення неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення.

Штучне освітлення має бути комбінованим, тобто поєднується з місцевим. В якості джерел штучного освітлення рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи білого спектрального складу. Місцеве освітлення не повинно створювати відблиски на поверхні екрану та збільшувати освітленість екрану більше 400 лк. Коефіцієнт пульсації не має

перевищувати 5%. Тому рекомендується використовувати світильники з розсіювачами та дзеркальними екранними сітками або віддзеркалювачі з високочастотними пускорегулювальними апаратами. Для забезпечення освітлюваності в 400 лк розрахуємо необхідну кількість світла та визначимо схему розташування світильників:

1) Вибір системи освітлення.

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України (ДБН В.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення»). Для лабораторії підходить розряд зорової роботи IIIа, застосовуємо систему комбінованого освітлення.

2) Визначення рівня нормованої освітленості (E_n) проводимо за допомогою додатка А [28]. В залежності від розряду зорових робіт, фону та контрасту об'єкта. Приймаємо $E_n = 400$ лк.

3) Вибираємо джерело освітлення: використовуємо люмінесцентні лампи ЛБ (білого кольору 2500-2800К), тому що висота нашої споруди не перевищує 6м.

Розміри лабораторії: довжина $A = 6$ м, ширина $B = 6$ м, висота $H = 2,8$ м.

4) Вибір типу світильника проводимо з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і освітлювального приміщення за вибухопожежонебезпекою за допомогою додатка В [28]. Для лабораторій, та приміщень з пиловиділенням висотою до 5 м обираємо тип світильника ПВЛ. Коефіцієнт світильника $[L/h] = 1,5$.

5) Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності (мінімального) освітлення:

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов за додатком Г, таблиця 4 [28]. Обираємо $k_z = 1,5$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення $z = 1,1$ – для люмінесцентних ламп.

6) Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення:

Обирається за дод. Г, табл. 5 [28] в залежності від виділення пилу у процесі роботи. У приміщеннях з незначним пиловиділенням $\rho_c = 50\%$ – відбиття від стелі, $\rho_{ст} = 30\%$ – відбиття від стін, $\rho_p = 10\%$ – відбиття від підлоги.

7) Значення індексу приміщення визначаємо за формулою:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (4.1)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

$$h = H - h_p - h_3, \quad (4.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м, (як правило, висота умовної робочої поверхні $h_p = 0,8$ м);

h_3 – висота звисання світильника від стелі, м.

Так як h_3 не задана, то розрахунок проводимо за формулами:

а) Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot [L/h]}, \quad (4.3)$$

де $[L/h] = 1,5$ – числове значення коефіцієнта світильника за дод. В [27].

$$N_p = \frac{6}{(2,8 - 0,8) \cdot 1,5} = 2 \text{ ряда}$$

б) визначаємо максимально припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м} \quad (4.4)$$

в) розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ м} \quad (4.5)$$

г) знаходимо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 2,8 - 0,8 - 2 = 0 \text{ м} \quad (4.6)$$

Знаходимо чисельне значення індексу приміщення за формулою (4.1):

$$i = \frac{6 * 6}{2(6 + 6)} = 1,5$$

8) Значення коефіцієнта використання світлового потоку η обираємо в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення ($\rho_s, \rho_{st}, \rho_p$) та індексу приміщення додаток Д [28]. Приймаємо $\eta = 40\%$.

9) Проводимо розрахунок світлового потоку лампи та загальної кількості світильників за схемою:

а) Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta}, \quad (4.7)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлювальної поверхні, м^2 ;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,4} = 59\,400 \text{ лк}$$

б) Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{6 \cdot 6}{3^2} = 4 \text{ світильника} \quad (4.8)$$

в) Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}}, \text{ лм} \quad (4.9)$$

де $N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, шт;

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n = 4 \cdot 2 = 8 \text{ шт}$$

n – кількість ламп у світильнику.

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{59\,400}{8} = 7\,425 \text{ лм}$$

г) За додатком Б обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ і розраховуємо коефіцієнт m . Тип лампи – ЛБ, $P_{\text{л}} = 80 \text{ Вт}$ – потужність лампи, $\Phi_{\text{л}} = 5\,400 \text{ лм}$ – світловий потік лампи, $L = 1,5 \text{ м}$ – довжина лампи.

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{7\,425}{5\,400} = 1,375 \quad (4.10)$$

д) Визначаємо оптимальну кількість ламп у приміщенні:

$$N = N_{\text{л}} \cdot m = 8 \cdot 1,375 = 11 \text{ ламп} \quad (4.11)$$

Приймаємо фактичну кількість ламп у приміщенні $N_{\text{фл}} = 12 \text{ ламп}$.

10) Визначаємо загальну розрахункову освітленість $E_{\text{р}}$ у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_{\text{р}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{фл}} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{5\,400 \cdot 12 \cdot 0,4}{36 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 436,4 \text{ лк} \quad (4.12)$$

При правильному виборі типу і кількості стандартних ламп повинна виконуватися умова:

$$E_{\text{р}} = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_{\text{н}}, \text{ лк} \quad (4.13)$$

$$E_{\text{р}} = 360 \dots 480 \text{ лк}$$

Розрахункове значення освітленості $E_{\text{р}}$ складає 436,4 лк, отже необхідна умова виконується.

11) Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 12 \cdot 80 = 960 \text{ Вт} \quad (4.14)$$

12) Виконаємо ескіз розташування світильників на плані приміщення.

