

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Оптимізація механізму подачі керамічного матеріалу у 3D-принтері
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, гр. ІТМРТМ-19-1
Поляков В.А.
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійний
Освітня програма Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Разумов-Фризюк Є.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Невлюдов І.Ш.
(прізвище, ініціали)

2020 р

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	172 Телекомунікації и радіотехніка
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Полякову Всеволодові Антоновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Оптимізація механізму подачі керамічного матеріалу у 3D-принтері

затверджена наказом по університету від _____ 02.11.2020 р. № Ст 1508

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ .12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Розміри макету повинні знаходитися в межах 150 x 100 x 50 мм³

3.2 Вага макету не повинна перевищувати 10 кг.

3.3 Пристрій повинен працювати від зовнішнього джерела живлення напругою 12 В постійного струму

3.4 Максимальний споживаний струм не повинен перевищувати 5 А.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Провести аналіз конструкцій 3D принтерів кераміки

4.2 Провести аналіз принципу роботи 3D принтерів кераміки

4.3 Розробити конструкцію механізму екструзії кераміки

4.4 Розробити конструкцію механізму подачі до екструдера

4.6 Провести експериментальну частину

4.7 Виконати оптимізацію механізму екструзії

4.8 Охорона праці

4.9 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал, представлений форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 28 сторінок формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	20.05.2020	виконав
2	Аналіз конструкцій 3D принтерів кераміки	25.08.2020	виконав
3	Аналіз принципу роботи 3D принтерів кераміки	13.09.2020	виконав
4	Розробка конструкції механізму екструзії кераміки	28.09.2020	виконав
5	Розробка конструкції механізму подачі до екструдера	15.10.2020	виконав
6	Виконання експерименту	29.10.2020	виконав
7	Оптимізації подачі керамічного матеріалу	10.11.2020	виконав
8	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2020	виконав
9	Подання роботи до ЕК		

Дата видачі завдання 20.05.2020

Студент _____ Поляков В.А.
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Разумов-Фризюк Є.А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 72 с., 42 рис., 4 табл., 12 джерел, 1 додаток.

3D-ПРИНТЕР, 3DP-ТЕХНОЛОГІЯ, SLS-ТЕХНОЛОГІЯ, ЕКСТРУЗІЯ,
КЕРАМІКА

Об'єкт – процес дозування керамічної сировини при 3D друці.

Предметом дослідження є аддитивні технології 3D друку керамікою.

Метою роботи є дослідження факторів та параметрів, що впливають на точність дозування керамічної сировини при 3D друці.

Метод дослідження – комп'ютерне моделювання, індукція, дедукція, математичні моделі, синтез.

У магістерській роботі досліджується залежність виділення керамічного матеріалу від швидкості обертів шнеку модуля екструзії.

Для проведення даного дослідження розглянуто основні види технологій 3D-друку керамікою, розглянуто конструкції принтерів кожної з технологій.

Розроблено та виготовлено механізм подачі керамічного матеріалу та механізм екструзії керамічного матеріалу.

Виконано розрахунок кута шнеку, після чого зроблено тестовий запуск друку керамічного матеріалу. На базі отриманих даних проведено налаштування програмного забезпечення.

ABSTRACT

The explanatory note contains 72 p., 42 f., 4 tab., 12 sources, 1 addition.

3D-PRINTER, 3DP-TECHNOLOGY, SLS-TECHNOLOGY, EXTRUSION, CERAMIC.

Object - the process of dosing ceramic raw materials in 3D printing.

The subject of research is additive technologies of 3D printing with ceramics.

The aim of the work is to study the factors and parameters that affect the accuracy of dosing of ceramic raw materials in 3D printing. The aim of the work is to study the factors and parameters that affect the accuracy of dosing of ceramic raw materials in 3D printing.

Research method - computer modeling, induction, deduction, mathematical models, synthesis.

In the master's thesis the dependence of the separation of ceramic material on the speed of the screw of the extrusion module is investigated.

To conduct this study, the main types of technologies for 3D-printing ceramics are considered, the designs of printers of each of the technologies are considered.

The mechanism of ceramic material supply and the mechanism of extrusion of ceramic material are developed and made.

The auger angle was calculated, after which a test run of the ceramic material printing was performed. Based on the obtained data, the software was configured.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	7
Вступ.....	8
1 Аналіз предметної області.....	9
1.1 Аналіз технологій 3D – друку керамічними матеріалами	10
1.2 Технологія спікання порошків SLS.....	10
1.3 Технологія 3DP.....	12
1.4 Екструзійний друк.....	14
1.5 Аналіз керамічних матеріалів;	16
1.6 Аналіз аналогічних конструкцій.....	19
1.7 Принтер 3D PotterBot.....	19
1.8 Принтер LUTUM v4.....	21
1.9 Принтер X-One M-Flex	24
1.10 Постановка задачі дослідження.....	25
2 Розробка конструкції механізму подачі керамічного матеріалу	27
2.1 Вибір базової конструкції 3D принтеру.....	27
2.2 Розробка конструкції механізму екструзії.....	30
2.3 Розробка конструкції механізму подачі.....	32
2.4 Висновки другої частини.....	38
3 Виготовлення конструкції екструдера керамічного матеріалу	39
3.1 Механічна частина	39
3.2 Електрична частина	44
3.3 Програмна частина.....	45
3.4 Висновки третьої частини	46
4 Оптимізація параметрів механізму подачі керамічного матеріалу.....	47
4.1 Розрахунок кута шнеку механізму екструзії.....	48
4.2 Висновки четвертої частини	53

5 Налаштування програмного забезпечення для механізму екструзії керамічного матеріалу	54
5.1 Тестовий запуск прошивки	54
5.2 Висновки п'ятої частини	57
6 Охорона праці	59
6.1 Аналіз умов праці.....	59
6.2 Промислова безпека в лабораторії	64
6.3 Виробнича санітарія в лабораторії	65
6.4 Пожежна безпека.....	65
6.5 Висновки шостого розділу	66
Висновки	69
Перелік джерел посилання	68
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	70

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ДСТУ – державний стандарт України;

ПЗ – програмне забезпечення;

РП – робоче положення;

ТЗ – технічне завдання;

3DP – 3 dimension printing;

СМЯК – cyan, magenta, yellow, key;

FDM – fused deposition modelling;

FFF – fused filament fabrication;

SLM – selective laser melting;

SLS – selective laser sintering.

ВСТУП

Дана тема атестаційної роботи є актуальною з огляду на те, що 3D моделювання - це один з перспективних напрямків в удосконаленні виробництва у всьому світі. Заміна ручної праці високоінтелектуальними та прогресивними автоматизованими комплексами, 3D принтерами чи окремими об'єктами є перспективним завданням, над вирішенням якого, працюють широкий спектр спеціалістів.

В сфері 3D-друку, як і раніше, домінують пластмаси і метали, систематично з'являються технології, що дозволяють друкувати все більше і більше нестандартних матеріалів. Деякі з них вже доступні у вигляді комерційних пристроїв, тоді як інші, ймовірно, ніколи не вийдуть за рамки ранніх прототипів.

Сучасне 3D моделювання дуже швидко розвивається і постає питання друкування з кераміки, тому що виготовлення керамічних виробів залишилось на рівні виготовлення виробів простих форм. Створення виробів складної форми із кераміки можливе завдяки сучасним аддитивним технологіям.

Актуальність даної теми підтверджується тим, що принтери мінімізуються, виконуючі пристрої рухаються швидше і повинні працювати з більш високою точністю, однією з основних проблем є оптимізація дозування керамічної сировини при 3D друці керамічних виробів. Дозування керамічної сировини дає можливість швидко друкувати прототипи складної форми для виготовлення виробів у прес-формах литтям під тиском з більш міцних матеріалів.

Метою роботи є дослідження факторів та параметрів, що впливають на точність дозування керамічної сировини при 3D друкуванні.

Об'єкт – процес дозування керамічної сировини при 3D друці.

Предметом дослідження є аддитивні технології 3D друку керамікою.

Метод дослідження – комп'ютерне моделювання, індукція, дедукція, математичні моделі, синтез.

Наукова новизна отриманих результатів дає змогу розробляти виконавчі пристрої 3D принтерів за новою технологією нанесення керамічного матеріалу.

Практичне значення: Дослідження може бути корисне для фахівців у галузі 3D моделювання. Друк кераміки дає можливість виготовляти прототипи складної форми для прес-форм, що є актуальною складовою у виробництві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- а) проаналізувати технології 3D друку керамічними матеріалами;
- б) розробити конструкцію механізму екструзії;
- в) провести розрахунок кута шнеку механізму екструзії;
- г) оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1], вимогами ДСТУ 3008:2015 [2] та методичними вказівками [3].

1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ВІДОМОСТЕЙ ЗА ТЕМАТИКОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз технологій 3D – друку керамічними матеріалами

Існує кілька технологій для керамічної 3D-друку:

а) екструзія пасти: екструдер пасти наносить шари кераміки на монтажну пластину;

б) порошкове спікання: кераміка знаходиться в порошкоподібній формі і спікається шар за шаром;

в) струменевий зв'язка: 3D-принтер наносить шари сполучної на шари порошку;

г) фотополімеризація: джерело світла твердне суміш смоли і керамічного порошку шар за шаром.

У більшості промислових керамічних 3D-принтерів використовуються технології струминного друку або порошкового спікання.

Як згадувалося раніше, керамічні 3D-принтери створюють «зелені» деталі, тобто їм треба ще досягти своєї остаточної форми.

Скління (необов'язково): професіонали можуть вибрати покриття предмета глазур'ю, щоб надати йому особливий колір або обробку, наприклад, матову або глянсову.

Основними технологіями 3D – друку керамічними матеріалами є SLS, 3DP та екструзійний метод. Нижче розглянуто окремо кожен технологію, а саме їх переваги та недоліки.

1.2 Технологія спікання порошків SLS

SLS або Selective Laser Sintering – це технологія адитивного виробництва, заснована на пошаровому спіканні порошкових матеріалів (поліаміди, пластик, керамічні порошки) за допомогою проміння лазера [3].

Для друкування необхідні міцні і точні промислові вироби для функціональних тестів, об'єкти зі складною геометрією, деталі механізмів і двигунів, невеликі партії готових виробів.

Основним недоліком є висока вартість витратних матеріалів і устаткування.

Технологію SLS часто плутають з подібною порошковою технологією 3D-друку - SLM. Головною відмінністю цих технологій друку полягає в тому, що SLS-технологія виконує лише часткове плавлення поверхні частинок, необхідне для спікання їх разом. У свою чергу технологія SLM виконує сплав матеріалу забезпечує повну лазерну плавку частинок, необхідну для друку монолітних виробів.

Процес друку за технологією Selective Laser Sintering полягає в пошаровому спіканні частинок порошкоподібного матеріалу для утворення фізичного об'єкта за заданою CAD-моделлю. Спікання порошку відбувається під впливом променя одного або декількох лазерів. Перед початком процесу побудови витратний матеріал розігрівається майже до температури плавлення, що полегшує і прискорює роботу SLS-установки. На (рис.1.1) показана схема друку за технологією SLS-друку.

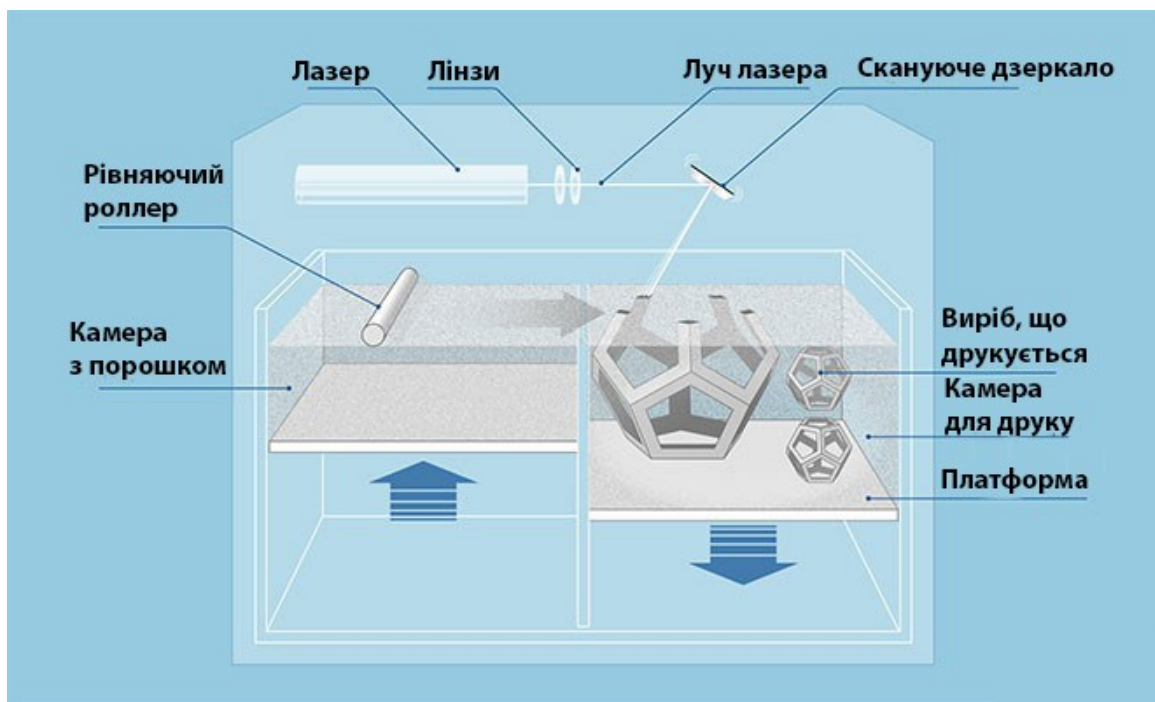


Рисунок 1.1 – SLS – технологія друку

Побудова за технологією SLS аддитивна. Тобто «вирощування» виробу виконується шар за шаром від низу і до верху. Спеціальний рівняючий механізм подає порошок з камери з витратним матеріалом в камеру побудови. Потім лазер спікає шар виробу на основі комп'ютерної моделі. Після цього в камеру побудови подається наступний шар матеріалу. Процес повторюється до тих пір, поки об'єкт не буде повністю побудований. В ході 3D-друку платформа побудови постійно опускається вниз (крок дорівнює товщині друкованого шару). Таким чином, відстань взаємодії матеріалу і променя лазера постійно знаходиться на одному рівні.

