

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра
на тему: «Автоматизація технологічного процесу виготовлення 3D-
принтерного матеріалу»

Виконав студент 2 курсу, групи АТ-28м
спеціальності 174 “ Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”

Хомич Роман Анатолійович

(прізвище та ініціали студента)

Керівник: к.т.н., доц. Ткачук А.Г.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Житомир – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
Факультет комп’ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Спеціальність 174 “Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології
та робототехніка”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
робототехніки, електроенергетики
та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна
к.т.н., доц. Громовий О.А.
_____ к.т.н., доц. Громовий О.А.
«_____» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент _____ *Хомич Роман Анатолійович*

1. Тема роботи: Автоматизація технологічного процесу виготовлення 3D принтерного матеріалу

Затверджена Наказом по університету від «12» листопада 2024 р. № 646/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «20» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали звіту про переддипломну практику, забезпечення безперервного контролю діаметра філаменту, автоматичний контроль температури у зоні екструзії, намотувальний пристрій, плавне регулювання швидкості та подачі, створення інтерфейсу оператора

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем вимірювання рівня рідини, розробка структурної, функціональної та алгоритму

5. Перелік презентативного матеріалу (з точним визначенням обов’язкових слайдів/креслень) структурна схема, функціональна схема, блок-схема алгоритму

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технічна частина	Ткачук А.Г., к.т.н, доцент	11.09.2024	11.09.2024

7. Дата видачі завдання 11.09.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	1.11.2024 – 1.12.2024	виконано
2.	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем	21.09.2024 – 24.09.2024	виконано
3.	Ознайомитись з основними принципами побудови лінії виготовлення 3D принтерного матеріалу	24.09.2024 – 11.10.2024	виконано
4.	Розробка структурної та функціональної схеми	11.10.2024 – 02.11.2024	виконано
5.	Вибір компонентів для лінії виготовлення пластику	02.11.2024 – 10.11.2024	виконано
6.	Розробка блок-схеми алгоритму	10.11.2024 – 30.11.2024	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	30.11.2024 – 11.12.2024	виконано

Студент _____
(підпис, дата)

Р.А. Хомич
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис, дата)

А.Г. Ткачук
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота присвячена розробці автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення філаменту для 3D-принтерів. У роботі проаналізовано технологічний процес екструзії філаменту, розроблено структуру автоматизованої системи керування з урахуванням вимог до точності регулювання основних параметрів: температури, тиску, швидкості подачі та охолодження. Сформовано алгоритм функціонування системи, виконано вибір технічних засобів автоматизації, зокрема програмованого логічного контролера (PLC), датчиків та виконавчих механізмів. Реалізація проєкту дозволяє забезпечити підвищення точності контролю параметрів, зниження енерговитрат і покращення повторюваності якості кінцевого продукту.

Дипломна робота магістра містить 67 сторінок, 32 рисунків, та 13 джерел.

ANNOTATION

The master's thesis is devoted to the development of an automated control system for the technological process of filament production for 3D printers. The work analyzes the extrusion process of filament and develops the structure of the automated control system, taking into account the requirements for precise regulation of key parameters: temperature, pressure, feed rate, and cooling. The algorithm of the system's operation has been designed, and the selection of automation hardware was carried out, including a programmable logic controller (PLC), sensors, and actuators. The implementation of the project ensures increased accuracy in parameter control, reduced energy consumption, and improved repeatability of the final product quality.

The master's thesis consists of 67 pages, includes 32 figures, and references 13 sources.

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі розглянуто питання автоматизації технологічного процесу виготовлення філаменту для 3D-принтерів. Основною метою дослідження є розробка та впровадження автоматизованої системи управління виробничою лінією, що забезпечує високу точність параметрів, стабільність якості продукції та ефективність процесу.

Робота включає аналіз існуючих рішень у сфері виробництва філаменту, вибір оптимальних технічних засобів, а також розробку алгоритмів управління для забезпечення точного калібрування діаметра нитки, контролю температури екструзії та моніторингу вологості сировини. Особливу увагу приділено використанню частотного перетворювача для регулювання швидкості роботи екструзійного блоку, а також інтеграції системи датчиків і контролерів для підтримки стабільних умов процесу.

У процесі виконання роботи було розроблено та запущено виробничу лінію для виготовлення філаменту власними силами, що дозволило перевірити запропоновані рішення на практиці. Запроваджена автоматизація зменшує вплив людського фактору, забезпечує стабільну якість продукції та скорочує виробничі витрати.

ЗМІСТ

ВСТУП	1
1. Сировина для виготовлення філаменту.....	2
1.1. Основні види пластику PLA, ABS, PETG, TPU	2
1.2. Вимоги до якості сировини.....	4
1.3. Призначення та область застосування лінії виготовлення пластику для 3D-принтерів.....	7
2. Етапи виробництва пластикового філаменту.....	10
2.1. Підготовка сировини.....	10
2.3. Екструзія	16
2.4. Формування нитки	35
2.5. Калібрування та контроль діаметра за допомогою лазерних систем	37
2.6. Механізм натягу та протяжки філаменту	39
2.7. Намотувальний механізм	43
2.8. Технічні параметри лінії виготовлення пластику.....	53
3.Розробка апаратної частини	56
3.1. Розробка функціональної схеми	56
3.2 Розробка структурно схеми.....	57
4.РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ 3D-ПРИНТЕРНОГО МАТЕРІАЛУ.....	59
5.Розробка програмного забезпечення.....	60
5.1 Розробка графічного інтерфейсу та алгоритмів обміну даними за стандартом RS485	60
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

ВСТУП

Сучасна технологія 3D-друку стала невід'ємною частиною інноваційного виробництва та проектування. Вона знаходить застосування в таких галузях, як медицина, архітектура, машинобудування, освіта та багато інших. Основу цього процесу становить використання спеціальних матеріалів для друку, зокрема пластикової нитки – філаменту. Виробництво філаменту – це складний, але добре структурований процес, який вимагає не тільки високотехнологічного обладнання, але й суворого дотримання технологічних параметрів для забезпечення якості продукції.

Філамент, як основний матеріал для 3D-друку, виготовляється з термопластичних полімерів, таких як PLA, ABS, PETG, нейлон тощо. Ці матеріали мають різні фізико-механічні властивості, що дозволяє підбирати оптимальний варіант для конкретних задач. Якість філаменту значно впливає на підсумковий результат друку: від чіткості деталей до міцності кінцевих виробів. Тому процес виготовлення пластикової нитки включає кілька ключових етапів: підготовка сировини, екструзія, калібрування, охолодження та намотування.

Таким чином, виробництво філаменту для 3D-принтерів – це комплексний процес, що вимагає високого рівня автоматизації та контролю на кожному етапі. Від якості сировини до кінцевого намотування нитки, всі стадії впливають на характеристики готового продукту. Розуміння технології виготовлення філаменту дозволяє краще оцінити важливість кожного етапу та створювати матеріали, які відповідають вимогам сучасного 3D-друку.

1. СИРОВИНА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛАМЕНТУ

1.1. Основні види пластику PLA, ABS, PETG, TPU

Пластиковий філамент (зображено на рис.1.1.1) є основним витратним матеріалом для 3D-друку, і його властивості значною мірою залежать від типу використаного пластику. Вибір матеріалу визначається конкретними вимогами до виробу, а також технічними параметрами самого 3D-принтера.



Рис.1.1.1 – Пластиковий філамент

PLA є одним із найпоширеніших матеріалів для 3D-друку завдяки своїй екологічності та біорозкладності. Він виготовляється з відновлюваних ресурсів, таких як кукурудзяний крохмаль або цукрова тростина, що робить його безпечним для навколишнього середовища. PLA — це матеріал, який легко використовувати завдяки його низькій температурі друку, яка коливається в межах 190–220°C. Це робить PLA відмінним вибором навіть для початківців, адже не потрібен високий рівень досвіду

для досягнення хороших результатів. Окрім того, PLA не виділяє неприємних запахів під час друку, що створює комфортні умови для роботи. Вироби, виготовлені з PLA, мають високу точність та якість поверхні, що є важливим для багатьох застосувань. Проте цей матеріал має свої обмеження. Він не підходить для використання в умовах високих температур, оскільки має низьку термостійкість, а також є досить крихким, що може спричинити пошкодження деталей при механічних навантаженнях.