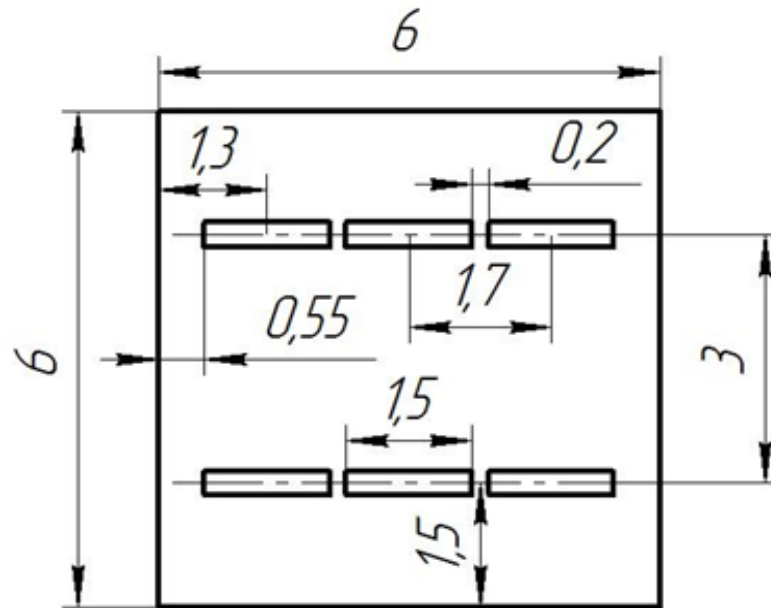


Рисунок 4.1 – Схема розміщення світильників у лабораторії

Площа лабораторії, що виділяється для одного робочого місця, на якому розміщено обладнання, повинна становити не менше 6м^2 , а об'єм – не менше 20м^3 . СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Екран монітора повинно розмістити, щоб забезпечити зручність зорового спостереження в вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ від лінії зору працівника. ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

Забезпечення вимог до санітарно-побутових приміщень (згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення»).

Працюючі з ПЕОМ підлягають обов'язковим медичним оглядам. Періодичні огляди мають проводитися раз на два роки. Основними критеріями оцінки стану придатності до роботи є стан органів зору, при цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому. Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Відносна вологість повітря у приміщенні 40-60% – в холодну і теплу пору року. ДСН 3.3.6.042-99 „Державні санітарні норми параметрів мікроклімату”

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки при роботі у лабораторіях, обладнаних ПК з ВДТ розробляється згідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

У лабораторії обладнаний ПК та іншим електронним обладнанням можлива пожежа класу А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000В) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)».

Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали. Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у дослідницькій лабораторії обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку, а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії) обладнаному ПК з ВДТ встановлюється система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

4.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Використання сил цивільного захисту на хімічно небезпечному об'єкті при ліквідації вогнищ ураження, утворених витіканням великої кількості сильнодіючих отруйних речовин.

Хімічно небезпечним об'єктом (ХНО) вважається об'єкт господарювання, при аваріях і руйнуваннях якого можуть відбутися масові ураження людей, тварин і рослин сильнодіючими отруйними речовинами.

До хімічно небезпечним об'єктом відносяться:

- підприємства хімічної галузі промисловості, які виробляють чи використовують сильнодіючі отруйні речовини;
- підприємства по переробці нафтопродуктів;
- підприємства інших галузей промисловості, які використовують СДОР;
- підприємства, які мають на оснащенні холодильники, водонапірні станції, очисні споруди, що використовують хлор і аміак;
- залізничні станції і порти, де концентрується продукція хімічних виробництв, термінали і склади на кінцевих пунктах переміщення СДОР;
- транспортні засоби, контейнери і наливні потяги, автоцистерни, річкові і морські танкери, які перевозять хімічно небезпечні продукти;
- склади і бази, на яких зберігаються запаси речовин для дезінфекції, дератизації сховищ для зерна і продуктів його переробки.

Сильнодіючі отруйні речовини (СДОР) — це токсичні хімічні речовини, що застосовуються в господарських цілях і здатні при витіканні зі

зруйнованих чи ушкоджених технологічних ємностей, сховищ і устаткування, викликати масові ураження людей.

За своїми вражаючими властивостями СДОР поділяються на такі групи:

- речовини з переважно задушливою дією (хлор, фосген, хлорпікрин та 87н.);
- речовини переважно загально отруйної дії (окис вуглецю, ціаністий водень та 87н.);
- речовини задушливої та загально отруйної дії (аміак, 87н.87но токси, азотна кислота й окисли азоту, сірчистий ангідрид, фтористий водень);
- речовини, які діють на генерацію, проведення і передачу нервового імпульсу — нейротропні отрути (сірковуглець, тетраетил свинець, фосфорорганічні сполуки й 87н.);
- речовини задушливої і нейротропної дії (аміак, гептил, 87н.87но та 87н.);
- метаболічні отрути (окис етилену, дихлоретан та 87н.).

За ступенем токсичності СДОР, які надходять в організм через органи дихання і шлунково-кишковий тракт, можна розділити на шість груп (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1

Групи токсичності	Середня смертельна чи частково смертельна концентрація
Надзвичайно	токсичні менше 1
Високотоксичні	1-5
Сильнотоксичні	6-20
Помірнотоксичні	21-80
Малотоксичні	81-160
Практично нетоксичні	більше

До надзвичайно і високотоксичних СДОР відносяться сполуки миш'яку, ртуті, кадмію талію , свинцю, цинку, нікелю, заліза, фосфору, хлору, броду, синильної кислоти і деякі інші сполуки.

До 88н.88но токсичних хімічних речовин відносяться сірчана, азотна, соляна, ортофосфорна, оцтова й 88н.. кислоти, луги (аміак, їдкий калій, натрій, хлористий і бромистий метил).

Токсодоза – кількість речовини (в одиницях ваги), віднесена до одиниці об'єму і до одиниці часу. Токсодоза характеризує кількість токсичної речовини, поглинутої організмом за певний інтервал часу.