SLS-технологія не потребує використання спеціальних опорних матеріалів. В якості структур для підтримки споруджуваної моделі виступає невикористаний порошок, який після друку готового об'єкта очищається і може знову використовуватися для друку.

1.3 Технологія 3DP

3DP або (3 Dimensional Printing) – це технологія друку, в якій на матеріал у формі порошку наноситься клей, який зв'язує гранули, потім на поверхню склеєного шару наноситься новий шар порошку, і так далі. Технологія тривимірного струменевого друку (3DP друку) аналогічна технології роботи звичайного струменевого принтеру, але замість чорнил через сопла на охолоджену платформу надходить певна кількість нагрітого пластику. Краплі пластика швидко застигають і формують один з шарів майбутнього тривимірного макета. Моделі створенні за технологією тривимірного струменевого друку будуються пошарово, для цього програма CAD ділить модель на безліч горизонтальних перетинів. Після цього створюється алгоритм роботи друкувальних голівок, адаптованої зі струменевих принтерів Hewlet-Packard і починається друк. Шари наносяться один на одного зверху. Поступово, шар за шаром, створюється модель, розроблена програмою CAD. Після друку необхідно обтрусити готову модель від залишків порошку і покрити закріплювачем або клеєм для додання моделі твердості.

Метод кольорового струменевого друку включає поступове нанесення порошкоподібних матеріалів шар за шаром разом зі сполучним полімером. Особливість цієї технології полягає в можливості використання полімерів різного кольору. Цей метод підходить для створення моделі з барвистими деталями.

Залишки матеріалів від попередньої друку, не видаляються з робочої камери. Вони є опорою для наступних шарів.

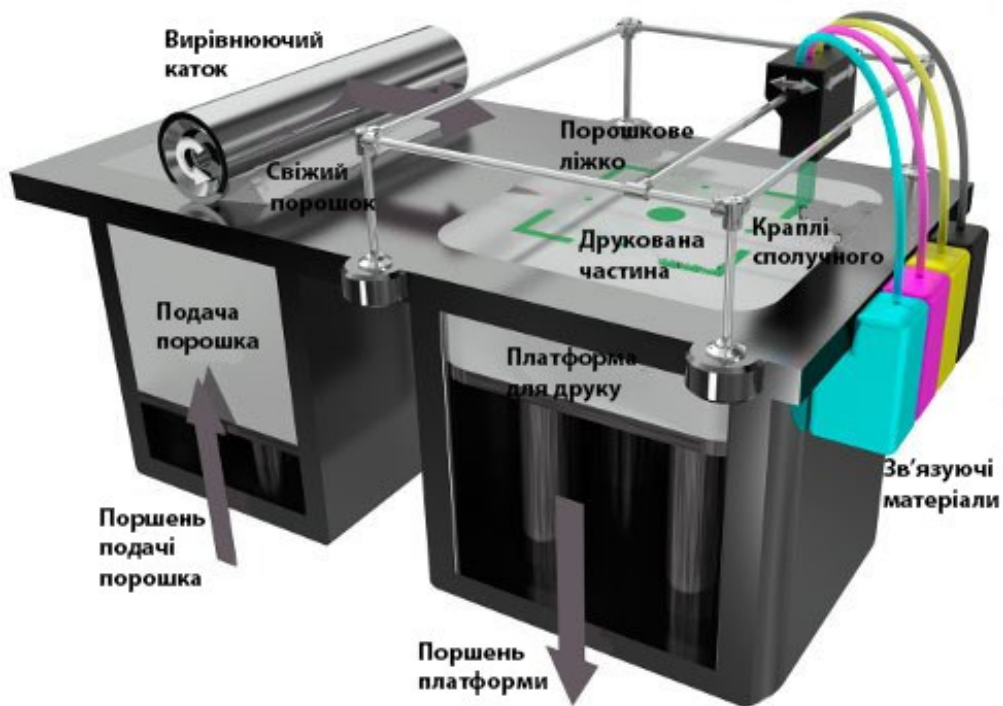


Рисунок 1.2 – 3DP-принтер

Широку популярність отримали тривимірні струменеві принтери, що працюють з використанням порошоків на крохмальній або гіпсовій основі. Друкуюча головка таких принтерів розпорошує на крохмальний або гіпсовий порошок. У свою чергу клейкі речовини, при застиганні утворюють ще один шар майбутнього макета. В клей можна додавати барвники і регулювати розмір моделі.

У більшості тривимірних струменевих принтерів застосовуються струменеві головки з чорнилами основних кольорів гамми СМҮК, за рахунок чого відтворюється не тільки форма моделі, а також її забарвлення. У деяких принтерах вже сама речовина, що клеїть забарвлена в гамму кольорів СМҮК.

Переваги:

а) до клею можна додати фарбу і таким чином друкувати кольорові об'єкти;
б) технологія дешева і енергоефективна;
в) можна використовувати в домашніх умовах або офісу;
г) можна використовувати порошок скла, кістковий порошок, перероблену гуму, бронзу і навіть деревна тирса.

д) використовуючи схожу технологію можна друкувати їстівні об'єкти, наприклад, з цукру або шоколадного порошку. Порошок склеюється спеціальним харчовим клеєм, в клей може додаватися барвник і ароматизатор.

Недоліком є те, що матеріал потрібно піддавати пост-обробці (запикати), щоб надати йому необхідні властивості [4].

1.4 Екструзійний друк

Цей метод ще називають пошаровим наплавленням матеріалу, в якості якого використовується термопластик або керамічна паста. Пристрої, що працюють відповідно до даної технологією, також називають FDM-принтерами, вони є найбільш поширеними. Схема, яка пояснює принцип екструзійного друку, показана на (рис.1.3).

Основною частиною FDM-принтера є друкуюча головка-екструдер. Картриджем для цього пристрою є термопластичний полімер у вигляді нитки, намотаною на котушку. У екструдері шляхом обертання роликів елементів робочий матеріал подається до зони нагріву, де він розплавляється і видавлюється через сопло, формуючи фрагмент об'єкта. Після друку всього поточного шару, платформа переміщається вниз і екструдер починає наносити новий шар розплавленого матеріалу. Після нанесення матеріал майже одразу застигає та твердіє.



Рисунок 1.3 – FDM-технологія

Також існують принтери, в яких є можливість подавати в друкувальну голівку два види нитки, що дає можливість нарощувати різнокольорові об'єкти або створювати «підтримки» для друкованої моделі. Останні потрібні для побудови ділянок об'єкта, що не контактують з нижчого рівня шарами або підставою. Якщо використовувати в якості матеріалу для підтримок розчинні у воді речовини, їх можна легко прибрати, без подальшої обробки основного матеріалу.

Переваги екструзійного друку:

- а) можливість друкувати декількома кольорами і матеріалами одночасно;
- б) дешевизна, в порівнянні з іншими технологіями 3D-друку;
- в) зручність використання, підходить для початківців 3D-мейкерів;
- г) велика кількість матеріалів, які можна застосувати;
- д) відсутність необхідності в постобробці надрукованого виробу;
- е) висока швидкість друку;
- ж) низька вартість технічного обслуговування;

з) компактний дизайн FDM принтерів.

Недоліки:

а) помітний шов між шарами;

б) при друці нависають частини, необхідно створення підтримок;

в) коливання температури під час друку можуть привести до розшарування;

г) менша точність, в порівнянні з фотополімерними і лазерними.

1.5 Аналіз керамічних матеріалів

Керамічні матеріали для 3D-друку - керамічні порошки (карбіди, нітриди і бориди металів) отримують методом «твердого полум'я» - високотемпературного синтезу, заснованому на екзотермічній реакції горіння. Далі з порошоків виготовляються суспензії, які при особливій температурі приймають консистенцію сметани, тобто придатні для використання в якості сировини-вихідного матеріалу для 3D-друку в 3D-принтері. Після пошарового наплавлення (3D-друку) виходять напівфабрикати, які в подальшому спікається для синтезу твердих виробів [12].

Класифікація технічних керамік:

а) за хімічним складом:

1) оксидна кераміка:

– чисті оксиди Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , MgO , CaO , BeO , ThO_2 , TiO_2 , UO_2 ;

– оксиди рідкоземельних металів і механічних сумішей ($ZrO_2-Al_2O_3$);

– твердих розчинів ($ZrO_2-Y_2O_3$, ZrO_2-MgO та ін.);

– хімічних сполук (муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ і ін.).

2) безоксидна кераміка на основі:

– карбіди;

– нітриди;

– бориди;

– силіциди;

- фосфіди;
- арсеніди;
- халькогеніди (крім оксидів);
- перехідні метали;
- неметали III-VI груп періодичної системи.

б) за призначенням:

- 1) будівельна кераміка;
- 2) тонка кераміка;
- 3) хімічно стійка кераміка;
- 4) вогнестійка;
- 5) технічна кераміка.

Класифікація технічної кераміки:

- а) конструкційна кераміка;
- б) інструментальна кераміка;
- в) електро-радіотехнічна;
- г) кераміка з особливими властивостями.

Кераміка — це неорганічні, неметалічні тверді вироби, підготовлені дією тепла з наступним охолодженням. Керамічними називають вироби і матеріали, що одержуються внаслідок спікання глин й їхніх сумішей з мінеральними додатками, а також оксидів і їхніх сполук [5].

Основні переваги:

- а) висока механічна міцність, твердість і зносостійкість одержуваних деталей;
- б) мала щільність, легкість виробів;
- в) високі робочі температури (до 3500 С), кераміка - відмінний теплоізолятор, тому вироби не деформуються при великому діапазоні температур. Це дуже важлива особливість для застосування в космічній і ливарної промисловості;
- г) хімічна стійкість - вироби здатні працювати в агресивних середовищах, захищені від будь-яких форм корозії;

д) чудові діелектричні властивості дозволяють широко використовувати цей матеріал в електроніці і комп'ютерній техніці;

е) ударна в'язкість, окремі види кераміки використовуються для механічних деталей, здатних витримувати великі навантаження в механічних агрегатах, таких як підшипники;

ж) радіаційна стійкість дозволяє використовувати її в атомній промисловості;

з) біосумісність, надруковані вироби можна використовувати для заміни кісткових структур в тілі людини [6].

Сфери її застосування розширюються завдяки можливості використання її в аддитивному виробництві.

Піщаник, як матеріал для друку, називають іноді і гіпсом (насправді гіпс - компонент природного піщаника) і використовують для створення кольорових об'єктів в одному процесі. Щоб законсервувати колір і додати міцності, роздруковані моделі покривають захисним шаром епоксидної смоли, без цього волога зробить свою справу, і піщаник знебарвиться. Об'єкти виходять крихкими, як фарфор, і враховувати це треба ще на етапі проектування. Маючи на увазі примхливість піщаника, його застосовують в основному в архітектурних моделях, концептуальних прототипах і художніх проектах.

3D-принтер для друку з високоміцних керамічних матеріалів дозволяє друкувати вироби з високоміцних керамічних матеріалів, що конкурують за своїми властивостями з високолегованою сталлю, кольоровими металами і твердими сплавами [10].

Традиційний метод - лиття під тиском, не дозволяє отримати керамічні вироби складної конфігурації. Існуючі ж методи 3D-друку виробів складної геометрії дозволяють отримувати лише пористі вироби із залишками клеять речовин і низькою міцністю.

3D друк керамікою дозволяє отримувати тривимірні вироби з широким спектром застосування в енергетиці та радіоелектроніки, машинобудуванні, хімічній і нафтогазовій промисловості, оборонному секторі тощо. Отримані вироби

можуть застосовуватися в якості захисних панелей космічних пристроїв, окремих деталей рухових установок, підкладок мікросхем і ін.

1.6 Аналіз аналогічних конструкцій

Для розробки власного механізму подачі керамічного матеріалу у 3D-принтері необхідно розглянути аналогічні конструкції механізмів подачі. Розглянуті принтери представлено у наступних пунктах.

1.7 Принтер 3D PotterBot

Компанія DeltaBots розробила 3D-принтер 3D PotterBot і поршневий екструдер власного виробництва. Цей 3D-принтер був розроблений спеціально для виготовлення гончарних і керамічних виробів. 3D-принтер 3D PotterBot (рис.1.4) володіє надзвичайно міцною конструкцією, що дозволяє йому створювати красиві і акуратні керамічні посудини.

3D принтер PotterBot 7 використовує прямий поршневий екструдер і спеціальний глиняний контейнер, що вміщає від 2000 мл до 4000 мл матеріалу [7].



Рисунок 1.4 – 3D-принтер 3D PotterBot з поршневим екструдером

Головною відмінністю 3D PotterBot можна вважати стаціонарний поршневий екструдер. Ще жоден дельта 3D-принтер раніше не був забезпечений таким екструдером.

Компанія DeltaBots використала новаторський підхід: замість того щоб закріпити екструдер на шарнірних руках дельта 3D-принтера, вона перенесла управління платформою вниз. Поєднання поршневого екструдера і крокового двигуна стало таким виграшним, що екструдер поводить себе як друкуюча головка звичайного настільного FFF/FDM 3D-принтера, тільки замість пластика використовується глина. Так як конструкція поршневого екструдера відрізняється від екструдерів із застосуванням стисненого повітря, у користувача з'явилася можливість керувати швидкістю екструзії під час друку, а також змінювати напрямок потоку, коли шар закінчений. Якщо при екструзії пастоподібних матеріалів використовується стиснене повітря, то екструзія часто йде ривками. У 3D PotterBot таких проблем не буває, і глина завжди видавлюється рівномірно.

Друга відмінність 3D PotterBot в надзвичайно великому робочому обсязі: цього принтеру під силу надрукувати керамічну посудину висотою 43 см.