ABS, інший популярний матеріал для 3D-друку, має чудові технічні характеристики, які роблять його ідеальним для промислових та інженерних застосувань. Він володіє високою міцністю та термостійкістю, що дозволяє використовувати його для виготовлення функціональних і навантажених деталей. Завдяки своїй стійкості до механічних пошкоджень, вироби з ABS можна обробляти за допомогою шліфування, фарбування чи склеювання, що відкриває широкий спектр можливостей для подальшої обробки. Однак при використанні цього матеріалу слід враховувати його здатність до виділення різкого запаху, що потребує наявності хорошого вентиляційного забезпечення або закритої камери в 3D-принтері. Це створює певні труднощі для користувачів, які працюють у невеликих приміщеннях або не мають належного обладнання для забезпечення безпеки.

PETG є універсальним матеріалом, який поєднує переваги PLA та ABS. Цей матеріал володіє високою міцністю, ударостійкістю та гнучкістю, що робить його ідеальним для багатьох задач. Однією з основних переваг PETG є його стійкість до хімічних впливів, що робить його корисним для створення виробів, що будуть піддаватись контакту з агресивними речовинами або знаходитимуться в умовах підвищеної вологості. Ще однією важливою властивістю PETG є мінімальна ймовірність деформації під час друку, що знижує ймовірність утворення браку і покращує якість готових виробів. Однак при роботі з PETG є певні складнощі, оскільки матеріал чутливий до температурних коливань. Для отримання оптимальних результатів необхідно точно налаштувати температурний режим принтера, оскільки навіть незначні відхилення можуть вплинути на якість друку.

TPU (термопластичний поліуретан) є матеріалом, який відрізняється високою еластичністю та гнучкістю, що дозволяє створювати різноманітні еластичні об'єкти, здатні витримувати великі механічні навантаження. TPU чудово підходить для друку таких виробів, як ремінці, прокладки, гнучкі чохла, шини для моделей та інших компонентів, що потребують високої деформаційної здатності. Однією з основних переваг TPU є його висока стійкість до зносу, що робить його популярним для виготовлення деталей, які піддаються регулярним деформаціям, таким як розтягування чи стиснення. Крім того, TPU має хорошу стійкість до впливу агресивних хімічних речовин і вологості, що робить його ідеальним вибором для використання в складних умовах. Завдяки своїй гнучкості, TPU є чудовим матеріалом для створення інженерних, дизайнерських і побутових виробів, які потребують високої витривалості.

Усі ці матеріали мають свої переваги та недоліки, і вибір залежить від конкретних вимог до кінцевого виробу. PLA підходить для екологічно чистих виробів з мінімальними навантаженнями, ABS — для технічних і інженерних застосувань, що потребують високої міцності, а PETG і TPU є універсальними матеріалами для широкого спектра застосувань, від побутових до промислових. Завдяки своїм унікальним властивостям, ці матеріали відкривають величезні можливості для творчості та інновацій у світі 3D-друку, надаючи користувачам свободу створювати різноманітні деталі для різних потреб.

1.2. Вимоги до якості сировини

Якість пластикового філаменту для 3D-друку має вирішальне значення для успішного та стабільного процесу виготовлення деталей. Це питання охоплює не тільки вибір сировини, але й контроль кожного етапу її підготовки та обробки. Важливими аспектами є фізико-хімічні властивості матеріалів, точність виготовлення філаменту, а також забезпечення належних умов для виготовлення та обробки полімерів. Всі ці фактори взаємопов'язані й визначають кінцеву якість продукції.

Одним із перших етапів у виготовленні філаменту є вибір сировини, що відповідає конкретним вимогам щодо її фізичних характеристик. Для цього важливо використовувати полімери, які мають стабільні температурні та механічні властивості, оскільки це безпосередньо впливає на процес екструзії та характеристики готового філаменту. Вибір якісного матеріалу не тільки забезпечує стабільність екструзії, але й зменшує ймовірність утворення дефектів на етапі друку. Матеріали, які використовуються для виготовлення філаменту, повинні мати сталість властивостей протягом усього виробничого процесу. Для досягнення цього необхідно ретельно контролювати характеристики сировини, такі як температура плавлення, теплопровідність, механічні властивості, а також її вологість. Надмірна вологість у матеріалі може викликати утворення бульбашок у філаменті, що у свою чергу призводить до нерівномірного друку і втрати якості. Ось чому важливим є належне зберігання матеріалу в сухому середовищі перед екструзією.

У процесі виробництва філаменту для 3D-друку важливо не тільки правильно обирати сировину, а й забезпечити її належну підготовку. Сушка матеріалу — це критично важливий етап, що допомагає знизити рівень вологи до оптимального діапазону. Для сушки сировини використовуються спеціальні пристрої, такі як дегідратори та сушильні камери, які контролюють вологість і забезпечують необхідні умови для виробництва філаменту. Вологість матеріалу має бути не тільки на рівні, що не перевищує допустимі норми, але й підтримуватись протягом усього процесу виготовлення філаменту. Зниження вологи до оптимальних показників дозволяє запобігти виникненню дефектів, таких як бульбашки, тріщини або нерівномірне плавлення пластика.

Крім того, важливим параметром є стабільність гранул сировини. Розмір гранул полімеру безпосередньо впливає на рівномірність екструзії та стабільність процесу виготовлення філаменту. У разі значних варіацій у розмірі гранул можуть виникнути проблеми з формуванням філаменту, оскільки менші або більші гранули плавляться не рівномірно, що може призвести до утворення дефектів у готовому матеріалі. Це може включати нерівномірну товщину нитки, утворення порожнин або слабкі ділянки

у філаменті. Для уникнення цих проблем необхідно використовувати полімери з високим рівнем однорідності за розміром гранул, що гарантує безперебійний процес екструзії та стабільну якість матеріалу.

Фізико-хімічні властивості полімерів також значно впливають на якість філаменту. Матеріал повинен мати стабільні механічні характеристики, такі як міцність на розрив, гнучкість, термостійкість і хімічну стійкість. Наприклад, для матеріалів, які використовуються в умовах підвищених температур, необхідно, щоб полімери мали високу термостійкість, що дозволяє їм витримувати роботу в агресивних середовищах без деградації або втрати механічних властивостей. Термостійкість є важливим аспектом для матеріалів, які використовуються в інженерних або промислових застосуваннях. Для таких матеріалів, як PLA, ABS, PETG та інші, необхідно забезпечити правильні температурні режими не тільки під час виробництва, але й під час процесу друку. Наприклад, для PLA температура екструзії має бути в межах 190–220°C, що дозволяє досягти максимальної точності при створенні виробів, але надмірне підвищення температури може призвести до розплавлення матеріалу або утворення дефектів.

Важливим етапом є додавання спеціальних домішок до сировини, що дозволяє поліпшити характеристики кінцевого продукту. Наприклад, стабілізатори додаються для підвищення термостійкості матеріалу, що дозволяє використовувати філамент у більш екстремальних температурних умовах. Антиоксиданти застосовуються для запобігання окисленню пластика, що може вплинути на його механічні властивості та термін служби. Барвники використовуються для досягнення необхідного кольору, що дає можливість адаптувати філамент під різноманітні дизайнерські чи функціональні вимоги. Важливо, щоб ці домішки не впливали на основні властивості матеріалу та не погіршували його характеристики, оскільки навіть незначні зміни в складі можуть призвести до погіршення якості кінцевого продукту.

Завершальний етап виробництва філаменту включає контроль за параметрами екструзії. Температура та швидкість екструзії повинні бути точно налаштовані, щоб

забезпечити стабільну товщину нитки та мінімальні відхилення. Окрім цього, контролюється процес охолодження філаменту після екструзії, оскільки надмірно швидке охолодження може призвести до внутрішнього напруження матеріалу, що в подальшому може призвести до деформації або погіршення механічних властивостей.

1.3. Призначення та область застосування лінії виготовлення пластику для 3D-принтерів

Лінія виготовлення пластикового філаменту для 3D-друку є складним і високотехнологічним виробничим обладнанням, яке забезпечує точне і контрольоване виробництво матеріалів для адитивного виробництва. Вона призначена для виготовлення філаментів із полімерів, таких як PLA, ABS, PETG, нейлон, TPU та інші, що дає змогу створювати матеріали з точно заданими параметрами — діаметром, міцністю, однорідністю структури та рівномірністю поверхні. Ці характеристики визначають не тільки стабільність процесу 3D-друку, а й якість кінцевих виробів.