Території, які потрапили під вплив сильнодіючих отруйних речовин у результаті аварії на хімічно небезпечному об'єкті , поділяють на зони:

а) Зона смертельних токсодоз (надзвичайно небезпечного зараження) – зона, на зовнішній межі якої 50% людей одержують смертельні ураження.

б) Зона вражаючих токсодоз (небезпечного зараження) – зона, на зовнішній межі якої 50% людей втрачають працездатність, їм потрібна медична допомога чи навіть госпіталізація.

в) Дискомфортна (гранична) зона – зона, на зовнішній межі якої люди відчувають дискомфорт, у них починаються загострення хронічних захворювань або з'являються перші ознаки інтоксикації.

Масштаби і тривалість зараження СДОР при аварії на хімічно небезпечному об'єкті обумовлюються:

- фізико-хімічними властивостями СДОР;
- кількістю СДОР, викинутих на місцевість, в атмосферу, у воду;
- метеорологічними умовами;
- оперативністю оповіщення і вживання заходів;
- підготовленістю обслуговуючого персоналу до ліквідації наслідків розливу СДОР;
- характеристиками об'єктів зараження (для місцевості – наявністю і характером рослинного покриву, місцями можливого застою повітря; для води – площею поверхні, глибиною , швидкістю течії, наявністю ґрунтових

вод, характеристикою прибережних ґрунтів; для населення – ступенем захищеності від ураження СДОР, характером діяльності; для матеріальних засобів – характеристикою матеріалів, які підпали під зараження, у тому числі пористістю, наявністю і складом лакофарбових покриттів).

Ураження людей і тварин відбувається унаслідок вдихання зараженого повітря (інгаляційно), контакту із зараженими поверхнями (контактно-резорбтивно), через шлунково-кишковий тракт (перорально) у результаті вживання заражених продуктів харчування, через шкірні покриви, слизові оболонки і поверхні ран (резорбтивно) та іншими шляхами. В результаті впливу СДОР на організм людини, крім безпосередніх уражень, можуть спостерігатися і віддалені генетичні наслідки.

Одним із основних завдань держави є забезпечення гарантованого захисту життя і здоров'я людей, безпеки територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру шляхом запобігання, негайного і ефективного реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків зі здійсненням комплексу заходів по наданню допомоги постраждалому населенню.

Для координації дій органів державної влади та органів місцевого самоврядування, органів управління та сил цивільного захисту, а також організованого та планового виконання комплексу заходів реагування на НС та ліквідації їх наслідків: використовуються центри управління надзвичайним станом, утворюються спеціальні комісії, призначаються керівники робіт за ліквідації лиха, визначається потреба у силах цивільного захисту, долучають сили цивільного захисту до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Центральна роль у забезпечення реагування на НС відводиться Державній службі України за надзвичайних ситуацій, яка виконує дві ключові функції:

а) організація всього процесу реагування і ліквідації НС із залученням всіх можливостей держави;

б) застосування рятувальних сил ДСНС як основну складову реагування, спрямовану на захист цивільного населення країни.

Обов'язковою умовою щодо ефективного реагування при виникненні надзвичайної ситуації є не тільки своєчасне зосередження сил і засобів в районі виникнення надзвичайної ситуації, але й правильна організація управління підрозділами під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

ВИСНОВКИ

1. Розглянули найпоширеніші технології 3D друку, визначили на основі якій будемо створювати власний 3D принтер.
2. Визначились с типом принтера та його складових.
3. Провели аналіз програмного забезпечення.
4. Наведено список основних команд G-коду для 3D друку.
5. Були знайдена залежність між заданими параметрами та якістю друку.
6. Навчилися змінювати G-код без допомоги програми-слайсер.
7. Виявлені потенційні небезпеки та представлені заходи по забезпеченню техніки безпеки у лабораторії.
8. Розраховано необхідну кількість штучного світла у лабораторії «Мотор Січ»

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <http://world-kruser.blogspot.com> – KruserWorld.
2. www.orgprint.com
3. <https://cnc3d-printer.com>
4. wikipedia – Вільна енциклопедія.
5. 3D-Printing-Guide
6. www.additively.com – Форум аддитивних технологій.
7. Griffey, Jason. 3-D The types of 3-D printing / Library Technology Reports, 2017.
8. 3dprint.sumdu.edu.ua – 3D друк ЕСТ центр.
9. www.3dtoday.ru/ – Спільнота власників 3D-принтерів.
10. Øyvind, Kallevik Grutle 5-axis 3D Printer / Master's thesis. – Університет Осло, Норвегія, 2015.
11. Paolo Minetola, Luca Iuliano, Giovanni Marchiandia. Benchmarking of FDM machines through part quality using IT grades. – Політехнічний університет Туріна, Італія, 2015.
12. Hongyao Shen, Diao Huaidong, Yue Shuhua, Jianzhong Fu, Журнал швидкого прототипування, 2017.
13. Eva Jacobsen, Inge Bondgaard Nielsen, Jeanette Schjøth-Eskesen, Christian Holst Fischer, Poul Bo Larsen, Dorthe Nørgaard Andersen, The Danish Environmental Protection Agency. – Данія, 2017.
14. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 / МЮУ 25.04.2018 р. за № 508/31960 <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18/conv>.
15. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

16. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
17. Юдин, Е.Я. Охрана труда в машиностроении [Текст]: учебник для машиностроительных вузов / С.В. Белов, С.К. Баланцев и др.; под общ. ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.- 432 с.
18. Піскун, І.П. Охорона праці в галузі машинобудування [Текст] / Р.Є. Стець., І.О. Трунова. – Суми: Університетська книга, 2011.-557с.
19. Кодекс цивільного захисту України станом на 06 грудня 2012 року: – К.: Алерта, 2012. – 120 с.
20. Стеблюк, М.І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст]: підручник. – К.: Знання-Прес, 2007. – 487 с.
21. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання /Укл. В.І. Шмирко, О.В. Коробко, А.Є. Островська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011.