3D PotterBot був створений спеціально для творчих студій, шкіл і інститутів мистецтв, які хочуть розширити свої можливості та привернути увагу дизайнерів до гончарної справи. DeltaBots пропонує придбати 3D PotterBot з поршневым екструдером за 2950 доларів. Варто згадати, що екструдер представлений в двох розмірах: 2000 мл і 4000 мл.

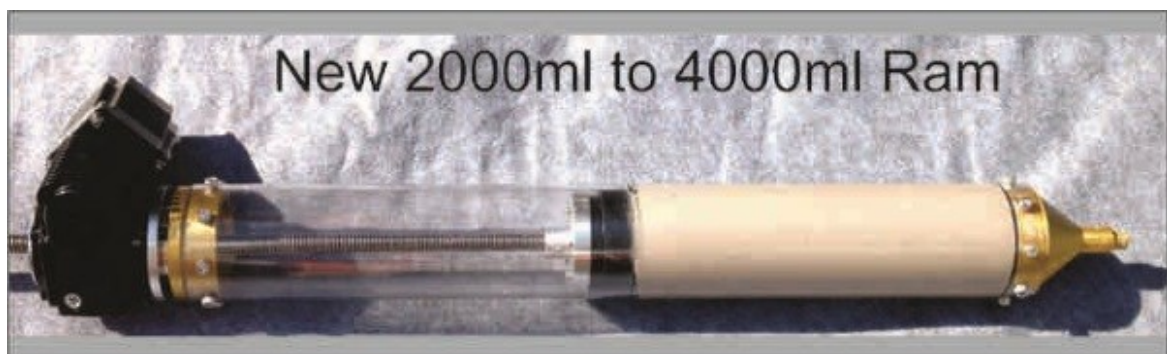


Рисунок 1.5 – Екструдер 3D PotterBot

Нижче перераховані основні характеристики 3D PotterBot:

- а) дельта 3D-принтер, створений спеціально для виготовлення керамічних виробів;
- б) має потужний кроковий двигун, сумісний з Arduino/Ramps та іншими драйверами 3D-принтера;
- в) має чотири взаємозамінних сопла;
- г) набір програм, для полегшеного використання.

За словами представника компанії, екструдер зроблений з авіаційного алюмінію і полікарбонату. 3D PotterBot здатний витримувати високий тиск, який чиниться на його конструкцію при екструзії глини. Користувач може експериментувати з різними пастоподібних матеріалами і не турбуватися про те, що екструдер пошкодиться. Екструдер наводиться в дію високоточним кроковим двигуном NEMA-23, керованим спеціальними програмами для 3D-друку.[11]

1.8 Принтер LUTUM v4

Нідерландська компанія VormVrij випустила нове покоління 3D-принтерів для друку глинами – LUTUM v4. Модернізована лінійка доступна в трьох основних варіантах – базова модель, великоформатний варіант і версія з подвійним екструдером [8].

Принтер має підвищений обсяг області побудови, у базовій моделі досягає 430x460x510 мм. Варіант LUTUM v4 MXL відрізняється ще більшою робочою зоною, що досягає 800 мм у висоту. Варіант, LUTUM v4 DUAL, являє собою базову модель, але з подвійним екструдером в стандартній комплектації. Втім, подвійні головки доступні і в якості додаткового оснащення для базового варіанту MXL.



Рисунок 1.6 – Принтери LUTUM v4



Рисунок 1.7 - Екструдери

Екструдер v9 заправляється вручну і встановлюються прямо на екструдер картриджі об'ємом 640 або 1400 см³. Сам шнековий екструдер виконаний з нержавіючої сталі з підвищеним вмістом хрому та нікелю, широко використовується у виробництві хірургічних інструментів і кухонних приладів. Вибір сплаву диктується можливістю роботи 3D-принтерів LUTUM не тільки з

глинами, а й різними харчовими пастами і пюре. Крім того, французька компанія Imerys в даний час розробляє нові фарфорові маси спеціально для нових 3D-принтерів. Швидкість друку безпосередньо залежить від в'язкості витратного матеріалу і варіюється в межах від 20 до 100 мм / с.



Рисунок 1.8 – Модуль завантаження кераміки

Несучі елементи і механіка зазнали ряд змін в сторону підвищення надійності і ефективності. 3D-принтери четвертого покоління оснащуються алюмінієвими корпусами і направляючими, тоді як раніше використовувалася змішана деревно-металева конструкція. Електронна начинка тепер захищена від води і пилу, неминуче присутніх в гончарних і скульпторських майстернях. Крім того, апарати отримали запобіжні клапани повітряного тиску і кнопку аварійної зупинки 3D-друку.

Технічні характеристики 3D-принтера LUTUM V 4:

- а) розмір області побудови: 430x450x500 мм (v4 і v4 DUAL) або 430x450x800 мм (v4 MXL);
- б) діаметр сопла: 0,6, 1,2, 1,6, 3, 5 або 7 мм;
- в) товщина шару: 0,5-3 мм;
- г) максимальна швидкість друку: 100 мм / с;

д) витратні матеріали: глини для виготовлення високотемпературної, вогнетривкої кераміки, фаянсу і ін.

е) екструдер: нержавіюча сталь медичної / харчової марки 18/10

ж) операційна система: Windows, Mac, Linux

з) слайсери: Slic3r (рекомендований), Simplify3D, Cura;

и) типи файлів: STL, OBJ, G-code;

к) інтерфейс: SD карта, ЖК-дисплей, USB-порт;

л) габарити: 750x750x1050 мм;

м) вага: 75 кг.

Базова модель оцінюється в: €6350 без урахування податків, зборів і вартості доставки. Варіант MXL пропонується за €7398, а версія DUAL обійдеться вже в €7590.

1.9 Принтер X-One M-Flex

Принтер X-One M-Flex це промисловий пристрій для тривимірного друку (3DP). Принтер дозволяє створювати моделі з широкого асортименту матеріалів, включаючи метали, скло, піщані суміші та ін. Надруковані моделі обпікаються для спікання частинок витратного матеріалу і видалення сполучного полімеру, а потім, при необхідності, просочуються новим матеріалом високої міцності і довговічності. Всі перераховані операції включені в виробничий цикл пристрою. Розмір виготовлених моделей досягає 400x250x250мм з мінімальною товщиною шару в 100мкм. Установка M-Flex проста у використанні і включає в себе все, що вам необхідно для побудови деталей. Швидкість побудови деталей в 10 разів вище, ніж на обладнанні попереднього покоління.[9]



Риснуок 1.9 – Принтер X-One M-Flex

Не потрібна постобробка, легке розвантаження камери, висока зносостійкість функціональних деталей, висока продуктивність, можна виготовляти прототипи, поодинокі деталі і невеликі серії, висока точність, немає обмежень в конструкції деталей. Призначення промислове. Країна – США. Виробник - ExOneCompany, LLC.

Технічні характеристики:

- а) технологія друку 3DP
- б) область побудови, мм 400x250x250
- в) швидкість друку 30-60 сек / шар
- г) розміри (мм) 1675x1400x1855

1.10 Постановка задачі дослідження

В першому розділі розглянуто питання пов'язане з аналізом технологій 3D-друку керамікою, які технології використовують для друку кераміки, їх переваги та недоліки. Також розглянуто властивості керамічних матеріалів, класифікація, переваги і недоліки. Виконано аналіз аналогічних конструкцій 3D-принтерів, які друкують керамікою, їх властивості, переваги, недоліки та вартість.

Основною вимогою технічного завданням є дотримання основних параметрів для друку кераміки 3D-принтером:

- а) діаметр сопел від 2,5 до 5 мм;

- б) регулювання подачі матеріалу та ретраку за допомоги шнека;
- в) базовий об'єм матеріалу в завантажувальній камері від 3 до 5 літрів;
- г) можливість незалежного обслуговування завантажувальної камери та шнеку;
- д) роздільна здатність друку по осям X та Y – 3 мм, по осі Z – 1 мм.

В першому розділі розглянуто питання пов'язане з аналізом технологій 3D-друку керамікою, які технології можуть виконувати друк керамікою, їх переваги та недоліки. Також розглянуто властивості керамічних матеріалів, їх властивості, класифікація, переваги і недоліки. Виконано аналіз аналогічних конструкцій 3D-принтерів, які друкують керамікою, їх властивості, переваги, недоліки та вартість. Проведено аналіз технічного завдання.

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ КЕРАМІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

2.1 Вибір базової конструкції 3D-принтеру

Для базової конструкції 3D-принтеру обрано рішення використати вже існуючу координатну систему з кінематикою H-bot, нижче показано його зовнішній вигляд (рис.2.1).

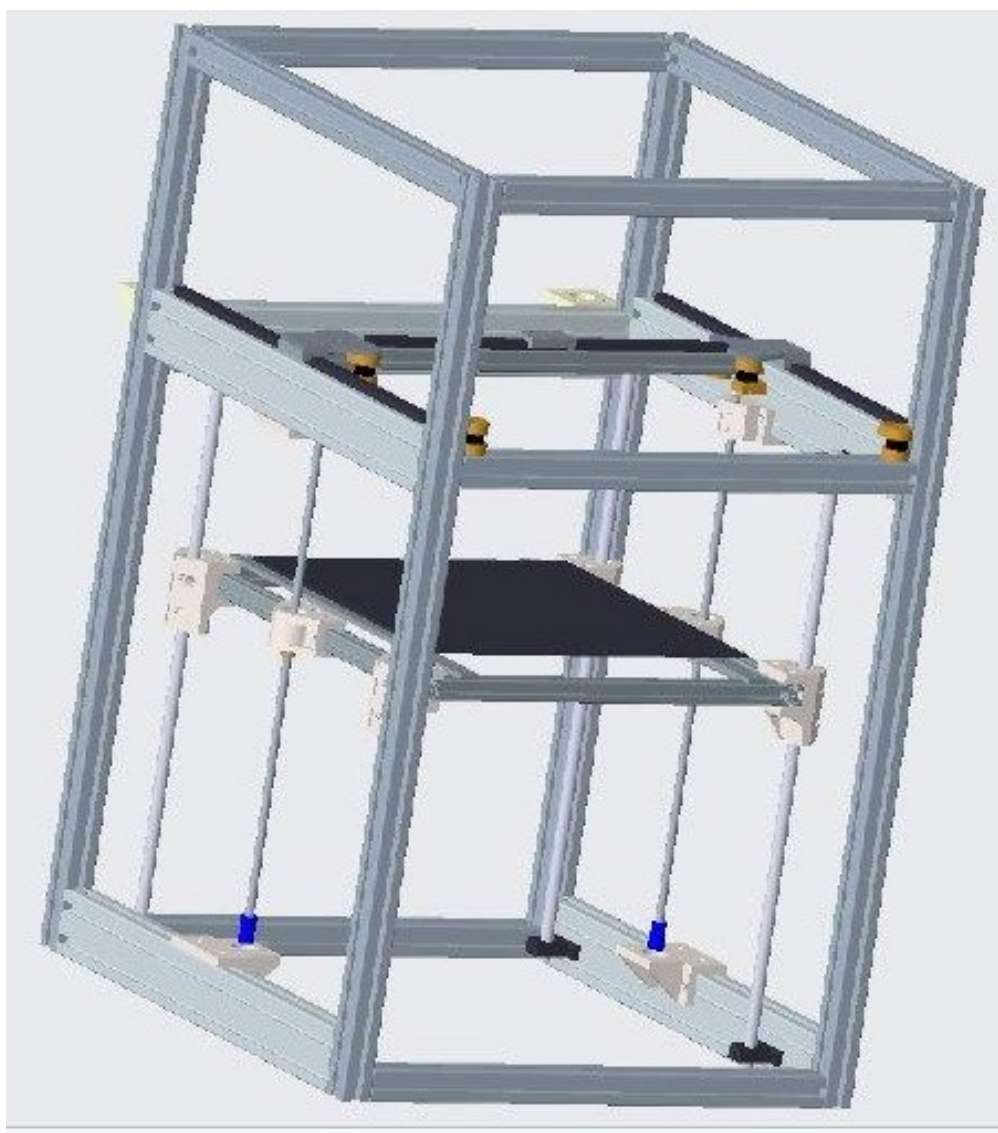


Рисунок 2.1 - Координатна система H-bot

Дана координатна система дає змогу друкувати керамічні вироби роздільною здатністю 30x30 см та висотою до 38 см. Зарекомендувала себе стабільно, з мінімальною кількістю збоїв. Габаритні розміри та вага дає можливість встановити завантажувальний відсік для кераміки на верхній частині принтеру без втрати стійкості.