Основна мета лінії виготовлення філаменту — це автоматизація та оптимізація всього виробничого циклу, включаючи етапи екструзії, охолодження, намотування та контроль якості. Така система дозволяє отримати філамент, який повністю відповідає вимогам до точності та стабільності параметрів, таких як діаметр, текстура і механічні характеристики. Високий рівень автоматизації дозволяє значно зменшити вплив людського фактора на виробничий процес і підвищити ефективність виробництва. Система автоматичного контролю дає змогу стежити за всім процесом в реальному часі, що дозволяє вчасно виявляти та усувати будь-які відхилення від заданих параметрів.

Ключовими етапами роботи лінії є підготовка сировини, екструзія, охолодження та намотування філаменту на котушки. Перший етап включає ретельну підготовку полімерної сировини, яка проходить етапи очищення, сушіння та подрібнення (якщо потрібно). Контроль рівня вологості на цьому етапі є критичним, оскільки навіть невеликі відхилення в вологості можуть призвести до дефектів філаменту, таких як бульбашки чи нерівномірний діаметр. Для більшості полімерів

необхідно знижувати рівень вологості до оптимальних значень, що забезпечує стабільну екструзію та зберігає фізико-хімічні властивості матеріалу.

Процес екструзії є серцем виробництва філаменту. В ході екструзії полімер розплавляється в спеціальній екструзійній машині та витягується через формувальну голівку для отримання нитки заданого діаметра. Важливо, щоб екструзійний процес був стабільним і контролювався за допомогою спеціальних датчиків, які фіксують температуру, тиск і швидкість витягування нитки. Зміни цих параметрів можуть призвести до варіацій у діаметрі філаменту, що відразу позначиться на якості друку.

Після екструзії філамент охолоджується у спеціальних ваннах або з використанням повітряних охолоджувачів, щоб затвердити матеріал і запобігти його деформації. Охолодження має бути контрольованим, оскільки різка зміна температури може призвести до внутрішніх напружень у матеріалі, що негативно впливає на його механічні властивості та стабільність під час подальшої обробки.

Намотування є завершальним етапом виробничого процесу. На цьому етапі філамент намотується на котушки, причому важливо забезпечити рівномірне натягування нитки, щоб уникнути утворення сплутувань або нерівностей на котушці. Система намотування повинна бути гнучкою і дозволяти працювати з різними розмірами котушок, що забезпечує універсальність лінії та можливість налаштування для виробництва різних видів філаменту.

Для забезпечення високої якості філаменту на всіх етапах виробництва використовуються сучасні системи контролю якості. Вони включають інструменти для вимірювання діаметра філаменту в режимі реального часу, які автоматично коригують параметри екструзії, а також перевіряють міцність і однорідність нитки. Інспекція на кожному етапі дозволяє оперативно виявляти дефекти, такі як змінний діаметр, наявність бульбашок або включень сторонніх часток, що дозволяє знизити кількість бракованого матеріалу.

Ще однією важливою складовою лінії є можливість використання різних видів полімерів. Високотехнологічні лінії виготовлення філаменту можуть працювати з матеріалами, що вимагають різних температурних режимів екструзії та специфічних

умов обробки. Це включає не тільки традиційні полімери, як PLA, ABS чи PETG, але й спеціалізовані матеріали, такі як композити з армованими волокнами (наприклад, з карбоновими або скляними волокнами), а також термопластичні еластomers (TPU), нейлон і спеціальні біорозкладні полімери.

Технічні можливості таких ліній включають автоматичну настройку параметрів для роботи з різними типами матеріалів, включаючи змішування полімерів з різними добавками для досягнення спеціальних властивостей, таких як підвищена термостійкість, електропровідність або біосумісність. Лінія також може включати додаткові модулі для введення барвників, стабілізаторів, антиоксидантів або інших модифікаторів, що дозволяє отримувати філамент з унікальними характеристиками.

Завдяки високій гнучкості лінії виготовлення філаменту можна адаптувати під різні обсяги виробництва — від малих партій для індивідуальних замовлень або досліджень до великих масштабів для промислових потреб. Це дає змогу не лише підвищити ефективність виробництва, а й оперативно реагувати на змінювані потреби ринку, забезпечуючи конкурентоспроможність та гнучкість в умовах високої варіативності попиту.

Окрім економічних і технологічних переваг, лінія виготовлення пластикового філаменту має й екологічний потенціал. Завдяки здатності використовувати перероблені матеріали, а також знижувати витрати на транспортування, можна значно зменшити вуглецевий слід виробництва. Крім того, лінія дозволяє виготовляти більш екологічно чисті матеріали, що відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки. Наприклад, це можуть бути полімери на основі відновлюваних ресурсів або біорозкладні пластики, що відповідають принципам сталого розвитку і знижують негативний вплив на навколишнє середовище.

2. ЕТАПИ ВИРОБНИЦТВА ПЛАСТИКОВОГО ФІЛАМЕНТУ

2.1. Підготовка сировини

Підготовка сировини є першим етапом у процесі виробництва пластикового філаменту для 3D-друку. Від правильності виконання цього етапу залежить якість філаменту, його фізичні властивості та однорідність. Сировина для виробництва філаменту зазвичай постачається у вигляді пластикових гранул які зображені на (рис. 2.1.1).



Рис. 2.1.1 - Гранули

Основні етапи підготовки включають наступні кроки:

1. Очищення сировини

Перед початком обробки пластикова сировина проходить етап очищення, необхідний для видалення сторонніх домішок, які можуть негативно вплинути на якість кінцевого продукту. До таких домішок належать металеві частинки, органічні залишки та інші види пластику, що несумісні з основним матеріалом. Наявність

сторонніх елементів у сировині може призводити до дефектів у готовій продукції, таких як нерівномірність структури, зниження механічних властивостей або пошкодження обладнання.

Для очищення використовуються кілька ефективних методів і пристроїв. Магнітні сепаратори дозволяють видалити металеві частинки за рахунок їх притягання до магнітної поверхні. Фільтри забезпечують механічне очищення матеріалу від більших включень. Сушильні бункери, які застосовуються для обробки сировини, додатково видаляють вологу, яка може накопичуватися у пластику під час зберігання або транспортування. Наявність вологи в матеріалі є серйозною проблемою, оскільки в процесі екструзії вона може спричиняти утворення пухирців або зниження якості філамента.

На рис. 2.1.2 представлено конструкцію сушильного бункера, який забезпечує рівномірне видалення вологи шляхом нагрівання сировини до заданої температури. Такий комплексний підхід до очищення сировини дозволяє підготувати матеріал до наступних етапів виробничого процесу, гарантуючи його високу якість і стабільність технологічних параметрів.

2. Сушка сировини

Волога є одним із найсерйозніших чинників, що впливають на якість філаменту, і її надмірна кількість може суттєво погіршити кінцеві характеристики продукції. При наявності зайвої вологи в сировині під час процесу екструзії утворюються бульбашки, що призводять до дефектів на поверхні філаменту або навіть його розривів. Крім того, волога знижує механічні властивості матеріалу, такі як міцність і гнучкість, що може зробити кінцевий продукт менш стійким до зовнішніх навантажень і пошкоджень.

Для запобігання цим проблемам сировина перед екструзією проходить через етап сушіння. Для цього використовують сушильні камери або спеціальні сушарки для гранул, де здійснюється видалення вологи з матеріалу. У таких установках сировина перебуває під контролем температури та часу, що дозволяє досягти

оптимального рівня вологості, необхідного для подальшої обробки. Це важливий етап, оскільки навіть невелика кількість залишкової вологи може значно вплинути на якість готового філаменту, тому правильне сушіння є критичним для досягнення стабільних і високих результатів у виробництві.

Температурний режим сушіння залежить від типу пластику:

- Для PLA – 40–50°C.
- Для ABS – 60–80°C.
- Для PETG – 65–75°C.

Тривалість сушіння може варіюватися від кількох годин до доби залежно від початкового рівня вологості. Сушіння виконується за допомогою сушильного бункера який зображено на (рис. 2.1.2).



Рис. 2.1.2 – Сушильний бункер

3. Змішування компонентів

Процес змішування компонентів є одним із ключових етапів у виробництві пластикового філаменту, оскільки саме на цьому етапі формуються основні фізичні, механічні та естетичні властивості матеріалу. До основної сировини, яка зазвичай представлена полімерними гранулами, додаються різні домішки, що виконують спеціальні функції та дозволяють адаптувати філамент до конкретних умов експлуатації або завдань.