Мастітерська робота

На тему: «Дослідження конструкцій, принципів роботи, розробка і виготовлення 3D FDM принтера».

Розробив ст.гр. М-113м

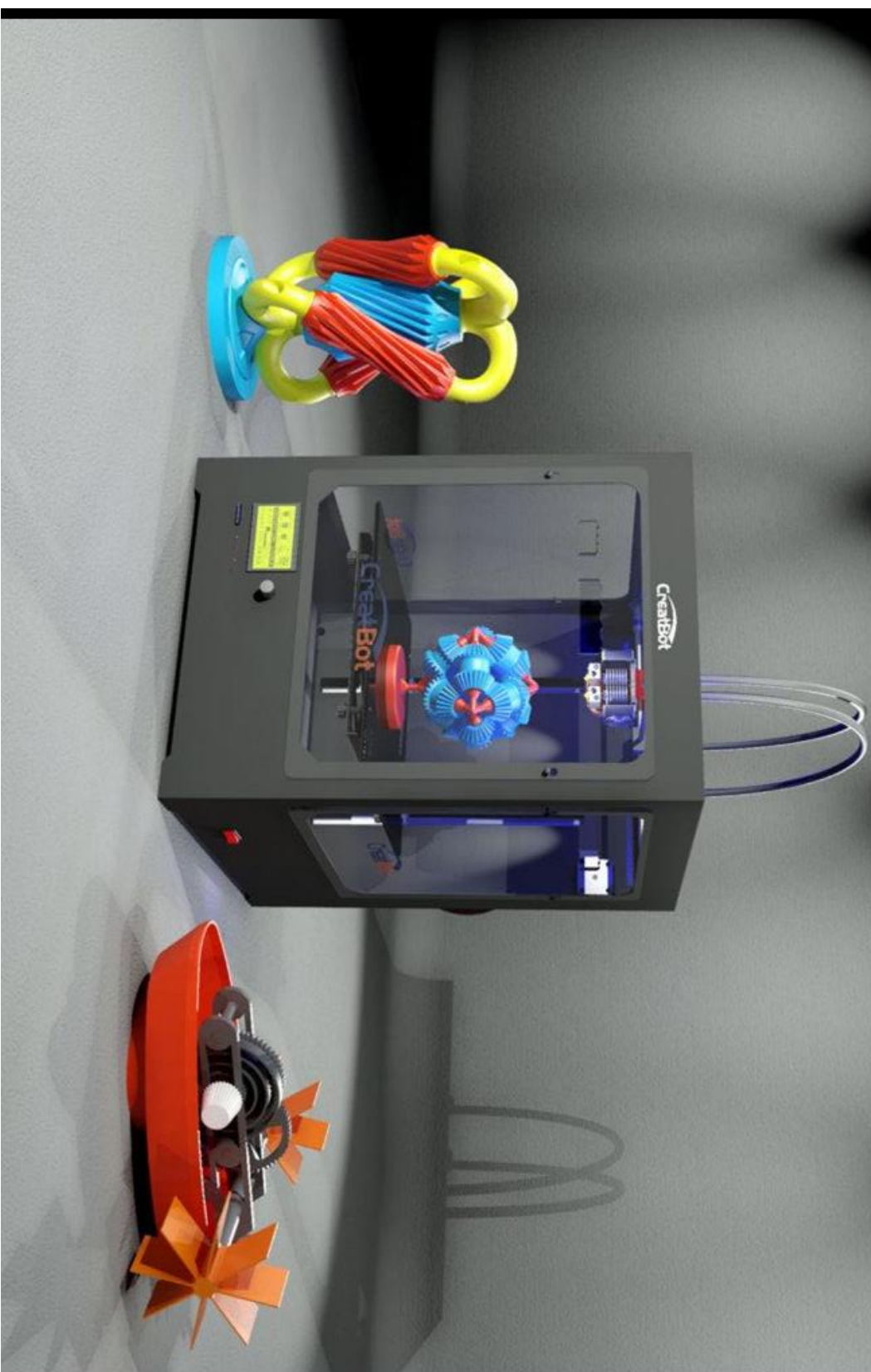
Ловчиков М.В.

Керівник к.т.н.

Логомінов В.О.



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



Методи тривимірного друку

Ті що видавлюються або
розпилюються

- FDM
(fused deposition modeling)

- LENS
(laser engineered net shaping)