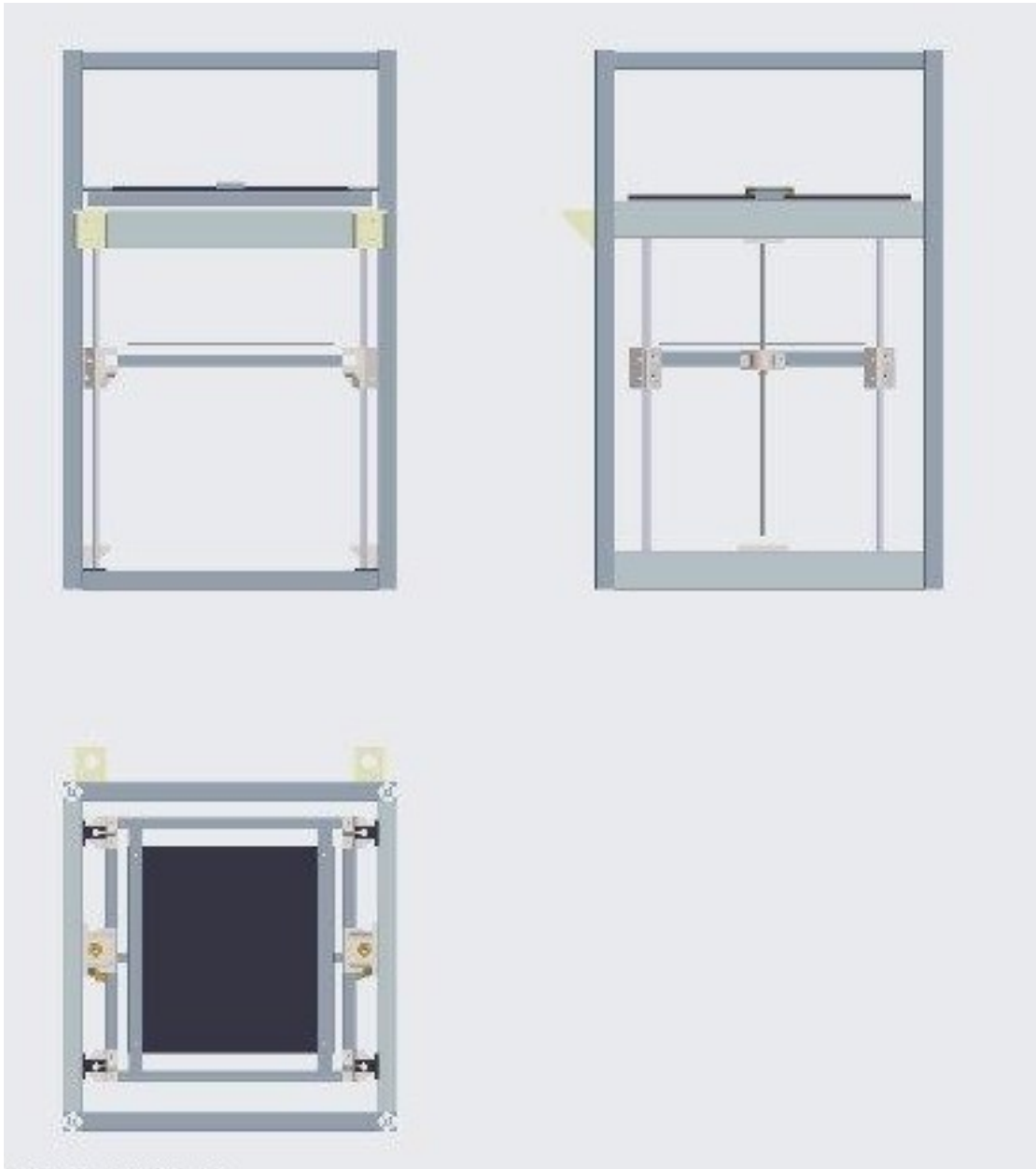


Рисунок 2.2 – Координатна система H-bot

Для подачі керамічного матеріалу розроблено механізм, структурна схема котрого наведена нижче (рис.2.3).

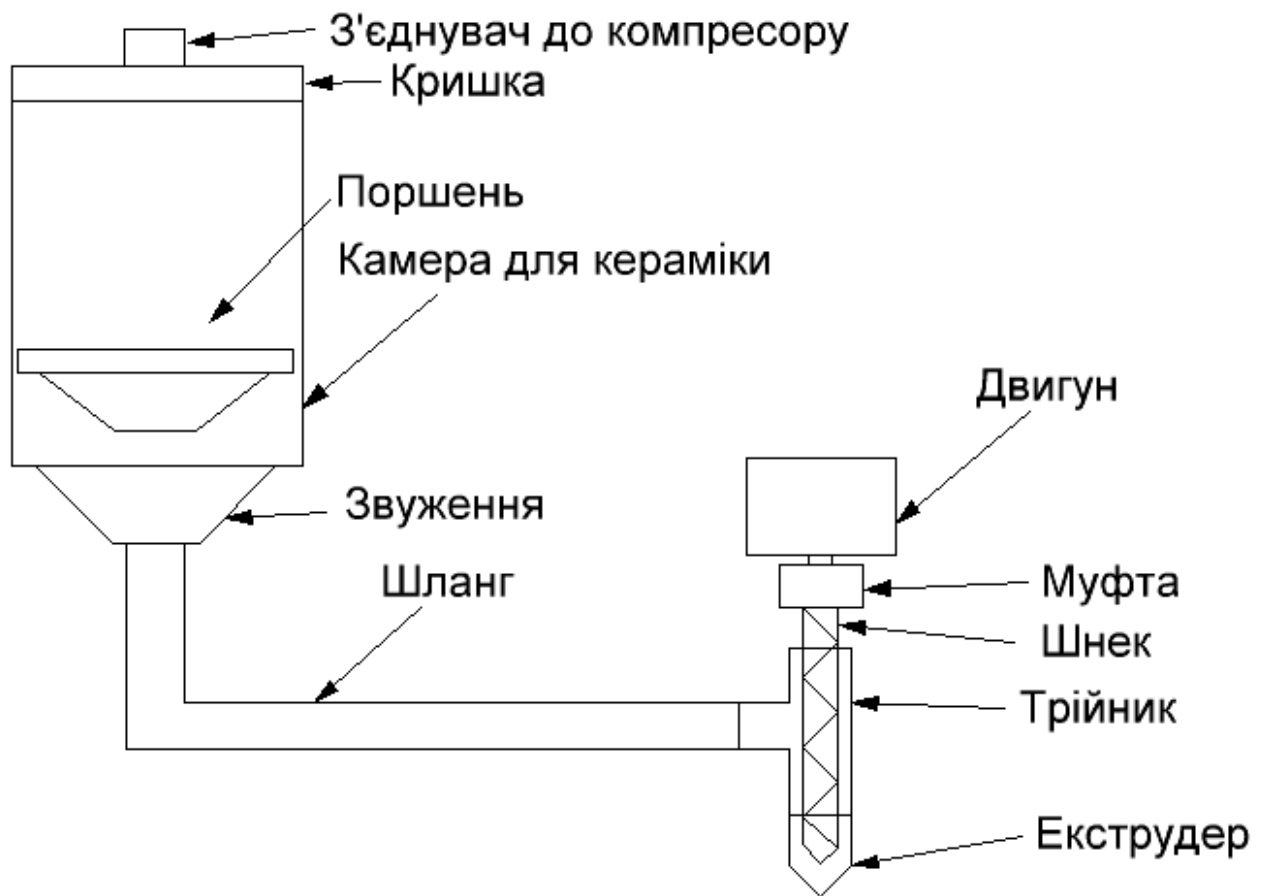


Рисунок 2.3 – Структурна схема механізму подачі кераміки до екструдера

На рисунку показано, що завантаження кераміки відбувається в окремій ємності, котра буде статично розташована зверху принтеру, для легшого стікання керамічної пасти до екструдера.

Ємність для завантаження оснащена додатковим поршнем, котрий проштовхує керамічну пасту до екструдера.

Шланг, котрий передає кераміку до екструдера, має армовані ниті, котрі дозволяють не деформуватися і не руйнуватися шлангу.

Далі кераміка потрапляє до трійника в котрому, в якості шнека використовується свердло або шуруп, після чого виштовхується на поверхню друкованого виробу.

2.2 Розробка конструкції механізму екструзії

Конструкція механізму екструзії повинна бути простою, надійною, мати доступні запасні частини, котрі в свою чергу мають невелику вартість.

Структурна схема показана на (рис.2.4)

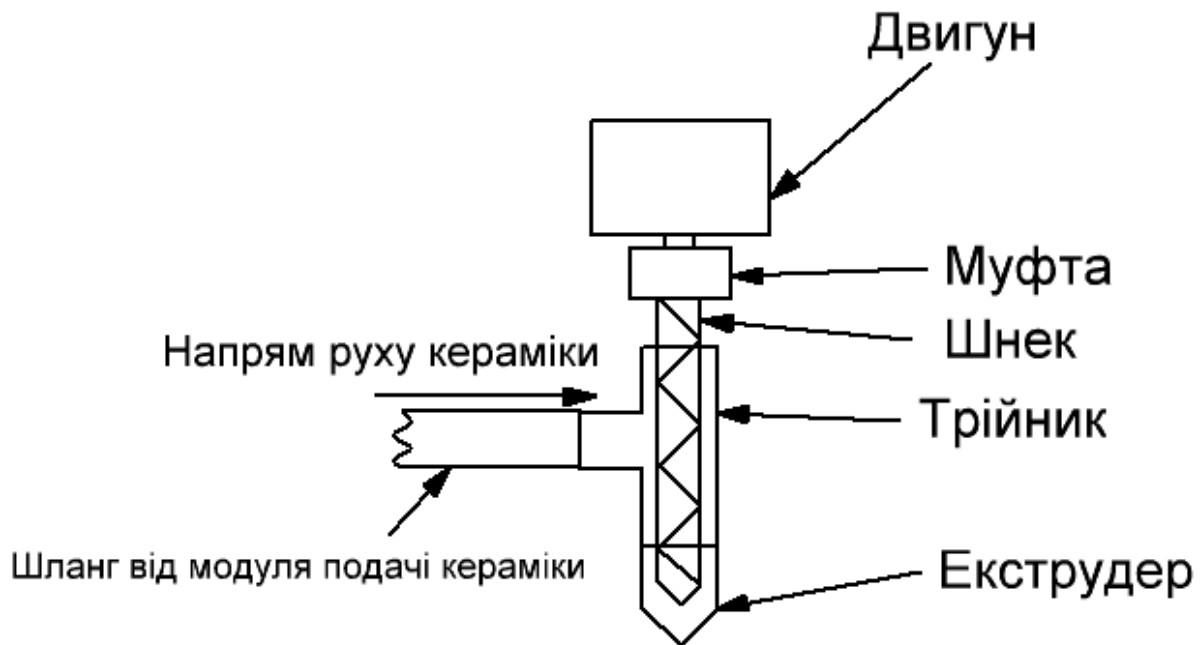


Рисунок 2.4 – Структурна схема механізму екструзії

З огляду на структурну схему розроблено модель модуля екструзії керамічного матеріалу. Розроблена модель конструкції екструдера представлена на (рис. 2.5).

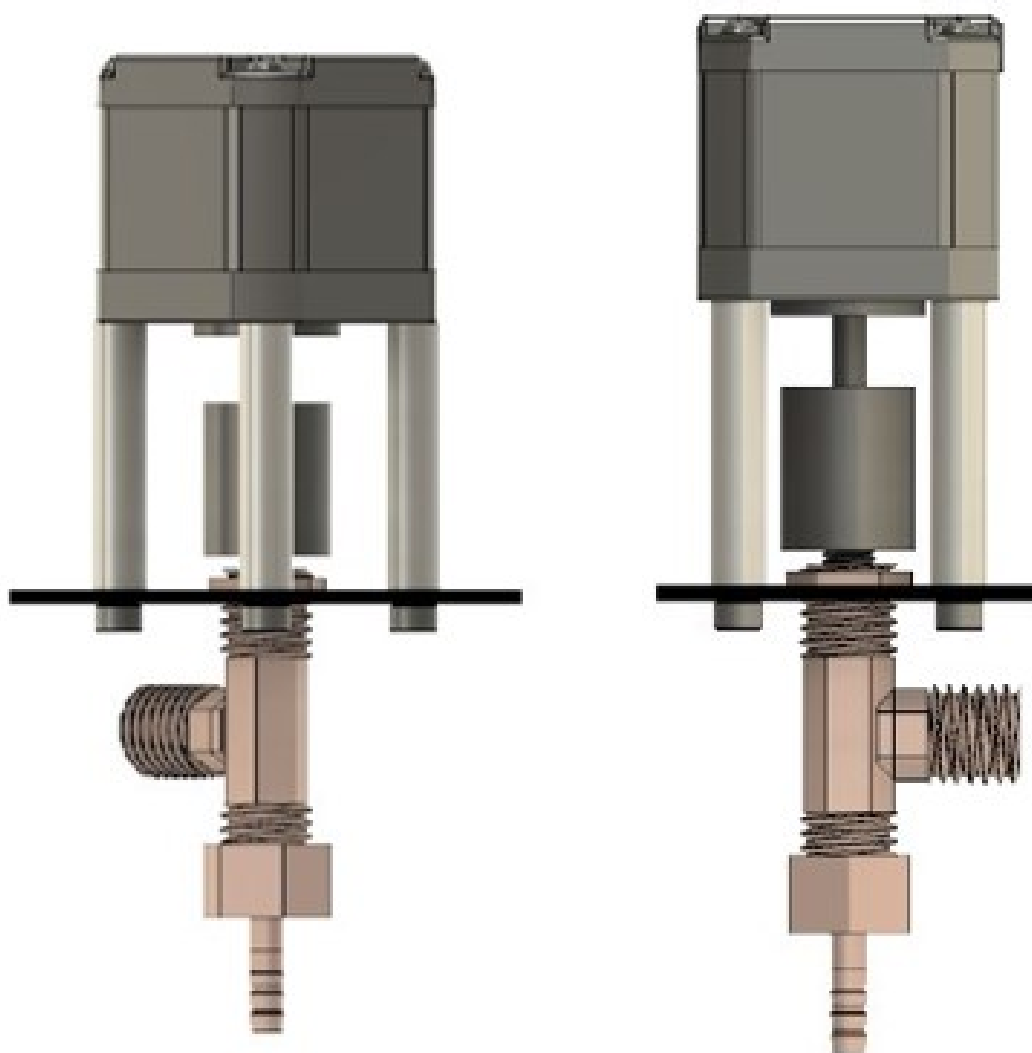


Рисунок 2.5 - Модель конструкції екструдера

З огляду на побудовану модель видно, що механізм невеликий за габаритами, простий в обслуговуванні, легко збирається та розбирається. Габаритні розміри деталей модуля екструзії представлено на (рис.2.6).