Однією з найпоширеніших домішок є барвники, які додаються для надання філаменту потрібного кольору. Барвники можуть бути органічними або неорганічними, і їхній вибір залежить від бажаних характеристик кінцевого продукту. Наприклад, органічні барвники забезпечують яскраві кольори, але менш стійкі до ультрафіолетового випромінювання, тоді як неорганічні забезпечують високу термостійкість і довговічність кольору.

Ще однією важливою групою домішок є стабілізатори. Ці речовини вводяться до складу для підвищення термостійкості філаменту, запобігання його деградації під впливом високих температур під час екструзії та подальшого 3D-друку. Стабілізатори також можуть підвищувати стійкість матеріалу до ультрафіолетового випромінювання, окиснення та впливу агресивних хімічних речовин, що є важливим для застосувань у зовнішньому середовищі або в промислових умовах.

Пластифікатори додаються для покращення гнучкості та міцності філаменту. Вони знижують крихкість матеріалу, роблячи його більш еластичним і стійким до механічних навантажень. Це особливо важливо для філаментів, які використовуються у виробництві складних геометричних форм, де потрібна висока деформаційна здатність без втрати цілісності.

Наповнювачі є ще однією категорією добавок, які розширюють функціональність філаменту, створюючи композитні матеріали. Наприклад, додавання деревного волокна дозволяє отримати матеріал із властивостями, схожими

на натуральне дерево, що широко використовується для декоративних або дизайнерських виробів. Металева пудра, своєю чергою, додає матеріалу підвищену міцність, термостійкість і властивості, що імітують метал, такі як блиск або електропровідність. Наповнювачі також можуть використовуватися для зменшення вартості матеріалу без значного зниження його якості.

Однорідність змішування є критично важливою для отримання якісного філаменту. Нерівномірний розподіл домішок може призвести до утворення зон з неоднорідними властивостями, що негативно впливає на процес друку та механічні характеристики готового виробу. Наприклад, недостатньо рівномірне змішування барвників може спричинити появу плям або зон з нерівномірним забарвленням, тоді як нерівномірний розподіл наповнювачів може знизити міцність або спричинити дефекти структури.

Для забезпечення високої якості змішування на цьому етапі використовуються спеціалізовані змішувальні установки, такі як екструдери зі співосними шнеками або високошвидкісні міксери. Ці пристрої забезпечують рівномірне перемішування компонентів завдяки інтенсивному переміщенню та стиску матеріалу, що дозволяє досягти однорідної консистенції суміші. Крім того, сучасні системи оснащені датчиками для контролю процесу змішування, які відслідковують параметри температури, швидкості обертання та інших важливих характеристик у режимі реального часу.

Таким чином, змішування компонентів є не просто етапом виробництва, а ключовим процесом, який визначає якість, функціональність і конкурентоспроможність готового філаменту. Інноваційні технології змішування, використання високоякісних домішок і автоматизований контроль параметрів процесу дозволяють створювати матеріали з широким спектром властивостей, які відповідають вимогам сучасної індустрії 3D-друку.

4. Перевірка якості сировини перед екструзією

Перевірка якості сировини перед екструзією є критичним етапом у виробничому процесі, оскільки від її результатів залежить якість та стабільність кінцевого продукту. Після завершення всіх попередніх етапів підготовки, таких як змішування компонентів і сушіння, сировина проходить ретельну перевірку для забезпечення її відповідності всім вимогам.

Одним із основних параметрів, на який звертається увага, є вологість матеріалу. Волога є одним із головних факторів, що впливають на якість філаменту. Якщо сировина містить надмірну кількість води, це може призвести до утворення бульбашок під час екструзії, що спричинить дефекти у кінцевому продукті, знижуючи його механічні властивості, міцність та гнучкість. Тому перед екструзією сировина повинна пройти процес сушіння до досягнення оптимального рівня вологості, що гарантує стабільність виробництва.

Ще одним важливим параметром є однорідність розміру частинок. Від цього залежить рівномірність подальшого процесу екструзії та якість філаменту. Нерівномірний розмір частинок може призвести до порушення стабільності потоку матеріалу через екструдер, що в свою чергу може спричинити дефекти у філаменті, як-от неоднорідні ділянки чи перепади товщини. Тому сировина перевіряється на наявність частинок різного розміру, щоб забезпечити їхню рівномірність.

Не менш важливим є і контроль якості змішування домішок. Якщо компоненти, як барвники, стабілізатори чи пластифікатори, не були добре змішані з основною сировиною, це може призвести до неоднотипних властивостей у філаменті. Наприклад, у місцях, де домішки змішані недостатньо, можуть виникати дефекти, такі як зміна кольору або нестабільність механічних властивостей. Тому рівномірне змішування всіх компонентів є обов'язковим для отримання продукції високої якості.

Останнім важливим аспектом перевірки є чистота матеріалу. Наявність сторонніх часток або забруднень, таких як пил, сміття або інші непотрібні елементи, може не лише погіршити зовнішній вигляд філаменту, але й негативно вплинути на

його експлуатаційні характеристики. Наприклад, забруднення можуть спричинити нерівномірну текстуру або знижувати адгезію між матеріалами, що призведе до зменшення міцності. Для цього сировина проходить процес фільтрації та очищення перед екструзією.

Таким чином, перевірка якості сировини перед екструзією є ключовим етапом для забезпечення високоякісного та стабільного виробництва філаменту, що відповідає вимогам технологічних процесів і кінцевим вимогам споживача.

2.3. Екструзія .

Екструзія є критичним етапом у виробництві пластикового філаменту для 3D-друку, оскільки саме на цьому етапі формується кінцевий продукт, що забезпечує необхідні властивості для подальшого використання у адитивному виробництві. Процес екструзії полягає в перетворенні полімерної сировини у нитку (філамент), що має точний діаметр і необхідну однорідність. Основними компонентами екструзійного процесу є екструдер, що генерує теплоту та тиск, а також спеціалізовані нагрівальні елементи, які дозволяють полімеру переходити в рідкий стан і проходити через форму для виготовлення філаменту.

Основні етапи екструзії

1. Завантаження сировини в екструдер

Підготовлена сировина (гранули або подрібнений пластик) є початковим етапом процесу екструзії, який забезпечує стабільність і якість кінцевого продукту. Вона подається у завантажувальний бункер екструдера, що є ключовим вузлом для забезпечення рівномірного потоку матеріалу. Для цього використовуються спеціалізовані системи автоматичної подачі, які мінімізують ризик зупинки процесу та гарантують безперервність роботи обладнання.

Перед завантаженням сировина може проходити попередню обробку, яка включає сушіння для видалення вологи, що може негативно вплинути на якість

екструзії, або додаткове нагрівання. Нагрівання покращує процес плавлення матеріалу, знижуючи його в'язкість і сприяючи рівномірному розподілу по гвинту екструдера. Завдяки цим заходам забезпечується оптимальна температура та консистенція матеріалу, необхідна для подальшого формування виробів.

Крім того, системи подачі можуть бути обладнані дозаторами, які дозволяють точно контролювати кількість додаткових компонентів, таких як барвники, стабілізатори чи інші добавки, що покращують властивості кінцевого продукту. Таким чином, ефективне подавання сировини є важливим етапом у виробничому процесі, який безпосередньо впливає на якість і характеристики готової продукції.

2. Плавлення та змішування матеріалу у зоні нагріву екструдера здійснюється шляхом поступового розплавлення сировини під впливом високої температури. Температурний режим варіюється залежно від типу використовуваного пластику. Наприклад, для PLA температура нагріву становить 190–220°C, для ABS — 220–260°C, а для PETG — 230–250°C.

Шнек (гвинт) екструдера відіграє ключову роль у цьому процесі, забезпечуючи рух матеріалу вздовж камери та створюючи необхідний тиск. У міру плавлення матеріал ретельно перемішується, що сприяє досягненню однорідної структури та високої якості кінцевого продукту.

3. Фільтрація розплавленого пластику для усунення можливих домішок або сторонніх частинок розплавлений матеріал проходить через спеціальні фільтри:

- Використовуються металеві сітки з дрібними отворами.
- Фільтрація забезпечує однорідність філаменту та запобігає засміченню 3D-принтера під час друку.