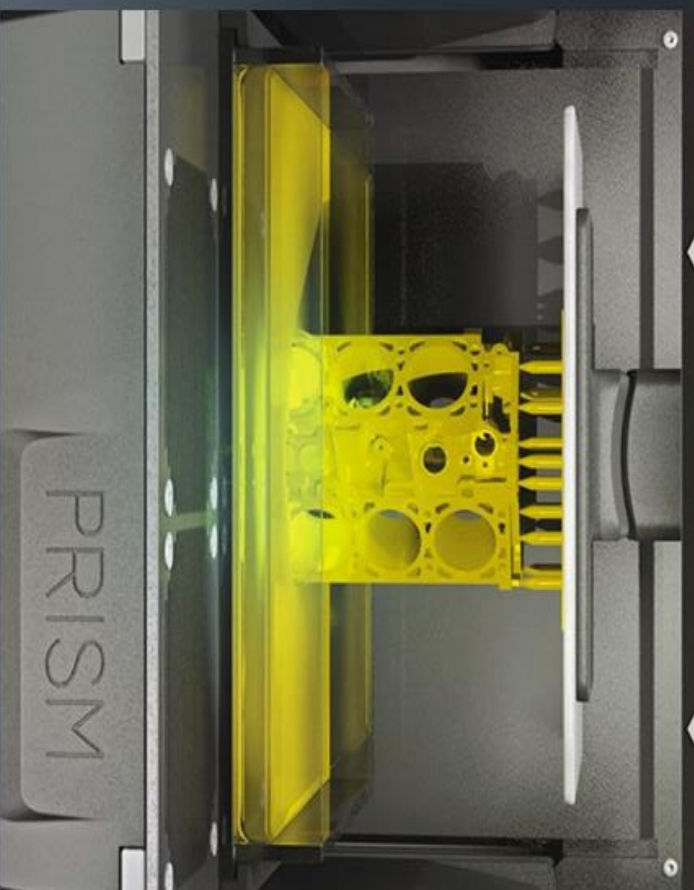


Методи тривимірного друку

Ті які спекають або склеюють

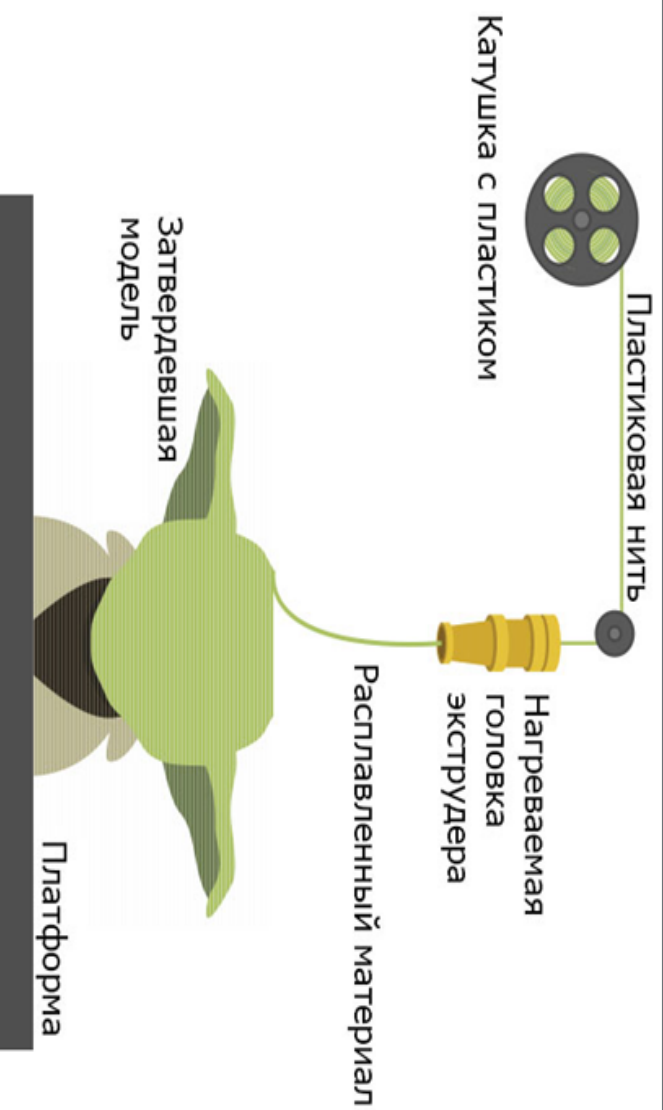
- SL
(stereolithography)

- DLP
(digital light processing)



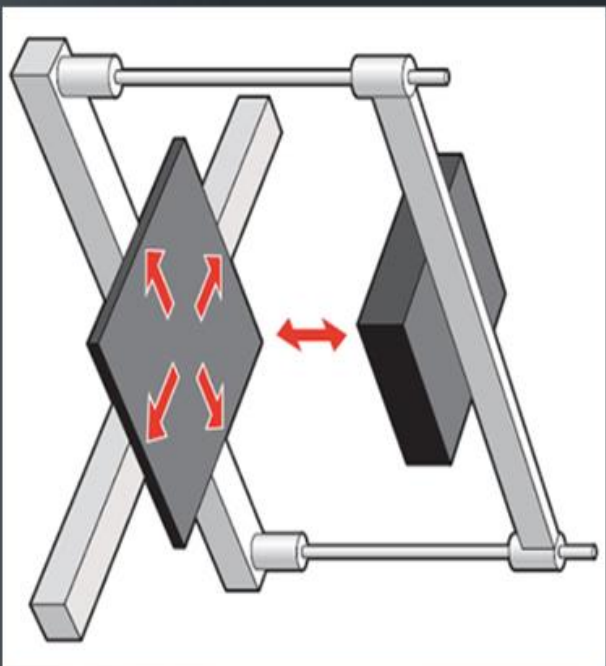
Fused Deposition Modeling

Технологія передбачає створення тривимірних об'єктів шляхом нанесення послідовних шарів матеріалу, що повторюють контури цифрової моделі . В якості матеріалів для друку використовують термопластики.