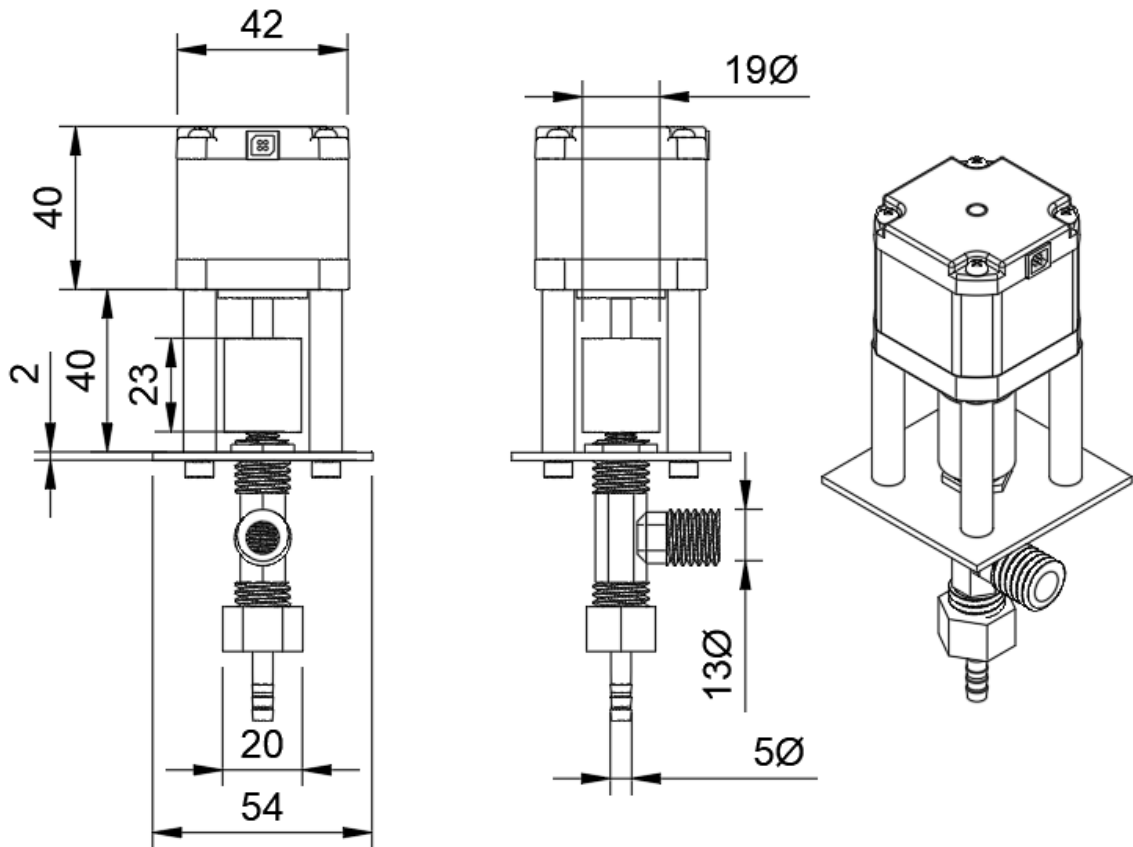


Рисунок 2.6 – Розміри деталей механізму екструзії

2.3 Розробка конструкції механізму подачі

Для розробки механізму завантаження матеріалу та подальшої подачі кераміки до екструдера необхідно, щоб ємність була модульна, легко та швидко демонтувалась, та могла розібратись по деталям, це необхідно, щоб у разі вимкнення принтера або аварійного випадку, кераміка не затверділа, та її можливо прибрати з модуля.

Через те, що текучість та в'язкість кераміки не дозволяє їй самостійно потрапляти до екструдера, необхідно додаткове нагнітання з модуля подачі кераміки. В якості нагнітача кераміки використовується повітряний компресор, який штовхає поршень, а він у свою чергу проштовхує вже саму кераміку. Структурна схема модуля подачі представлена на (рис.2.7).

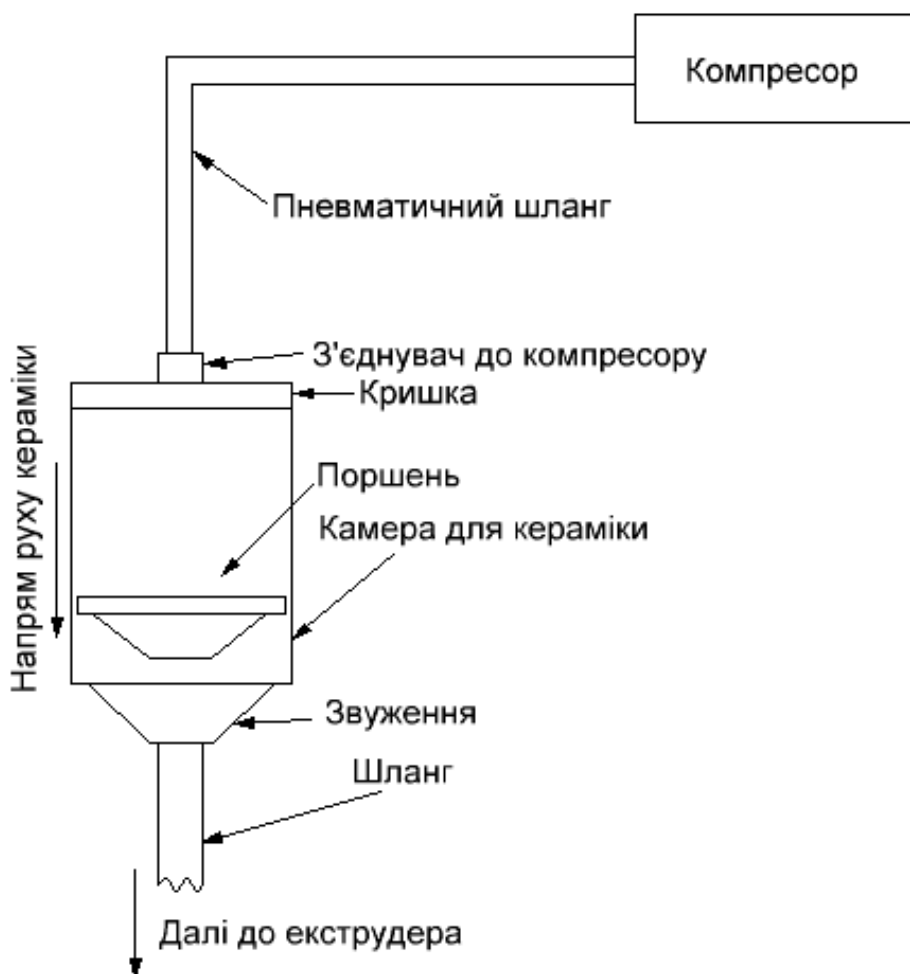


Рисунок 2.7 – Структурна схема модуля подачі

Рішення використовувати компресор ґрунтоване на тому, що це спрощує конструкцію модуля завантаження. Використання швидкоз'ємів для пневматики дає змогу оперативне збирання та розбирання принтеру для завантаження матеріалів і промивання від залишків після друку.

Використання компресора спрощує програмну частину. В разі використання двигуна потрібно синхронізувати двигун модуля екструзії та двигун модуля подачі. Навіть при правильній синхронізації двигунів, час від часу можуть з'являтися пропуски у шлангі. В свою чергу двигун модуля подачі повинен мати редукції на понижуючу передачу, що ускладнює конструкцію і робить її ненадійною.

Розроблена модель ємності представлена на (рис.2.8).



Рисунок 2.8 – Модель ємності для завантаження і подачі кераміки до екструдера

Габаритні розміри модуля подачі керамічного матеріалу до модуля екструзії показано на (рис.2.9).

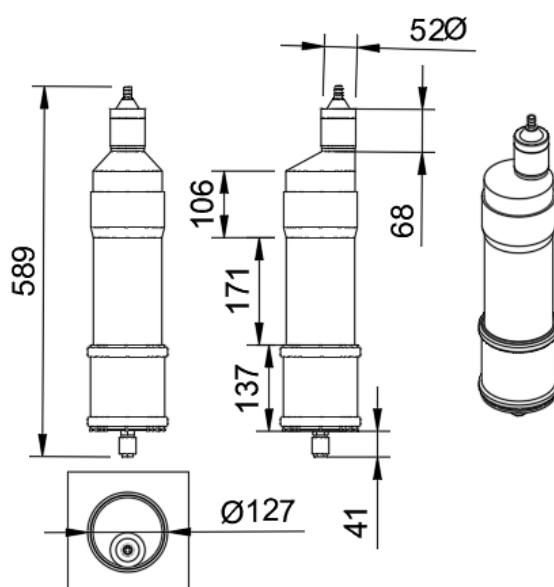


Рисунок 2.9 – Габаритні розміри модуля подачі керамічного матеріалу.

Ємність для завантаження кераміки та подачі до механізму екструзії виконано на базі сантехнічних каналізаційних труб, редукцій, заглушок та муфт (рис.2.10). Обсяг завантаження матеріалу від 3 до 5 літрів.

Товщина стінок каналізаційних труб дорівнює 2,5 мм, що дозволяє витримувати тиск, котрий буде створювати компресор. Тиск котрий буде нагнати компресор дорівнюватиме приблизно двом атмосферам.

Тиск від компресора дозволяє рівномірно проштовхувати кераміку до механізму екструзії, де підпором виступати буде шнек екструдера.



Рисунок 2.10 – Ємність для завантаження і подачі кераміки

Для з'єднання компресору з ємністю в заглушці виконано отвір, в якому встановлено швидкоз'єм для підключення до штуцера шланги від компресору. Таким чином конструкція буде більш ергономічною у користуванні, та даватиме змогу швидко розбирати конструкцію для транспортування.

З'єднання компресора з механізмом завантаження і подачі кераміки представлено на (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – З'єднання компресора з механізмом завантаження і подачі кераміки

У свою чергу з'єднання модуля подачі з екструдером відбувається через перехідник, модель котрого представлена на (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Модель перехідника від модуля подачі до модуля екструзії

Данна деталь була самостійно змодельована та роздрукована на 3D принтері з PLA пластику. Деталь має штуцер на який буде встановлюватись шланг армований та подавати керамічну пасту до модуля екструзії. Готовий зовнішній вигляд перехідника представлено на (рис.2.13)



Рисунок 2.13 – Перехідник від модуля подачі до модуля екструзії

Для прошовування кераміки у модулі подачі під впливом тиску від компресора, необхідно використати поршень, прийнято рішення використати конструкцію аналогічну за поршнем у двигуні внутрішнього згорання, а саме циліндричну форму з двома резиновими кільцями, котрі не дають проходити кераміці скрізь поршень, та не дають тиску повітря проходити до камери з керамікою, щоб не додавати повітряних пропусків при друці кераміки.

За основу взято дерево твердого сорту, в нашому випадку ясеня. На токарному станку виконано проточку під розміри внутрішнього діаметру модуля подачі, та прорізи для резинових кілець. Готовий зовнішній вигляд поршня представлено на (рис.2.14).



Рисунок 2.14 – Поршень для проштовхування кераміки у модулі подачі

Поршень додатково необхідно обробити лаком, щоб деревина не насичувалася вологою, тому що через деякий час може деформуватися.

2.4 Висновки другої частини

В другій частині атестаційної роботи проведено розробку конструкції механізму подачі керамічного матеріалу, побудована структурна схема, виконано моделювання деталей модуля подачі та виготовлено поршень з перехідником. Також йдеться мова про те, яким саме чином виконується подача та екструзія керамічного матеріалу у 3D-принтері. Також показано на базі якої координатної системи буде встановлюватися весь механізм подачі керамічного матеріалу, а саме система H-bot.

3 ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЕКСТРУДЕРА КЕРАМІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

3.1 Механічна частина

В якості двигуна (рис.3.1) використовується кроковий двигун NEMA 17, до котрого буде кріпитись шнек (свердло або шуруп) через еластичну муфту. Корегування швидкості виділення кераміки на друкований виріб виконується саме за допомоги шагового двигуна.



Рисунок 3.1 – Кроковий двигун

Шнек (свердло) кріпиться до двигуна через еластичну муфту (рис.3.2). Еластична муфта дозволяє нівелювати діагональні навантаження, котрі виникають при проходженні кераміки через шнек, а також пом'якшують пускові рухи двигуна, завдяки чому кераміка котра друкується на виріб рівномірно виділяються.



Рисунок 3.2 – Еластична муфта

Далі шнек проходить через трійник з латуні внутрішній діаметр котрого складає 8 мм, це дозволяє використовувати в якості шнека стандартні шурупи або свердла діаметром 8 мм. Трійник (рис.3.3) стандартний, сантехнічний. Розповсюджений і має невелику вартість.



Рисунок 3.3 – Трійник сантехнічний

Задля побудови та утримання механізму екструзії необхідно виготовити пластину металічну товщиною 3 мм, з п'ятьма отворами, для трійника та кріплення шагового двигуна (рис. 3.4).

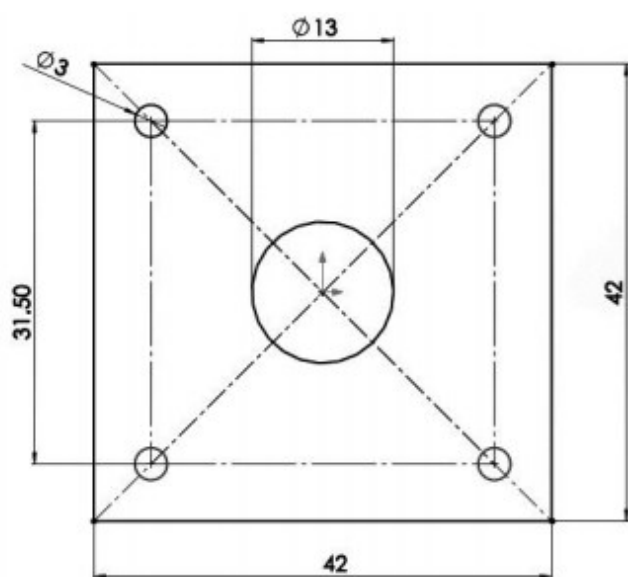


Рисунок 3.4 – Пластина для утримання двигуна і екструдера

Пластина кріпиться до двигуна болтами через алюмінієві трубки (рис.3.5), вони надають додаткову жорсткість всій конструкції механізму екструзії.



Рисунок 3.5 – Алюмінієва трубка

В якості шнеку застосовується шуруп для дерева (рис.3.6), котрий має великий шаг, що дозволяє проходити керамічній пасті без супротиву.



Рисунок 3.6 – Шнек механізму екструзії

Щоб з'єднати шуруп до муфти необхідно відрізати головку шурупа для отримання циліндричної форми, яка може встановлюватися до еластичної муфти.