4. Процес формування нитки філаменту відбувається шляхом видавлювання розплавленого матеріалу через екструзійну головку, або формувальне сопло, яке визначає кінцевий діаметр філаменту. Залежно від вимог до готового продукту, діаметр сопла зазвичай становить 1,75 мм або 2,85 мм. Однорідність вихідної нитки

досягається завдяки високій точності конструкції екструдера, яка забезпечує рівномірне подавання матеріалу та підтримання стабільних параметрів процесу.

5. Регулювання швидкості екструзії

Регулювання швидкості екструзії є критичним етапом у процесі виготовлення філамента для 3D-принтерів, оскільки саме від цього залежить стабільність діаметра та якість кінцевого продукту. Швидкість обертання шнека екструдера та подачі матеріалу має бути чітко узгоджена, щоб уникнути надмірного або недостатнього розтягування нитки. Надмірне розтягування може призвести до зменшення діаметра філамента та його нерівномірності, що вплине на подальше використання у 3D-друку, тоді як недостатнє розтягування викликає збільшення діаметра, що також є неприйнятним для високоточного друку.

Для досягнення оптимального регулювання швидкості екструзії використовуються сучасні системи автоматичного контролю, які враховують взаємозалежність швидкості роботи екструдера та інших технологічних параметрів. Зокрема, такі системи моніторять і коригують швидкість обертання шнека на основі температури плавлення матеріалу, тиску всередині екструдера, а також на основі вимірювання діаметра філамента в реальному часі. Важливими інструментами в цьому процесі є датчики контролю температури та тиску, які передають дані до керуючого контролера. Керуючий пристрій, у свою чергу, здійснює регулювання швидкості приводу шнека за допомогою частотного перетворювача або регулятора швидкості.

Синхронізація подачі матеріалу та швидкості витягування нитки є ще одним ключовим аспектом регулювання. Після екструзії філамент проходить через охолоджувальну ванну, де його діаметр стабілізується. На виході з ванни встановлюється лазерний вимірювальний пристрій або датчик контролю діаметра, який передає зворотний сигнал у систему керування. Якщо виміряний діаметр відхиляється від встановлених значень, система автоматично коригує швидкість

втягування або обертання шнека для відновлення оптимальних параметрів. Це забезпечує стабільну якість продукції на всьому етапі виготовлення філамента.

Таким чином, завдяки автоматизованому регулюванню швидкості екструзії, система працює в режимі замкнутого циклу контролю, забезпечуючи узгодженість подачі матеріалу, роботи екструдера та втягування нитки. Це дозволяє досягти точного діаметра філамента, необхідного для 3D-друку, та мінімізує відхилення від стандартів якості.

Технічні аспекти та обладнання

Конструкція екструдера представлена на рис. 2.3.1 і включає кілька основних компонентів, кожен із яких виконує свою важливу функцію. Завантажувальний бункер слугує для подачі вихідного матеріалу у вигляді гранул, порошку або іншої форми. Зона нагріву забезпечує розплавлення матеріалу шляхом поступового нагрівання до необхідної температури. Для точного контролю процесу кожна зона нагріву оснащена окремими регуляторами температури, які дозволяють підтримувати оптимальні умови для екструзії.

Шнек виконує функцію транспортування матеріалу по циліндру екструдера, водночас здійснюючи його перемішування та додаткове розплавлення. На виході матеріал проходить через формувальне сопло, яке надає філаменту або іншому виробу необхідну форму.

Екструдери поділяються на одногвинтові та багатогвинтові. Одногвинтові моделі використовуються для обробки більшості стандартних матеріалів, тоді як багатогвинтові призначені для роботи зі складними або багатокомпонентними

матеріалами, що потребують ретельного перемішування і контролю параметрів процесу.

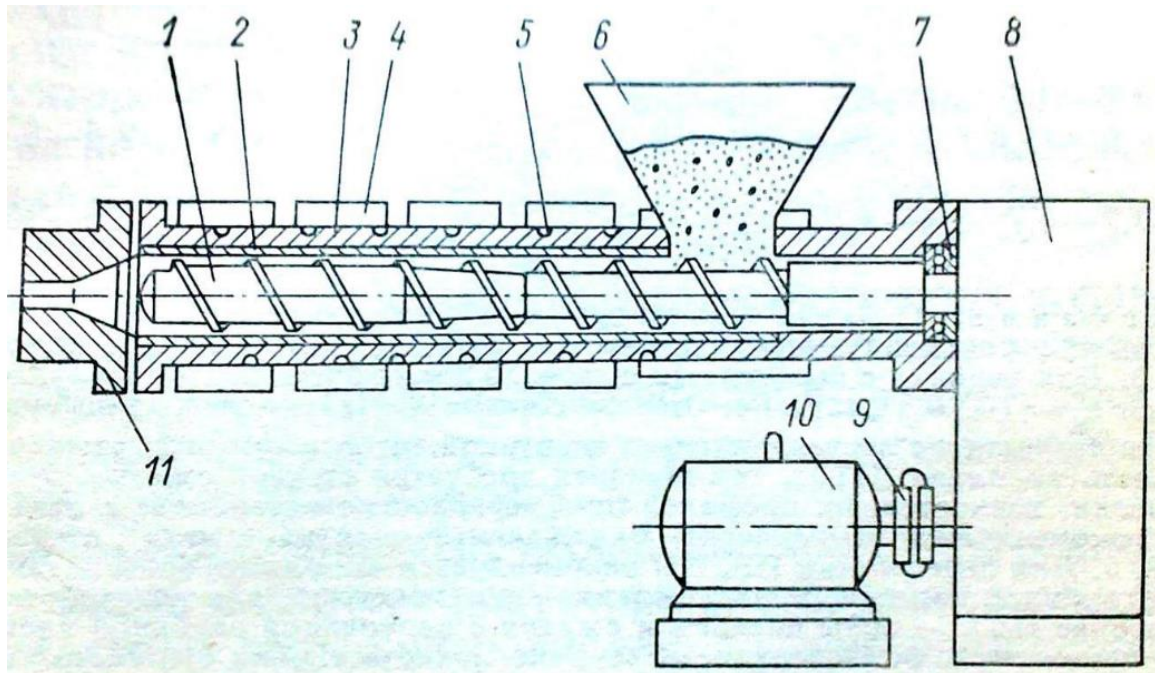


Рис. 2.3.1 - Конструкція екструдера (1-черв'як, 2-гільза, 3-циліндр, 4-хомутіві нагрівачі, 5-система охолодження, 6-завантажувальна воронка, 7-опорний підшипник, 8-редуктор, 9-муфта, 10-електродвигун, 11-формувальна головка)

Для запуску шнека використовується асинхронний двигун потужністю 11 кВт, який керується частотним перетворювачем Sako SKI600 на 11 кВт (зображено на рис.2.3.2). Частотний перетворювач є важливим елементом системи, оскільки він дозволяє забезпечити плавний та безпечний запуск двигуна, що є критичним для запобігання механічним пошкодженням і зниження навантаження на електричну мережу в момент старту. Це важливо, оскільки запуск асинхронних двигунів без контролю може спричинити короточасні високі пускові струми, які можуть призвести до пошкодження електричних компонентів або збільшення зносу обладнання. Частотний перетворювач Sako SKI600 дає змогу значно зменшити цей ефект, здійснюючи поступове збільшення частоти обертання шнека, що забезпечує м'який пуск і рівномірну роботу двигуна.



Рис.2.3.2 - Sako SKI600

Цей перетворювач також дозволяє точно регулювати швидкість обертання шнека, що є важливим для досягнення оптимальних умов екструзії в залежності від матеріалу та характеристик виробничого процесу. Система екструзії потребує постійного контролю швидкості, оскільки зміна швидкості обертання шнека може безпосередньо вплинути на якість філаменту, його діаметр та стабільність виробничого потоку. Частотник Sako SKI600 дозволяє безперервно налаштовувати частоту живлення від 0 до 50/60 Гц, що дозволяє досягти точності і гнучкості при виробництві філаменту для різних типів полімерів з різною в'язкістю. Це критично важливо для роботи з полімерними матеріалами, які можуть вимагати змін у швидкості екструзії залежно від їхніх фізико-хімічних властивостей.

Висока потужність двигуна 11 кВт забезпечує достатній запас потужності для підтримки стабільної роботи системи навіть при високих навантаженнях, що часто виникають у процесі екструзії. Це дає змогу системі працювати з різними видами матеріалів, від більш легких до високов'язких полімерів, без втрати продуктивності. Завдяки такому резерву потужності, система може ефективно справлятися з

коливаннями навантаження під час роботи, забезпечуючи безперебійну роботу без ризику перевантаження двигуна чи зупинки процесу.