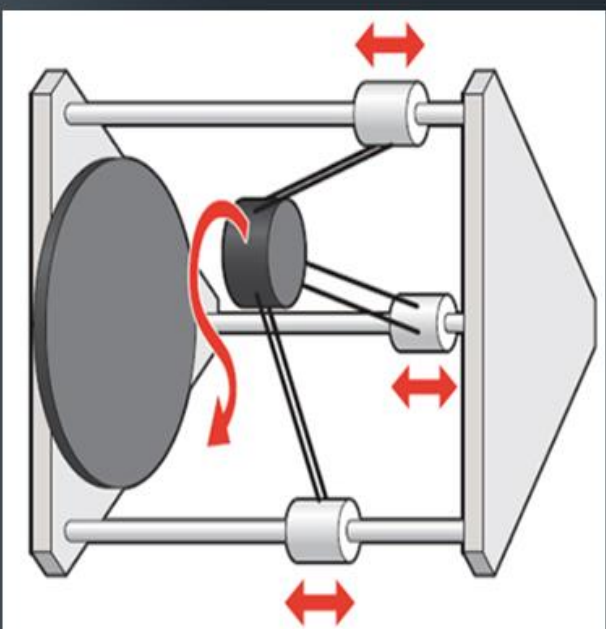


Типи конструкцій ФДМ принтерів

Декартовий

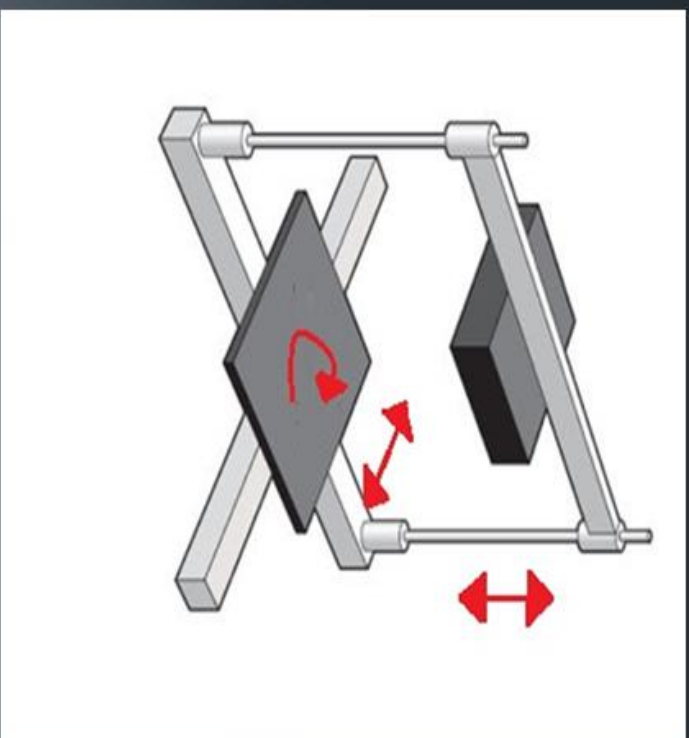


Дельта



Типи конструкцій FDM принтерів

Поларний



Роботизований модуль



КОНСТРУКТОРСЬКА СКЛАДОВА



Екструдер

Крокові двигуни

Вали й напрямні

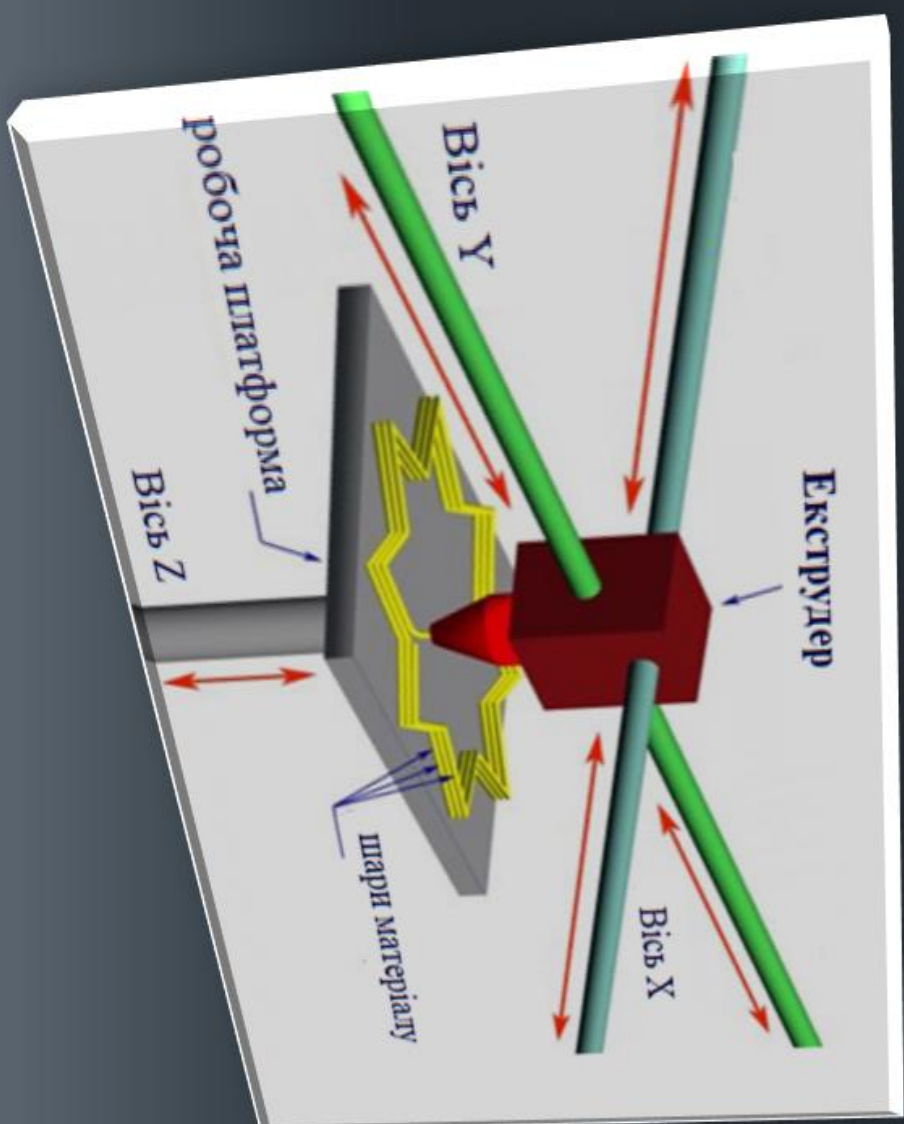
ArduinoMega 2560

Блок живлення

Кулера різних розмірів

Стіл з нагрівачим елементом

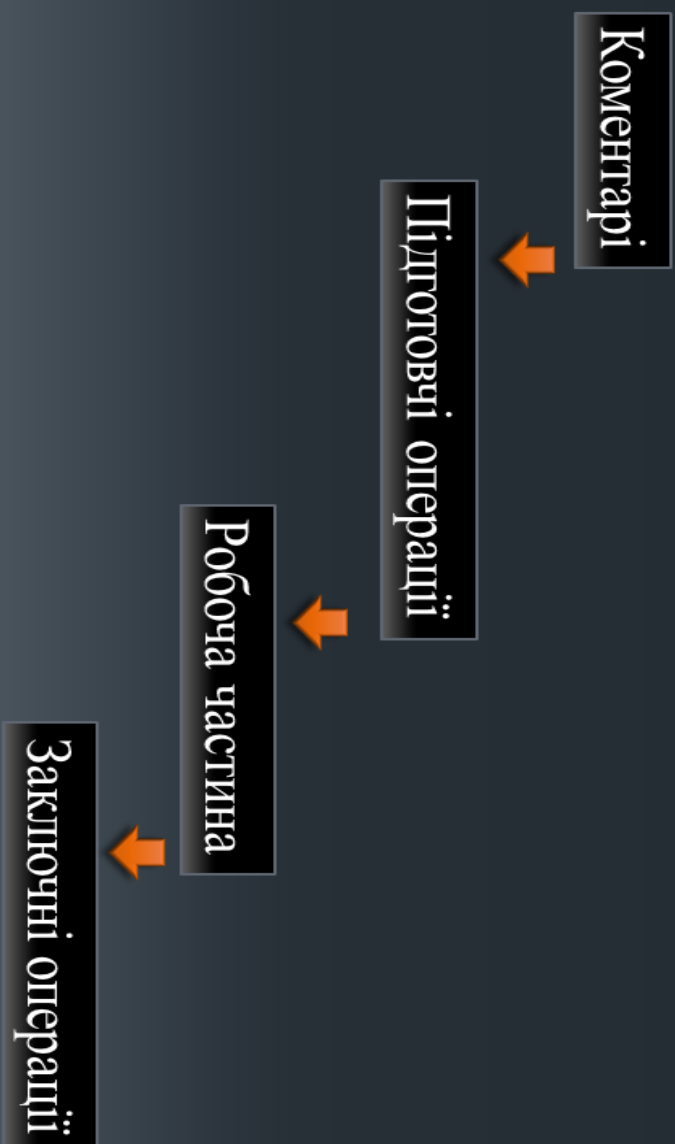
Схема переміщення



Arduino Mega 2560



Структура G-коду



Приклад G-кода

plastina.diplom — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

M82
M106 S0
M104 S190 T0
M109 S190 T0
G28 ; home all axes
G92 E0
G1 E-1.0000 F1800
G1 Z0.180 F1000
; process Process1
; layer 1, Z = 0.180
T0
; tool H0.200 W0.400
; skirt
G1 X70.491 Y73.003 F4800
G1 E0.0000 F540
G92 E0
G1 X73.003 Y70.491 E0.1063 F1800
G1 X73.224 Y70.400 E0.1135
G1 X126.776 Y70.400 E1.7165