Для друку кераміки потрібної товщини в якості сопла використовуються сантехнічні штуцери, діаметрами від 2,5 до 5 мм, зовнішній вигляд штуцера представлено на (рис.3.7).



Рисунок 3.7 – Штуцер сантехнічний

Сантехнічний штуцер виконано із латуні, цей метал м'який, через це друк керамікою буде сточувати його, розширюючи діаметр отвору. Тому штуцер для екструзії є витратним матеріалом. Проте вартість сантехнічних штуцерів невелика, що є перевагою.

Готовий механізм екструзії має оптимальні габаритні розміри. Конструкція жорстка, що дає змогу друкувати точно та не послабляється під впливом вібрацій.

Зібрана конструкція механізму екструзії має вигляд, який представлено на (рис.3.8).

Збір та розбір механізму екструзії кераміки легкий, додаткових труднощів не виникає, тому що деталей мінімум та вони міцні.



Рисунок 3.8 – Механізм екструзії кераміки

Для встановлення механізму екструзії на H-Vot розроблена модель (див.рис.3.9) на основі якій виготовлено кронштейн, який встановлюється на каретку принтера.

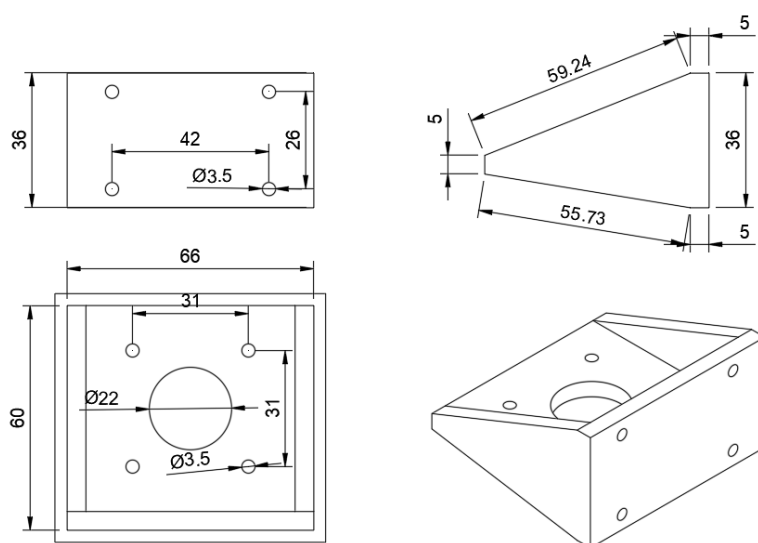


Рисунок 3.9 – Модель кронштейну модуля екструзії

Нижче представлено готовий зовнішній вигляд кронштейну модуля екструзії (рис.3.10).

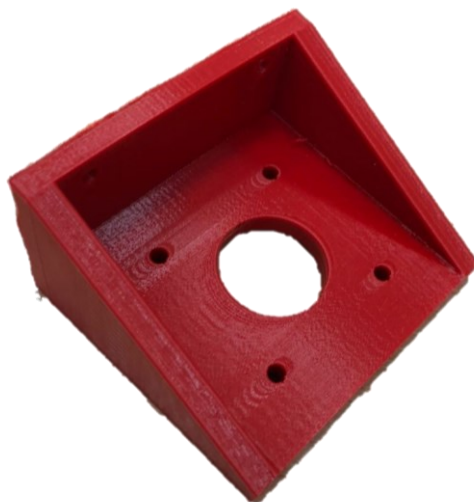


Рисунок 3.9 – Кронштейн механізму екструзії

З огляду на рисунок видно що, кронштейн з двома ребрами жорсткості, це додає міцності всій конструкції. Завдяки чому механізм екструзії не зламає каретку і сам кронштейн.

3.2 Електрична частина

Електрична частина принтера складається з материнської плати, драйверів, органів керування, органів моніторингу та блоку живлення, крокових двигунів.

Материнську плату для 3D-принтеру обрано MKS Gen L 2.0 (рис.3.9).

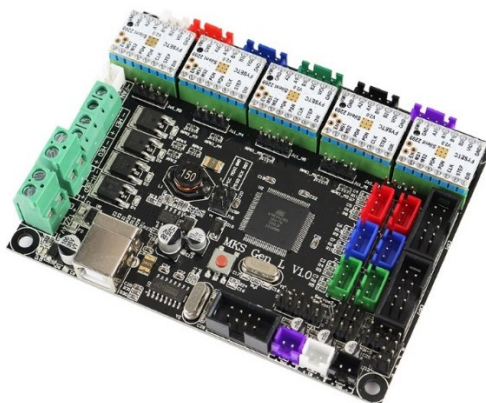


Рисунок 3.9 - Материнську плату MKS Gen L 2.0

Драйвери для крокових двигунів обрано DRV 8825 (рис. 3.10) з налаштування кроку двигуна, сумісні з материнською платою MKS Gen L 2.0.

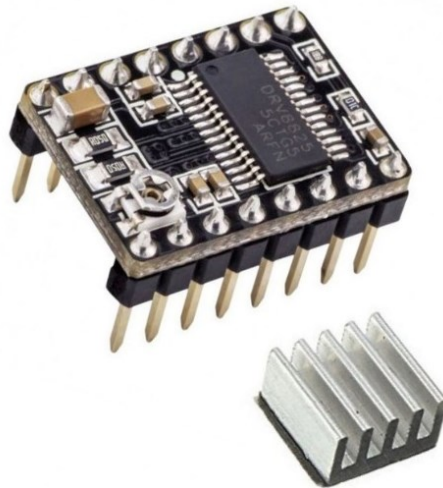


Рисунок 3.10 - Драйвер для крокового двигуна DRV 8825

3.3 Програмна частина

В якості прошивки для 3D-принтеру керамікою використаємо рішення від Marlin. Прошивка Marlin досить гнучка та має багато налаштувань під різну кінематику. В нашому випадку кінематика H-Bot, в якій екструдер пересувається по осям X та Y, а стіл з друкованим виробом опускається вниз після нанесення шару матеріалу.

Основними параметрами є налаштування швидкості крокового двигуна, який обертає шнек екструдера для виділення кераміки та швидкість двигунів, котрі рухають екструдера по осям X та Y.

Головним завданням оптимізації прошивки є те, що екструдер повинен рухатися повільно і плавно щоб нанесення кераміки виконувалося рівномірно без утворення ділянок з пропусками та мінімальною кількістю сходинок у друці.

3.4 Висновки третьої частини

В третій частині атестаційної роботи проведено виготовлення конструкції екструдера керамічного матеріалу, а саме підібрано комплектуючі модуля екструзії керамічного матеріалу, виконано моделювання відсутніх деталей, приведено їх розміри та готовий зовнішній вигляд.

4 ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ КЕРАМІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

4.1 Розрахунок кута шнеку механізму екструзії

Задля оптимізації параметрів механізму подачі керамічного матеріалу необхідно оптимізувати такі показники як: швидкість обертів шнеку механізму екструзії та нагнітання тиску у модулі завантаження.

Для оптимізації екструзії необхідно виконати розрахунок шнеку, який дає змогу зрозуміти кут шнеку, який буде проштовхувати керамічний матеріал назовні. Розрахунок шнеку виконано за матеріалами [10].

Значення витка шнеку детально представлено на (рис.4.1).

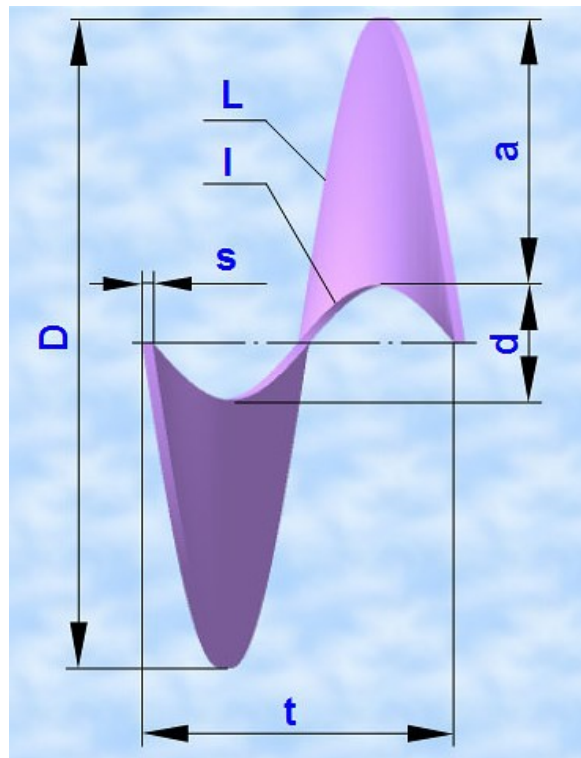


Рисунок 4.1 – Виток шнеку

Довжина зовнішньої гвинтової лінії витка шнека по теоремі Піфагора:

$$L = ((\pi * D)^2 + t^2)^{0,5} \quad (4.1)$$

Аналогічно довжина внутрішньої гвинтової лінії витка шнека:

$$l = ((\pi * d)^2 + t^2)^{0,5} \quad (4.2)$$

Висота витка шнека:

$$a = (D - d) / 2 \quad (4.3)$$

Перейдемо до розгляду розгортки витка шнека (рис.4.2) .

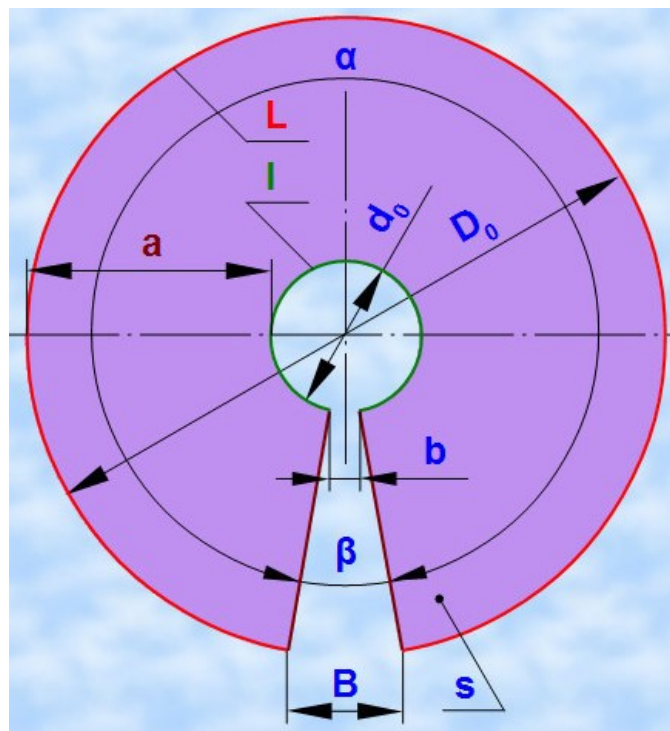


Рисунок 4.2 – Розгортка шнеку

Три наступних формули відображають залежності між просторовим витком і плоскою рядків. Кути в розрахунках - в радіанах.

Довжина зовнішньої дуги заготовки повинна бути дорівнює довжині зовнішньої гвинтової лінії витка:

$$L = \alpha * D_0 / 2 \quad (4.4)$$

Довжина внутрішньої дуги заготовки повинна бути дорівнює довжині внутрішньої гвинтової лінії витка шнека:

$$l = \alpha * d_0 / 2 \quad (4.5)$$

Ширина кільцевого сектора заготовки повинна бути дорівнює висоті витка шнека:

$$a = (D_0 - d_0) / 2 \quad (4.6)$$

Віднімемо рівняння (4.5) з виразу (4.4), замінимо частину виразу залежністю (4.6) і висловимо кут кільцевого тіла розгортки: $L - l = \alpha * (D_0 - d_0) / 2 = \alpha * a$

$$\alpha = (L - l) / a \quad (4.7)$$

Знаючи кут α з виразів (4.4) і (4.5) знаходимо діаметри розгортки:

$$D_0 = 2 * L / \alpha \quad (4.8)$$

$$d_0 = 2 * l / \alpha \quad (4.9)$$

Кут вирізу в розгортці:

$$\beta = 2 * \pi - \alpha \quad (4.10)$$

Розмір вирізів по зовнішньому і внутрішньому діаметрам розгортки:

$$B = D_0 * \sin(\beta / 2) \quad (4.11)$$

$$b = d_0 * \sin(\beta / 2) \quad (4.12)$$

У розрахунку показників шнеку за основу взято шнек, який використовувався у експерименті, його зовнішній вигляд представлено на (рис.4.3).



Рисунок 4.3 – Шнек модуля екструзії

У таблиці 4.1 представлено розрахунок показників шнеку механізму екструзії.

Таблиця 4.1 – Розрахунок показників шнеку механізму екструзії

Розміри шнеку		Позн.	Значення	Од. вим.
1	Зовнішній діаметр шнеку	$D=$	7,100	мм
2	Внутрішній діаметр шнеку	$d=$	6,500	мм
3	Крок шнеку	$t=$	4,000	мм
4	Товщина листа витка шнеку	$s=$	1,200	мм
Результати розрахунків		Позн.	Значення	Од. вим.
6	Довжина витка зовнішньої гвинтової лінії шнеку	$L=$	22,661	мм
7	Довжина витка внутрішньої гвинтової лінії шнеку	$l=$	20,808	мм
8	Висота витка шнеку	$a=$	0,300	мм
9	Кут кільцевого тіла розгортки	$\alpha \approx$	6,175660	рад
			353,839	°
10	Кут вирізу у розгортці	$\beta \approx$	0,107525	рад
			6,161	°
11	Зовнішній діаметр пласкої розгортки	$D_0 \approx$	7,339	мм
12	Внутрішній діаметр пласкої розгортки	$d_0 \approx$	6,739	мм
13	Розмір вирізу по зовнішньому діаметру розгортки	$B \approx$	0,394	мм
14	Розмір вирізу по внутрішньому діаметру розгортки	$b \approx$	0,362	мм

Отриманні данні дають змогу зрозуміти розміри розгорток шнеку, завдяки чому ясно скільки приблизно матеріалу може проштовхуватися між витками шнеку, а також кут витка шнеку.