Частотний перетворювач Sako SKI600 має вбудовані функції захисту двигуна, що включають обмеження перевантаження, автоматичне відключення при коротких замиканнях, а також контроль температури, що допомагає запобігти перегріву двигуна. Ці функції критично важливі для підтримки безпеки та надійності системи, оскільки вони захищають від можливих пошкоджень через несприятливі умови роботи або технічні збої. Крім того, частотний перетворювач оснащений сучасними протоколами зв'язку, що дозволяє інтегрувати його в загальну систему автоматизації виробництва. Це дає змогу здійснювати централізоване управління і моніторинг, забезпечуючи зручний доступ до налаштувань і можливість коригувати параметри роботи в реальному часі.

Завдяки такій конфігурації, система екструзії з асинхронним двигуном потужністю 11 кВт і частотним перетворювачем Sako SKI600 забезпечує високу продуктивність та надійність. Ці параметри особливо важливі для промислових ліній, де постійна і стабільна робота обладнання є ключовим фактором для забезпечення високої якості продукції та зниження витрат на обслуговування. Тривалий термін служби такого обладнання дозволяє знизити експлуатаційні витрати і забезпечити стабільну роботу навіть при інтенсивному використанні в складних виробничих умовах.

Контроль температури

Контроль температури є важливим аспектом процесу екструзії, оскільки від нього залежить якість і стабільність виготовленого філаменту. Для забезпечення стабільного плавлення матеріалу використовуються кілька нагрівальних зон, кожна з яких має індивідуальне регулювання температури. Це дозволяє точно контролювати температурний режим на кожному етапі екструзії, що необхідно для досягнення однорідної консистенції матеріалу.

Надмірне підвищення температури може призвести до деградації сировини, що негативно впливає на її механічні властивості, а також може спричинити утворення непотрібних хімічних сполук або змінити колір філаменту. З іншого боку, недостатня температура може призвести до нерівномірного плавлення матеріалу, що спричиняє утворення дефектів у філаменті, таких як неоднорідна товщина або низька міцність. Тому важливо підтримувати оптимальний температурний режим для забезпечення якісного та стабільного процесу екструзії.

Autonics TK4S (зображено на рис.2.3.3) - це високоточний цифровий температурний контролер, який поєднує в собі компактні розміри (48x48 мм) та широкий функціонал, що робить його універсальним рішенням для регулювання температури у промислових і автоматизованих процесах. Завдяки підтримці різних типів вхідних сигналів, таких як термопари (типи J, K, T, R, S та інші) і термостійкі термометри на основі RTD (наприклад, PT100), пристрій може застосовуватися для контролю температури в найрізноманітніших середовищах, включаючи системи нагрівання, охолодження та інші термічні процеси.

TK4S підтримує кілька варіантів виходів, серед яких релейні, напівпровідникові виходи (SSR) і аналогові сигнали, що дозволяє інтегрувати його в різноманітні конфігурації обладнання. Основною перевагою пристрою є використання PID-регулювання, яке забезпечує точне управління температурою за рахунок автоматичного налаштування параметрів пропорційного, інтегрального та диференціального компонентів. Для простіших задач контролер підтримує режим ON/OFF, що є зручним для систем, де не потрібна висока точність. Інтуїтивно зрозумілий подвійний LED-дисплей на передній панелі дозволяє одночасно бачити задану температуру і фактичне значення, що зручно для швидкого моніторингу процесу. Додатково TK4S має розширений температурний діапазон, який залежить від типу використовуваного датчика, що дає змогу застосовувати його в умовах високих або низьких температур.



Рис. 2.3.3 – Autonics TK4S

Пристрій побудований на основі високоякісних компонентів, що забезпечують його довговічність і стабільну роботу навіть у складних промислових умовах. Його компактний розмір полегшує монтаж у шафах керування, навіть у тих випадках, коли доступний простір обмежений.

Додатково TK4S має розширений температурний діапазон, який залежить від типу використовуваного датчика, що дає змогу застосовувати його в умовах високих або низьких температур. Таким чином, Autonics TK4S є надійним і гнучким рішенням для температурного контролю, що поєднує точність, зручність використання та можливості інтеграції в автоматизовані системи. Його застосування охоплює широкий спектр галузей, таких як харчова промисловість, термообробка, виробництво пластикових і хімічних матеріалів, а також інші процеси, де важливо забезпечити точне регулювання температури.

Для підключення контролера TK4S спочатку підготуйте все необхідне обладнання: сам контролер, датчик температури, наприклад термопару типу К або терморезистор RTD (Pt100), твердотільне реле SSR (зображено на рис. 2.3.6) для керування нагрівальним елементом та джерело живлення змінного струму 220В. Схема підключення обладнання до Autonics TK4S (зображено на рис. 2.3.4).

■ Connections

●TK4S series

Digital Input
Non-contact,
Contact Input

Current
DC0/4-20mA
Load 500Ω Max.

SSR
11VDC± 2V
20mA Max.

⚠ SOURCE
100-240VAC
50/60Hz 8VA

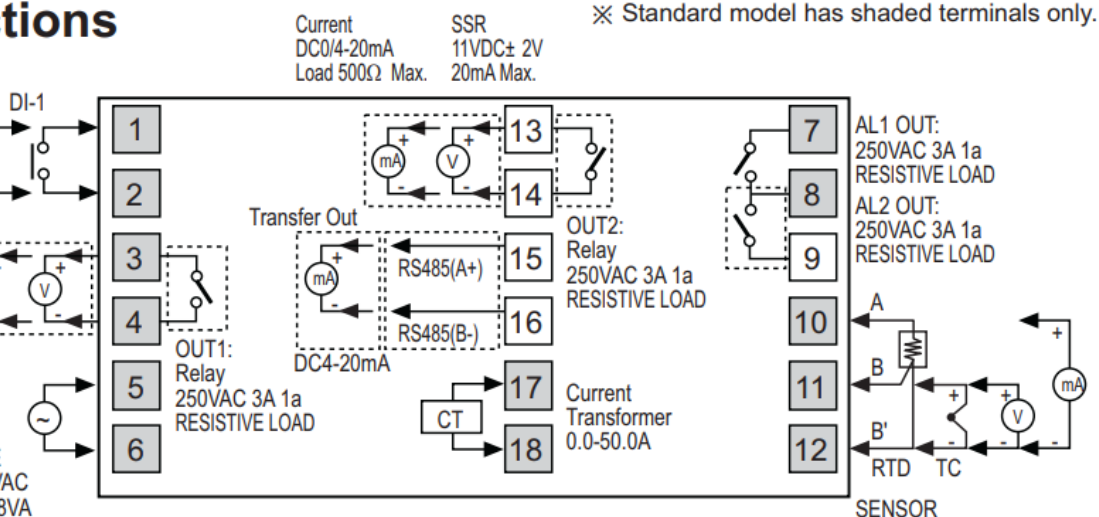


Рис. 2.3.4 – Схема підключення обладнання до TK4S

На задній панелі TK4S розташовані клеми для підключення. Спершу підключіть живлення: фазу L підключіть до клеми 5, а нейтраль N — до клеми 6. Далі підключіть датчик температури. Якщо використовується термопара типу К, підключіть позитивний вихід термопари до клеми 10 (A), а негативний — до клеми 11 (B), дотримуючись полярності.

Вихід для керування нагрівальним елементом залежить від типу виходу на вашому контролері. Якщо використовується SSR-вихід, підключіть клему 13 (+) до входу “+” на твердотільному реле, а клему 14 (-) - до входу “-” SSR. Далі вихід SSR-реле підключіть до вашого нагрівального елемента та джерела живлення 220В.

Для додаткових функцій можна використовувати аварійні виходи або сигналізацію. Для цього підключіть сигнальний пристрій до виходів AL1 (клеми 7 та 8) або AL2 (клеми 8 та 9), які можуть вмикати індикатор чи сирену при досягненні

заданих умов. Якщо необхідно контролювати струм у навантаженні, можна підключити трансформатор струму до клем 17 та 18, що дозволяє вимірювати струм до 50А.

Після завершення підключення увімкніть живлення, і контролер ТК4S запуститься, відобразивши поточну температуру на дисплеї. Для налаштування натисніть кнопку SET, виберіть тип датчика температури, наприклад “К” для термопари, та встановіть бажане значення температури у параметрі SP (Set Point). Далі налаштуйте PID-параметри вручну або скористайтесь функцією автоматичного налаштування Auto-Tune для оптимізації керування нагрівальним процесом.