G1 X126.997 Y70.491 E1.7237
G1 X129.509 Y73.003 E1.8300
G1 X129.600 Y73.224 E1.8372
G1 X129.600 Y126.776 E3.4402
G1 X129.509 Y126.997 E3.4473

plastina.diplom — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

G1 X124.060 Y77.674 E0.1273
G1 X122.326 Y75.940 E0.2007
G1 X121.761 Y75.940 E0.2176
G1 X124.060 Y78.239 E0.3150
G1 X124.060 Y78.805 E0.3319
G1 X121.195 Y75.940 E0.4532
G1 X120.629 Y75.940 E0.4701
G1 X124.060 Y79.371 E0.6154
G1 X124.060 Y79.937 E0.6323
G1 X120.063 Y75.940 E0.8015
G1 X119.498 Y75.940 E0.8184
G1 X124.060 Y80.502 E1.0116
G1 X124.060 Y81.068 E1.0285
G1 X118.932 Y75.940 E1.2456
G1 X118.366 Y75.940 E1.2625
G1 X124.060 Y81.634 E1.5035
G1 X124.060 Y82.199 E1.5205
G1 X117.801 Y75.940 E1.7854
G1 X117.235 Y75.940 E1.8024
G1 X124.060 Y82.765 E2.0913
G1 X124.060 Y83.331 E2.1082
G1 X116.669 Y75.940 E2.4211
G1 X116.104 Y75.940 E2.4380
G1 X124.060 Y83.896 E2.7749