Експериментальним шляхом отримано дані (таблиця 4.2), які дозволяють обирати шнек з потрібним кутом для певного матеріалу, який друкується.

Таблиця 4.2 – Залежність кута витків шнеку від матеріалу

Матеріал	Кут шнека, градуси °.
Глина	8
Тісто	10
Керамічний порошок	6
Цемент	5

Кут витків шнеку є дуже важливим. При неправильному виборі шнеку матеріал може застрягати, що призведе до перегрівання двигуна або його несправності. Після експерименту є висновок, що більш в'язкі матеріали важко проштовхувати та піддавати екструзії, тому потрібен менший кут витків. Для менш в'язких матеріалів можна використовувати шнеки з більшим кутом витка шнеку.

Також під час експерименту отримано данні. Ці данні пов'язані з обертами шнеку механізму екструзії. При якій швидкості обертів шнеку продуктивність екструзії максимальна та матеріал рівномірно виділяється.

Таблиця 4.3 – Залежність швидкості обертів шнеку від матеріалу

Матеріал	Швидкість обертів шнеку, об/хв
Глина	124
Тісто	128
Керамічний порошок	169
Цемент	211

Графік, який показує скільки обертів шнеку механізму екструзії потрібно, щоб виділити 10 мм^3 матеріалу представлено на (рис.5.4).

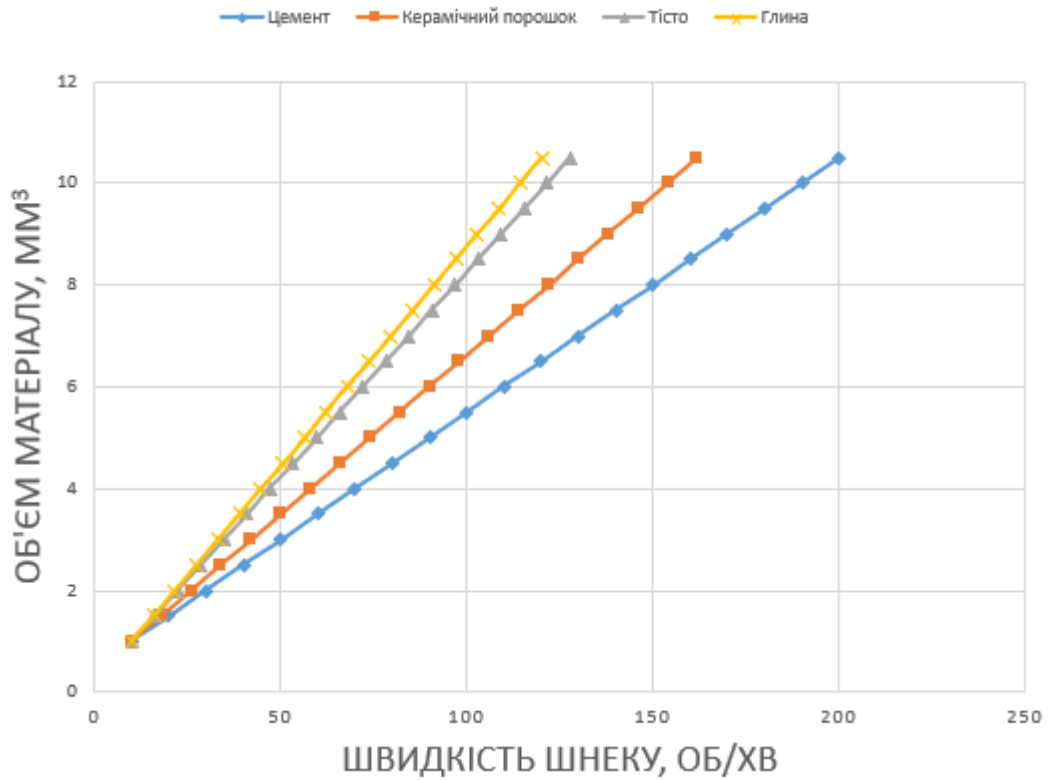


Рисунок 4.4 – Графік залежності об'єму матеріалу від швидкості обертів шнеку

Виходячи з даних таблиці необхідно налаштувати оптимальні показники швидкості обертів двигуна шнека в прошивці Marlin, а саме показник steps per unit. Дані показники розташовано в таблиці 5.4.

Таблиця 4.4 – Показники обертів за хвилину для прошивки Marlin

Обертів за хвилину	Steps per unit
124	1121
128	1157
169	1528
211	1908

Швидкість обертів двигуна який обертає шнек модуля екструзії, в момент друку повинен дорівнювати від 124 об/хв до 211 об/хв для проходження 10 мм^3 в залежності від матеріалу, що друкується.

4.2 Висновки четвертої частини

У четвертій частині атестаційної роботи проведено розрахунок кута шнеку механізму екструзії. Завдяки виконаним розрахункам отримано данні, які дають розуміння, що при друці керамічним матеріалом потрібні оберти шнеку 169 об/хв, а в налаштуванні прошивки Marlin параметр `steps per unit` повинен дорівнювати показнику величиною 1528.

Також основним висновком є те, що більш в'язкі матеріали важко проштовхувати та піддавати екструзії, тому потрібен менший кут витків, та більш швидкі. Для менш в'язких матеріалів можна використовувати шнеки з більшим кутом витка шнеку.

5 НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МЕХАНІЗМУ ЕКСТРУЗІЇ КЕРАМІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

5.1 Тестовий запуск прошивки

Експеримент полягає у тому, що необхідно отримати дані за допомогою тестових запусків прошивки з тестовими параметрами швидкості обертів шнеку екструдера, з тестовими швидкостями двигунів осі X та Y, що відповідають за переміщення екструдера над робочою поверхнею. Також з тестовими значеннями опускання столу, за це відповідає значення Z, ще необхідно налаштувати нагнітання тиску повітря у модулі подачі кераміки для прошовування кераміки до екструдера. За екструзію кераміки назовні відповідає значення E. Це основні параметри прошивки Marlin.

Під час тестового запуску обрано такі основні параметри прошивки:

```
*/  
#define X_DRIVER_TYPE DRV8825  
#define Y_DRIVER_TYPE DRV8825  
#define Z_DRIVER_TYPE LV8729  
//#define X2_DRIVER_TYPE DRV8825  
//#define Y2_DRIVER_TYPE A4988  
//#define Z2_DRIVER_TYPE A4988  
//#define Z3_DRIVER_TYPE A4988  
//#define Z4_DRIVER_TYPE A4988  
#define E0_DRIVER_TYPE DRV8825  
#define E1_DRIVER_TYPE DRV8825  
#define E2_DRIVER_TYPE DRV8825  
#define E3_DRIVER_TYPE DRV8825  
#define E4_DRIVER_TYPE DRV8825
```

```

#define E5_DRIVER_TYPE DRV8825

#define E6_DRIVER_TYPE DRV8825
#define E7_DRIVER_TYPE A4988

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 *           X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 50, 52.56, 6200, 1528 }

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *
 *           X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE      { 150, 150, 10, 100 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *
 *           X, Y, Z, E0 [, E1[, E2...]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION  { 1500, 1500, 200, 20000 }

/**
 * Default Acceleration (change/s) change = mm/s

```

```

* Override with M204
*
* M204 P Acceleration
* M204 R Retract Acceleration
* M204 T Travel Acceleration
*/

#define DEFAULT_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z and E acceleration for
printing moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 3000 // E acceleration for retracts
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z acceleration for
travel (non printing) moves

/**
* Default Jerk limits (mm/s)
* Override with M205 X Y Z E
*
* "Jerk" specifies the minimum speed change that requires acceleration.
* When changing speed and direction, if the difference is less than the
* value set here, it may happen instantaneously.
*/

// #define CLASSIC_JERK
#if ENABLED(CLASSIC_JERK)
  #define DEFAULT_XJERK 10.0
  #define DEFAULT_YJERK 10.0
  #define DEFAULT_ZJERK 0.3

  // #define TRAVEL_EXTRA_XYJERK 0.0 // Additional jerk allowance for all travel
moves

```

```


  ##define LIMITED_JERK_EDITING           // Limit edit via M205 or LCD to
DEFAULT_aJERK * 2
  #if ENABLED(LIMITED_JERK_EDITING)
    #define MAX_JERK_EDIT_VALUES { 10, 10, 1, 20 } // ...or, set your own edit limits
  #endif
#endif

#define DEFAULT_EJERK 5.0 // May be used by Linear Advance


```

В прошивці Marlin вказані параметри, при яких переміщення екструдера по осям X та Y, менше ніж швидкість переміщення екструдера, який друкує пластик. Дані показники виявлені в ході експерименту. Якщо швидко переміщати екструдер по робочій зоні, то матеріал не встигає виділятися на модель, що друкується, та виникають пропуски, друк виконується в такому випадку некоректно.

Ще одним основним параметром є опускання столу по осі Z, так як шар кераміки, який наноситься має товщину від 3 до 5 мм, то опускання виконується більшим кроком.

Також налаштовано параметр швидкості обертів шнеку, який відповідає за екструзію матеріалу. В ході експерименту тестовими запусками перевірено різні матеріали та різні оберти шнеку.

Також після експерименту отримано дані завдяки яким з'ясовано, що нагнітання тиску компресором до модуля подачі кераміки повинно дорівнювати як мінімум 3,5 атмосферам, для того щоб кераміка не застрягала у модулі подачі, а поступово проходила по шлангу, та мала достатній тиск щоб потрапити на виток шнеку і міг проштовхуватися по трійнику на сопло екструдера.

5.2 Висновки п'ятої частини

П'ятий розділ полягає в тому, що виконано тестові запуски прошивки з тестовими параметрами двигуна, який відповідає за екструзію матеріалу. Так як в

початкова прошивка не призначена для екструзії за допомоги шнеку, експериментальним шляхом визначено показники параметра `steps per units`, який відповідає за кількість обертів шнеку.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Аналіз умов праці

Розглянемо лабораторне приміщення де знаходиться 11 проектувальників. Кожне робоче місце оснащено персональним комп'ютером, що містить в своєму складі рідкокристалічний монітор, системний блок з споживаної потужністю 400Вт, клавіатуру і маніпулятор типу «миша», також в лабораторії розташовується маршрутизатор, принтер, сервер.

Електропостачання в приміщенні лабораторії здійснюється від трифазної чотирьохпровідної мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою, що за стандартом складає 220 В з глухозаземленою нейтраллю.

Аналізуючи умови праці в приміщенні, визначено наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ).

Фізичні фактори:

а) підвищений рівень шуму на робочому місці, джерелом шуму є процесорні блоки і периферійне обладнання. Підвищений шум викликає подразнення, знижує уважність працюючих, а також продуктивність праці;

б) підвищена температура, вологість і рухливість повітря робочої зони є причиною поганого самопочуття людей, дискомфорту, головних болів і надалі;

в) відсутність або нестача природного світла, недостатня освітленість робочої зони ускладнює розпізнавання зорових образів, призводить до виникнення помилок в роботі;

г) підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини: джерелом є електрична мережа. Цей фактор є небезпечним і може бути причиною електротравм і електроударів;

д) підвищена напруженість електричного поля, підвищена напруженість магнітного поля (джерелом яких є відеотермінал, системний блок) є причиною порушень нервової діяльності, впливають на серцево-судинну систему, обмінні

процеси, вплив проявляється, перш за все, в стомлюваності, дратівливості, появі головного болю.

Психофізіологічні чинники:

а) статичні перевантаження, викликані тривалим перебуванням в одній позі, ведуть до захворювань кістково–м'язової системи;

б) перенапруження зорових аналізаторів;

в) емоційні перевантаження, викликані рішенням завдань в умовах дефіциту часу.

При оцінці факторів виробничого середовища і трудового процесу в лабораторії, слід зазначити, що є відхилення від нормованих значень по температурі повітря (перевищення температури на $7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Робимо висновок, що домінуючим шкідливим виробничим фактором є підвищена температура повітря робочої зони. Для даного чинника проведемо необхідні організаційні та технічні заходи, метою яких є забезпечення необхідного значення температури в приміщенні.

Захисний ефект занулення полягає в зменшенні тривалості замикання на корпус, а отже, у скороченні часу впливу електричного струму на людину (див. рис. 6.1).

Зробимо розрахунок струму короткого замикання при замиканні фази на корпус обладнання для оцінки величини граничного струму спрацювання автомата захисту і для вибору потрібного автомата захисту.