Доступ до меню параметрів ТК4S здійснюється шляхом натискання кнопки SET. Для переходу між параметрами використовуємо кнопки ▼ (вниз) та ▲ (вгору). Для того щоб підтвердити наш вибір в кожному параметрі натискаємо SET.

Після входу в меню першим параметром буде вибір типу датчика температури (SN) : 0 – термопара типу К, 1 – термопара типу J, 2 – Терморезистор RTD.

Встановлення бажаної температури відповідає параметр (SV). Використовуючи кнопки ▼ (вниз) та ▲ (вгору) виставляємо значення температури.

ТК4S підтримує налаштування PID-регулювання. Р (пропорційний) – впливає на швидкість реакції регулятора, І (інтегральний) – усуває постійне відхилення між заданою температурою та реальною, D (диференційний) – згладжує коливання температури, запобігаючи різким змінам.

Для запуску автоматичного налаштування (Auto-Tune), потрібно встановити значення 1. Де 1 – Auto-Tune увімкнено , а 0 – Auto-Tune вимкнено.

Під час автоматичного налаштування на екрані ТК4S з’явиться індикатор АТ. По завершенню налаштування параметр АТ автоматично повернеться до 0.



Рис. 2.3.5 – Адаптер

Адаптер USB TO RS485/422 (зображено на рис. 2.3.5) - є універсальним пристроєм, призначеним для перетворення сигналів USB у сигнали стандартів RS485 або RS422, які широко використовуються в промислових системах для забезпечення надійного обміну даними. Цей адаптер дозволяє підключати сучасні комп'ютери або інші пристрої з інтерфейсом USB до обладнання, яке використовує RS485 або RS422, забезпечуючи сумісність між різними стандартами передачі даних. Головною перевагою цього пристрою є наявність ізолюваного перетворювача, який забезпечує електричну ізоляцію між пристроєм і системою передачі даних. Це захищає від впливу шумів, перешкод і потенційних електричних перенапруг, які можуть виникнути в промисловому середовищі через індуктивні або електромагнітні впливи. Завдяки цьому адаптер сприяє стабільній і безпечній роботі навіть у складних умовах експлуатації.



Рис. 2.3.6 - Твердотільне реле SSR

Твердотільне реле (SSR, Solid State Relay) є важливим електронним компонентом, який використовується для керування електричними ланцюгами без використання механічних контактів. На відміну від традиційних реле, які складаються з рухомих контактів, твердотільні реле використовують напівпровідникові елементи, такі як транзистори, діоди або тиристори, для комутації електричного струму. Це дає їм низку значних переваг, серед яких триваліший термін служби, швидка реакція та зниження рівня електричних шумів, що виникають під час комутації.

Основною перевагою твердотільних реле є відсутність механічних контактів, що значно знижує знос і підвищує надійність пристрою. Оскільки немає рухомих частин, реле не схильне до фізичного зношування або відмов, яке характерне для традиційних реле з механічними контактами. Це робить SSR більш ефективними та довговічними в умовах інтенсивної експлуатації, зменшуючи потребу в обслуговуванні і знижуючи ймовірність поломок.

Термопара типу К є одним із найпоширеніших датчиків температури, що використовується у промисловості, наукових дослідженнях та побутових пристроях. Принцип роботи термопари базується на термоелектричному ефекті Зеебека, який полягає у виникненні різниці потенціалів між кінцями двох різнорідних провідників, з'єднаних у спільний спай, коли місця з'єднання піддаються різним температурам. Ця різниця потенціалів виникає через нерівномірний розподіл енергії носіїв заряду в металах при нагріванні або охолодженні, що призводить до появи електрорушійної сили (ЕРС). Коефіцієнт пропорційності між різницею температур і термо-ЕРС називається коефіцієнтом термо-ЕРС, і він є індивідуальним для кожного металу. Саме через різницю коефіцієнтів термо-ЕРС у різних провідників виникає різниця потенціалів, яка змінюється пропорційно температурній різниці. Таким чином, термопара складається з двох різнорідних провідників, з'єднаних у точці вимірювання (робочий спай). Один кінець термопари поміщають у середовище з вимірюваною температурою, тоді як інший залишається при постійній температурі (холодний спай). Різниця потенціалів, що виникає на вільних кінцях термопари, вимірюється і перетворюється в значення температури за допомогою відповідних калібрувальних залежностей або електронних приладів.



Рис. 2.3.7 - Термопара тип К

Автоматизація процесу сучасної лінії екструзії оснащені системами автоматичного контролю, які регулюють основні параметри:

Автоматизація процесу є невід’ємною частиною сучасних ліній екструзії, що значно підвищує ефективність виробництва філаменту, стабільність процесу і якість кінцевого продукту. Завдяки впровадженню передових систем автоматичного контролю, оператори можуть точно регулювати основні параметри виробничого процесу в режимі реального часу, що дозволяє уникати відхилень і забезпечувати стабільну роботу обладнання. Одним із ключових аспектів автоматизації є регулювання температури в зоні нагріву, за допомогою PID-терморегулятора . Лінії екструзії оснащені кількома нагрівальними зонами, кожна з яких має індивідуальні датчики і хомутові нагрівачі (зображено на рис. 2.3.8). Це дозволяє підтримувати оптимальну температуру на різних етапах плавлення сировини. Точний температурний контроль важливий для запобігання перегріву або недостатнього нагріву матеріалу, які можуть призвести до дефектів у структурі філаменту, таких як бульбашки, неоднорідна текстура або зниження механічних властивостей.



Рис. 2.3.8 - Хомутові нагрівачі

Хомутові нагрівачі є важливим компонентом в багатьох промислових процесах, де необхідно нагрівати певні елементи обладнання або забезпечити підтримку стабільної температури в технологічних процесах. Вони працюють за принципом нагріву за допомогою електричного струму, що протікає через резистивний елемент, який генерує теплоту через електричний опір. Основним завданням хомутових нагрівачів є забезпечення рівномірного прогріву поверхні об'єкта, до якого вони приєднані, що дозволяє підтримувати необхідну температуру для подальших технологічних операцій.

Робочий процес хомутового нагрівача починається з того, що через резистивний нагрівальний елемент, зазвичай виготовлений із матеріалів, таких як ніхром або константан, пропускається електричний струм. Цей елемент має високу електричну опірність, що призводить до перетворення електричної енергії в теплоту. Тепло передається безпосередньо до поверхні, яку охоплює хомут, забезпечуючи її нагрів. Зазвичай елемент, який нагрівається, може бути виготовлений із металу, пластику або інших матеріалів, в залежності від специфікації технологічного процесу.

Нагрівальний елемент поміщається всередину хомута, який охоплює певну частину обладнання, таку як труби, балони або корпуси екструдерів. Металевий корпус хомута виготовляється зі сталі, нержавіючої сталі або алюмінію, що забезпечує високу стійкість до корозії та механічних пошкоджень. Його форма дозволяє рівномірно розподіляти тепло по поверхні та утримувати теплоізоляцію, що сприяє підвищеній ефективності. Важливим аспектом є конструкція, яка дозволяє швидко встановлювати та знімати хомутовий нагрівач, що робить його дуже зручним для експлуатації в різних виробничих умовах.

Температурний контроль у хомутових нагрівачах здійснюється за допомогою вбудованих термостатів або термопар, які постійно моніторять температуру нагріву. Це дозволяє точно налаштувати і підтримувати бажану температуру, а також запобігти перегріву або недостатньому нагріванню. Хомутові нагрівачі здатні працювати в широкому діапазоні температур, що залежить від характеристик

матеріалів, з яких вони виготовлені. У процесах, де необхідно забезпечити точне і стабільне нагрівання, таких як екструзія пластикового філаменту для 3D-друку, це є критичним параметром. Для покращення теплопередачі та зниження теплових втрат хомутові нагрівачі часто оснащуються термостійкими ізоляційними матеріалами, які обмежують втрати тепла в навколишнє середовище. Це також дозволяє підвищити ефективність роботи нагрівача, скорочуючи споживання енергії. Ізоляційний матеріал допомагає підтримувати рівномірну температуру на поверхні об'єкта, який обігрівається, і забезпечує стабільну роботу пристрою.