plastina.diplom — Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

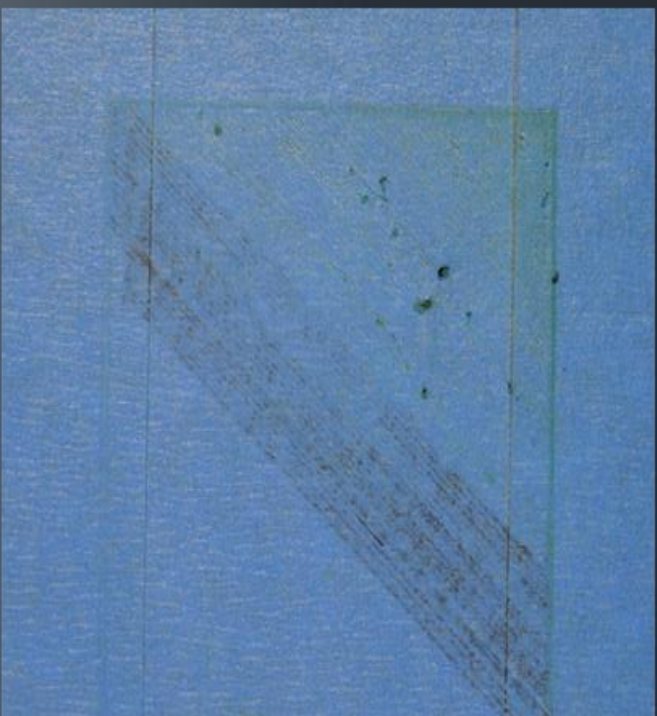
G1 X75.940 Y121.195 E175.8319
G1 X75.940 Y121.761 E175.8488
G1 X78.239 Y124.060 E175.9462
G1 X77.674 Y124.060 E175.9631
G1 X75.940 Y122.326 E176.0365
G1 X75.940 Y122.892 E176.0535
G1 X77.108 Y124.060 E176.1029
G1 X76.542 Y124.060 E176.1198
G1 X75.940 Y123.458 E176.1453
G1 X75.940 Y124.023 E176.1623
G1 X75.977 Y124.060 E176.1638
G92 E0
G1 E-1.0000 F1800
; layer end
M104 S0 ; turn off extruder
M140 S0 ; turn off bed
M84 ; disable motors
; Build Summary
; Build time: 0 hours 26 minutes
; Filament length: 2078.4 mm (2.08 m)
; Plastic volume: 4999.26 mm^3 (5.00 cc)
; Plastic weight: 6.25 g (0.01 lb)
; Material cost: 0.29

W9f6uJ9J cosf: 0°50
b79zftc m9j8uJ: 0°52 8 (0°0J 1P)

Проблеми та дефекти 3D друку



1) Відсутнє екструджування
при початку друку



2) Термопластик не
прилипає до платформи



Проблеми та дефекти 3D друку

3) Утворюються тонкі, небажані нитки пластика

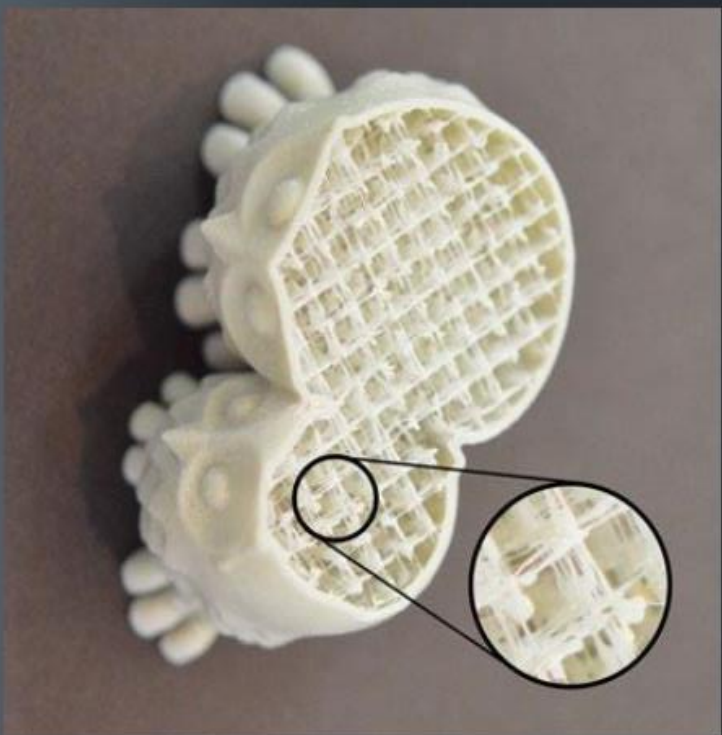


4) Шари розділяються або розщеплюються

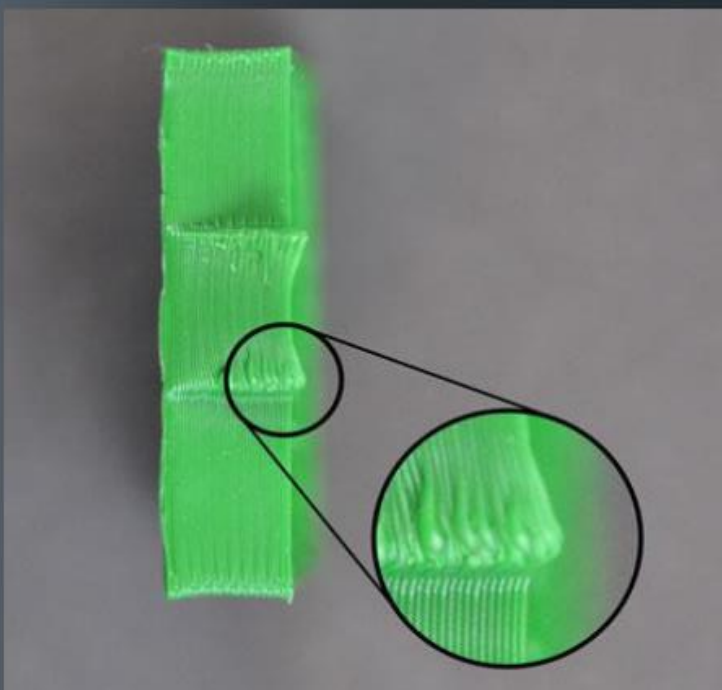


Проблеми та дефекти 3D друку

5) Погане заповнення



6) Загинання країв



Висновки

- Розглянули найпоширеніші технології 3D друку
- Типи конструкцій 3D FDM принтерів
- Створили власний прототип 3D FDM принтера
- Проаналізували програмне забезпечення та керуючу програму



Прототип 3D FDM принтера