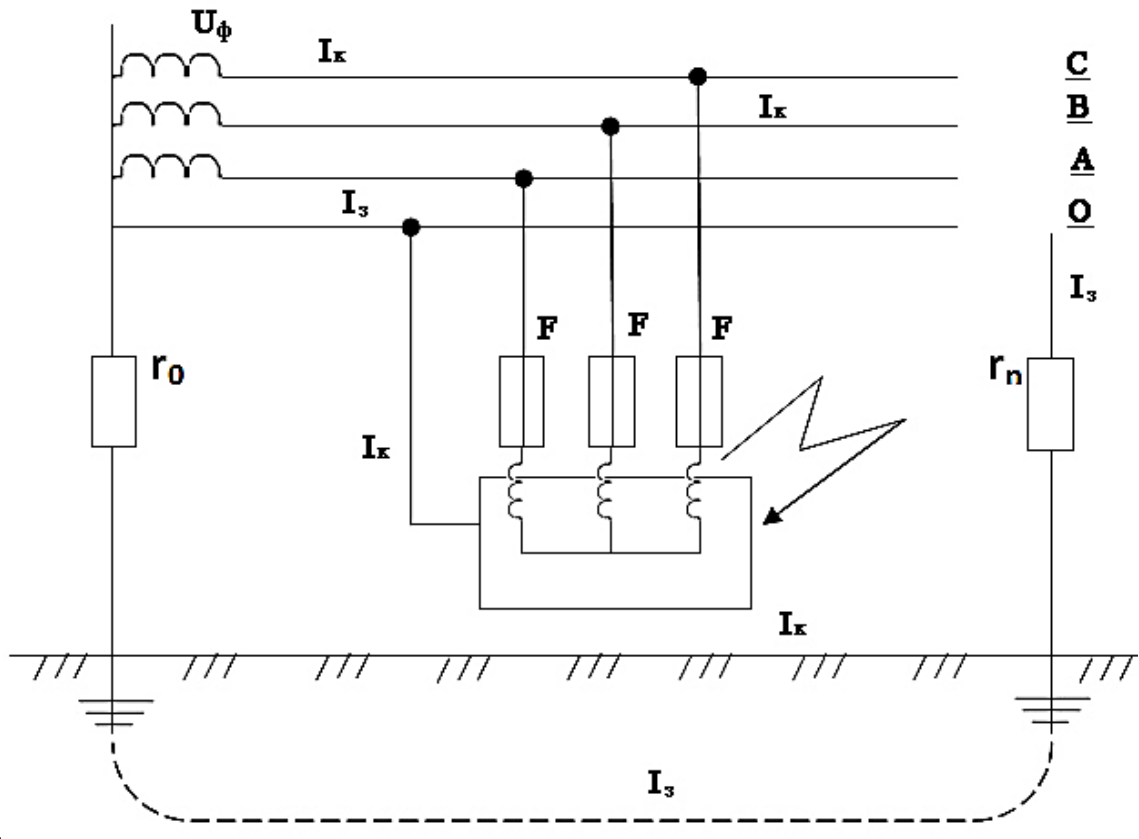


Рисунок 6.1 – Схема занулення

Визначимо максимальний розрахунковий струм в лінії

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{U_H} \quad (6.1)$$

де P_H – потужність, споживана електроустаткуванням;

U_H – напруга в мережі.

$$I_H = \frac{4500}{220} = 20,45 \text{ A} \quad (6.2)$$

Визначаємо площу поперечного перетину для провідника з міді

$$S_{\text{мідь}} = \frac{I_H}{I_{\text{ек}}} = \frac{20,45}{3,5} = 5,84 \text{ мм}^2 \quad (6.3)$$

Робимо округлення до 6 мм².

Знаходимо активний опір кабельної лінії з мідних провідників

$$R_{\phi}^{\text{мід}} = R_{\text{н}}^{\text{мід}} = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (6.4)$$

де ρ – питомий опір провідника (в якості провідника використано мідь, питомий опір міді дорівнює 0,018 Ом·мм² / м);

l – довжина провідника (за довжину береться значення периметру приміщення –

$$P = (a + b) \cdot 2 = (5 + 4,5) \cdot 2 = 19 \text{ м});$$

S – перетин провідника, мм².

$$R_{\phi}^{\text{мід}} = R_{\text{н}}^{\text{мід}} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,018 \cdot \frac{20}{6} = 0,06 \text{ Ом} \quad (6.5)$$

Якщо величина l – це довжина провідника до підстанції, тоді активний опір кабельної лінії з мідних провідників складає

$$R_{\phi}^{\text{мід}} = R_{\text{н}}^{\text{мід}} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,018 \cdot \frac{200}{6} = 0,6 \text{ Ом} \quad (6.6)$$

Індуктивний опір мідних дротів дуже незначні, тому ними можна знехтувати.

Опір взаємоіндукції залежить від відстані між діаметром котушок D та їх власного діаметра d . Зазвичай приймають $X_{\phi\text{н}} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot l$.

Знаходимо довжину петлі «фаза-нуль»

$$l = (l_{\phi}^{\text{мід}} + l_{\text{н}}^{\text{мід}}) \cdot 2 = (200 + 20) \cdot 2 = 440 \text{ м} \quad (6.7)$$

Визначаємо опір петлі «фаза-нуль»

$$X_{\phi\text{н}} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot l = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 440 = 0,264 \text{ Ом} \quad (6.8)$$

Повний опір петлі «фаза-нуль»

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{\left[\left(R_{\phi}^{\text{мід}} + R_{\text{н}}^{\text{мід}} \right) \cdot 2 \right]^2 + X_{\phi\text{н}}^2} = \sqrt{\left[(0,06 + 0,6) \cdot 2 \right]^2 + 0,264^2} = 1,35 \text{ Ом} \quad (6.9)$$

За даними маємо трансформатор потужністю $P_{\text{тр}} = 250 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. Його опір дорівнює $Z_{\text{тр}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Струм однофазного короткого замикання буде складати

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\frac{Z}{3} + Z_{\Sigma}} = \frac{220}{\frac{0,1}{3} + 1,35} = 159 \text{ А} \quad (6.10)$$

Дія автомата виключення забезпечується, якщо виконується умова

$$I_{\text{кз}} \geq K \cdot I_{\text{н}} \quad (6.11)$$

Знаходимо струм спрацювання автоматичного вимикача ($I_{\text{н}}$)

$$I_{\text{н}} = I_{\text{кз}} / K = \frac{159}{1,25} = 127,5 \text{ А} \quad (6.12)$$

де K – коефіцієнт кратності ($k = 1,25$ для автоматичних вимикачів з номінальним струмом понад 100 А).

Отже, для надання надійного захисту від ураження струмом автоматичний розмикач А5114/1, спрацювання електромагнітного елемента відбувається при силі струму в 100 А.

Розмикач використовують для захисту людини від ураження електричним струмом, захисту обладнання від пожеж при порушенні ізоляції електропроводки, а також захисту від струмів короткого замикання та перевантаження.

6.2 Промислова безпека в лабораторії

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки, так як приміщення не є сирим (відносна вологість повітря не перевищує 75 %), температура повітря не перевищує +35 °С, заземлення конструкції будівлі, батареї опалення, що знаходяться в приміщенні, надійно захищені діелектричними щитами.

У приміщенні використовується трифазна чотирьохпровідна система живильних провідників з глухозаземленою нейтраллю та стандартизованою напругою 220 В, змінного струму частотою 50 Гц.

У приміщенні використовується додатковий резервний вимикач, який призначений для відключення від мережі електроживлення всіх ПЕОМ в приміщенні, який необхідний при розміщенні в приміщенні 5 і більше ПЕОМ. У приміщенні розміщені 11 ПЕОМ.

Необхідно проводити контроль активного опору ізоляції провідників на ділянках «фаза–фаза», «фаза–нуль», «фаза – нульовий захисний провідник».

Проводяться вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі. Записи про проведення первинного на робочому місці, повторного, позапланового та цільового інструктажів фіксуються в журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

6.3 Виробнича санітарія в лабораторії

Важливе значення у виробничій санітарії має освітлення. Раціональне освітлення попереджає розвиток стомлення, сприяє підвищенню продуктивності праці і відіграє важливу роль у зниженні виробничого травматизму.

Освітлення в приміщенні природне (через бічні світлові прорізи) і штучне (виконується люмінесцентними джерелами світла). Застосовується також і місцеве освітлення. У приміщенні лабораторії норми по природному і штучному освітленню виконані.

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря необхідно застосовувати опалення в холодний період року і кондиціонування повітря в теплий період.

Фактичне значення температури в приміщенні лабораторії в теплий період часу року перевищує нормоване значення на 7 °С. Для нормалізації температури необхідно виконати розрахунок необхідного повітрообміну і встановити систему кондиціонування.

Кондиціонування повітря – це створення і автоматична підтримка в приміщеннях постійних або змінних за програмою певних метеорологічних умов, найбільш сприятливих для працюючих. Кондиціонування дозволяє проводити попередню обробку припливного повітря, включно з очищенням від пилу, зволоження, нагрів або охолодження.

Організація і конструкція робочого місця забезпечує відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам Конструкція робочого місця виконана таким чином, що витримано відстань від очей до монітора (для монітора з діагоналлю 19" відстань 80 см – 90 см).

6.4 Пожежна безпека

Джерелами пожежі можуть бути пристрої електроживлення, електронні схеми ЕОМ, в яких можливий перегрів деяких елементів. При виникненні пожежі під час евакуації можна скористатися схемою пожежної евакуації, яка представлена на рисунку 6.2.

За ступенем вогнестійкості будівля відноситься до II ступеня (будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів, а також допускається застосування незахищених сталевих конструкцій) (згідно ДБН В.1.1.7– 2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва»).

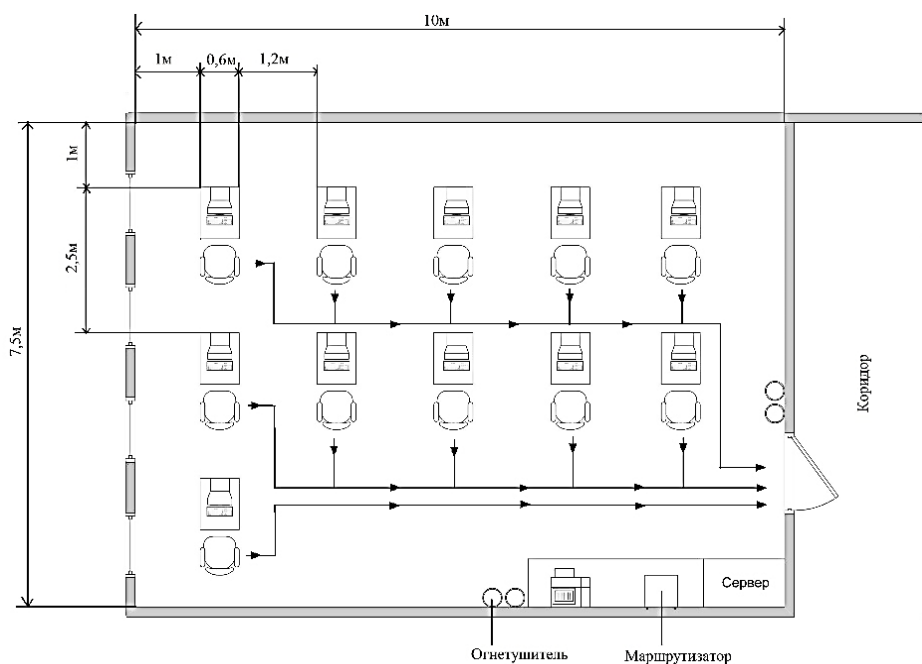


Рисунок 6.2 – Схема розміщення робочих місць і шляхи евакуації при пожежі

З метою профілактики пожеж і зменшення можливих збитків, приміщення з ЕОМ повинні бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації. Приміщення з ЕОМ повинні оснащуватися переносними вуглекислотними вогнегасниками типу ВВК-3,5 виходячи з розрахунку 1 на 3 ПК. Дане приміщення оснащене 4 зазначеними вогнегасниками.

6.5 Висновки шостого розділу

В розділі «Охорона праці» проведено аналіз умов праці в даному приміщенні, розглянуто основні положення правил промислової безпеки, пожежної безпеки та промислової санітарії. Безпечним фактором виявилась – підвищена напруга, замикання, яке може відбутися через тіло людини. Для ліквідації даного чинника був розрахований струм короткого замикання. Також розглянуто питання евакуації при пожежі.

ВИСНОВКИ

В ході виконання атестаційної роботи магістра розроблена і виготовлена власна конструкція механізму подачі та екструзії керамічного матеріалу. Виконано розрахунок шнеку механізму екструзії кераміки. На базі розробленого макету отримано висновок, що для друку більш в'язких матеріалів потрібен менший кут розгортки шнеку та більші оберти шнеку механізму екструзії. Так як виштовхування в'язкого матеріалу створює навантаження на кроковий двигун шнеку, через це сам двигун та драйвер двигуна виходить з ладу. Також отримано данні, які дозволяють налаштувати програмне забезпечення Marlin для H-bot, а саме на основі розрахунків виконано налаштування прошивки для друку кераміки показник в прошивці повинен дорівнювати 1528 steps per unit, тобто цей показник дорівнює 169 обертам на хвилину. Для друку глиною кількість обертів шнеку потрібно дорівнювати 124 обертам за хвилину. При друці тістом – 128 об/хв. При друці тістом – 128 об/хв. При друці цементної суміші – 211 об/хв. Для достатнього поступу кераміки від модуля подачі до механізму екструзії, тиск від компресору повинен дорівнювати не менш ніж 3,5 атмосферам.

Також розроблено моделі двох частин принтеру, а саме механізму екструзії та модуля подачі кераміки до екструдера, який завантажується керамікою об'ємом до п'яти літрів.

Розробка і побудова механізму подачі та механізму екструзії виконана на розповсюджених деталях та вузлах, які є у вільній продажі, що зменшує собівартість на виготовлення 3D-принтеру та його подальше обслуговування.

Отримані висновки можуть бути корисні при швидкому друці прототипів складної форми для прес-форм, це дає змогу спростувати виробництво литтям моделей складних форм з більш міцних матеріалів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов, І.Ш. дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст] / І.Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320с.
2. ДСТУ 3008-15. документація. звіти у сфері науки і техніки. структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
3. Методичні вказівки до підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова – Харків: ХНУРЕ, – 2018. –34с.4.
4. Технологія спікання порошків SLS (SelectiveLaserSintering) [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/sls-tech/. – 20.09.2020.
5. Керамічний друк <https://ad-ma.ru/keramicheskaja-3d-pechat/> [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/sls-tech/. – 20.09.2020.
6. Аддитивныетехнологии 3D печати[Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : <http://mozgochiny.ru/idei-dlya-biznesa/additivnyie-tehnologii-3d-pechati/>– 21.09.2020.
7. Аналоги принтерів [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу :<https://thedifference.ru/kak-rabotaet-3d-printer/>– 22.09.2020.
8. Аналоги принтерів [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу :<https://uk.wikipedia.org/wiki/Кераміка>– 23.09.2020.
9. Аналоги принтерів [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу :<https://3dtoday-ru.turbopages.org/3dtoday.ru/s/blogs/terem3d/3d->

pechat-keramikoy-preimushchestva-i-sfery-primeneniya-tekhnologiya-admaflex-chast-1– 24.09.2020.

10. Аналоги принтерів [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу :<https://3dpt.ru/blogs/support/materials> – 25.09.2020.

11. Розрахунок шнеку [Електронний ресурс]. – <http://alvo.ru/mekhanika/raschet-shneka-razvertka-vitka.html> – 25.09.2020.

12. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Вип. 1. – 41-46 с.