Хомутові нагрівачі часто використовуються в екструзійних установках, печах, вакуумних камерах, а також для нагрівання труб, валів і інших компонентів, де необхідний стабільний і точний контроль температури. Завдяки своїй конструкції і принципу роботи, вони є одним з найбільш ефективних та універсальних засобів для нагріву у промислових умовах.

Також автоматично контролюється обертання шнека. Шнек - це основний робочий елемент екструдера, який відповідає за транспортування, змішування і рівномірне плавлення матеріалу. Від швидкості його обертання залежить стабільність процесу екструзії, а також рівномірність подачі розплавленого матеріалу в формувальну зону. Система автоматизації дозволяє динамічно коригувати ці параметри залежно від типу сировини, її властивостей і заданих параметрів кінцевого продукту.

Всі ці процеси контролюються та регулюються за допомогою центральної панелі керування. Панель керування, зображена на (рис. 2.3.9), є інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, що дозволяє операторам в режимі реального часу стежити за ключовими параметрами процесу, такими як температура, швидкість обертання шнека та навіть стан охолодження. Крім того, панель має функції автоматичних попереджень, які інформують про відхилення параметрів або несправності, що дозволяє оперативно реагувати та уникати зупинок виробництва.

Завдяки високому рівню автоматизації процесу, сучасні лінії екструзії забезпечують стабільність якості філаменту навіть при великих обсягах виробництва. Це особливо важливо для зменшення кількості браку, підвищення енергоефективності та оптимізації витрат, що в кінцевому результаті робить процес виробництва більш надійним, економічним.



Рис. 2.3.9 - Панель керування

Особливості екструзії різних матеріалів

Екструзія різних матеріалів для виробництва філаменту є процесом, що вимагає специфічних налаштувань обладнання для кожного типу пластику, оскільки їх фізичні та хімічні властивості відрізняються. Для PLA, який є одним із найпоширеніших матеріалів, важливим є точний контроль температури, оскільки цей пластик легко плавиться при відносно низькій температурі, але надзвичайно чутливий до перегріву. Перевищення оптимального температурного діапазону може викликати його термічну деградацію, ламкість та втрату однорідності філаменту. Для уникнення утворення кристалічної структури необхідно ретельно контролювати температуру на всіх етапах процесу. Подача матеріалу в екструдері повинна бути рівномірною, а система охолодження має забезпечити плавний перехід від розплавленого стану до твердого, щоб запобігти деформації нитки. Крім того,

сировину PLA слід попередньо висушувати, оскільки волога призводить до утворення бульбашок та дефектів на поверхні готового філамента.

У випадку з ABS необхідно працювати при вищих температурах, оскільки матеріал плавиться в діапазоні від 220 до 260°C. Температурний режим має бути стабільним, оскільки будь-які коливання можуть викликати розшарування нитки чи її неоднорідність. ABS є більш в'язким матеріалом, тому вимагає вищого тиску екструзії, а швидкість подачі повинна бути налаштована так, щоб уникнути пульсацій чи дефектів. Важливою особливістю є виділення токсичного стиролу під час екструзії, що супроводжується характерним запахом. Тому процес має проходити у добре вентильованому приміщенні або з використанням витяжних систем, щоб запобігти накопиченню шкідливих випарів.

PETG також має свої особливості, зокрема високий коефіцієнт в'язкості, що робить процес екструзії більш чутливим до налаштувань швидкості подачі. Важливо забезпечити рівномірний потік матеріалу для уникнення нерівностей або дефектів у філаменті. PETG плавиться при відносно помірній температурі, однак після формування нитки необхідно особливо ретельно контролювати процес охолодження. Неправильне або занадто швидке охолодження може призвести до деформації філамента, втрати його геометричних характеристик і погіршення якості кінцевого продукту. Таким чином, кожен із цих матеріалів потребує індивідуальних параметрів виробництва, точного контролю процесу та відповідного підходу до охолодження й вентиляції.

Переваги якісної екструзії

Стабільність діаметра нитки є критичним параметром для досягнення високої точності друку. Відхилення діаметра філаменту повинно бути мінімальним, зазвичай в межах $\pm 0,02$ мм, щоб забезпечити рівномірний розподіл матеріалу під час екструзії та гарантовану якість кінцевого продукту.

Однорідність матеріалу також є важливою характеристикою. Вона включає відсутність бульбашок повітря, сторонніх частинок чи зон з неоднорідною структурою, які можуть виникнути в процесі виробництва. Такі дефекти значно погіршують властивості філаменту, знижуючи його механічні характеристики та зовнішній вигляд.

Енергоефективність процесу екструзії також відіграє важливу роль. Оптимізація температурного режиму і налаштування екструзійного обладнання дозволяють знизити споживання енергії, що не тільки скорочує витрати на виробництво, але й робить процес більш сталим та екологічно дружнім.

2.4. Формування нитки

Формування нитки є одним із ключових етапів виробництва філамента для 3D-друку, оскільки саме на цьому етапі матеріал отримує свою кінцеву форму, діаметр та внутрішню структуру. Основною метою процесу є забезпечення стабільного та точного діаметра філамента, оскільки від цього залежить його подальша придатність для 3D-друку, сумісність із принтерами та якість друкованих виробів.

Процес формування починається з того, що розплавлений матеріал, підготовлений у екструдері, проходить через формувальну головку, яка також називається соплом. Сопло відіграє вирішальну роль у визначенні попереднього діаметра нитки, який зазвичай стандартизований і становить 1.75 мм або 2.85 мм залежно від потреб кінцевого користувача та технічних характеристик 3D-принтера. Діаметр, що виходить на цьому етапі, ще не є остаточним, оскільки матеріал залишається розігрітим і пластичним. Під дією сили тяжіння та натягу він може дещо деформуватися, тому важливо вжити заходів для його стабілізації та точного калібрування.

Після виходу з сопла сформована нитка надходить у систему охолодження, де відбувається її стабілізація та затвердіння. Найбільш поширеним методом охолодження є використання водяних ванн (зображено на рис. 2.4.1), оскільки вони забезпечують швидке та рівномірне зниження температури матеріалу. Водяні ванни

є критичним елементом виробничої лінії, оскільки їхня ефективність безпосередньо впливає на якість і точність кінцевого філамента. Вони працюють за принципом занурення нитки у воду, яка відводить надлишкове тепло, поступово знижуючи температуру матеріалу до стану, в якому він повністю стабілізується.

Температура води у ваннах відіграє ключову роль в охолодженні та контролюється системою автоматичного регулювання. Залежно від властивостей матеріалу та швидкості виробництва, температура води зазвичай підтримується в межах 15-30°C. Для досягнення оптимальних результатів у деяких системах передбачено як підігрів, так і охолодження води. Підігрів води використовується для уникнення надто різкого охолодження, яке може призвести до внутрішніх напружень у матеріалі або його розтріскування, особливо при роботі з чутливими матеріалами, такими як PLA. Охолодження води застосовується в умовах інтенсивного виробництва або при роботі з термостійкими матеріалами, такими як ABS або PETG, які потребують стабільного й ефективного відведення тепла.

Окрім температури води, важливо контролювати і швидкість проходження нитки через водяну ванну. Занадто повільне охолодження може призвести до деформацій і зміни діаметра філамента, тоді як надто швидке охолодження може викликати структурні дефекти, такі як мікротріщини або внутрішні напруження. Щоб забезпечити рівномірне охолодження по всій довжині нитки, водяні ванни часто обладнуються системами циркуляції води, що забезпечує постійний рух і рівномірний контакт охолоджувальної рідини з поверхнею філамента.

На виході з водяної ванни нитка філамента вже достатньо охолоджена та затверділа, щоб зберігати свою форму і діаметр. У цей момент важливо перевірити її геометричні параметри за допомогою лазерних датчиків або інших вимірювальних пристроїв, які відстежують діаметр філамента в режимі реального часу. Отримані дані передаються до системи контролю, яка може автоматично коригувати швидкість подачі матеріалу в екструдері або температуру охолодження для забезпечення стабільності виробництва.

Таким чином, процес формування нитки та її охолодження у водяній ванні є критично важливим для отримання високоякісного філамента. Точний контроль

температури, швидкості охолодження та діаметра забезпечує необхідну однорідність і структурну цілісність матеріалу, що робить його придатним для подальшого використання у 3D-друці. Водяні ванни (зображено на рис. 2.4.1), як один із найбільш ефективних методів охолодження, відіграють ключову роль у стабілізації матеріалу та гарантують отримання якісного кінцевого продукту.

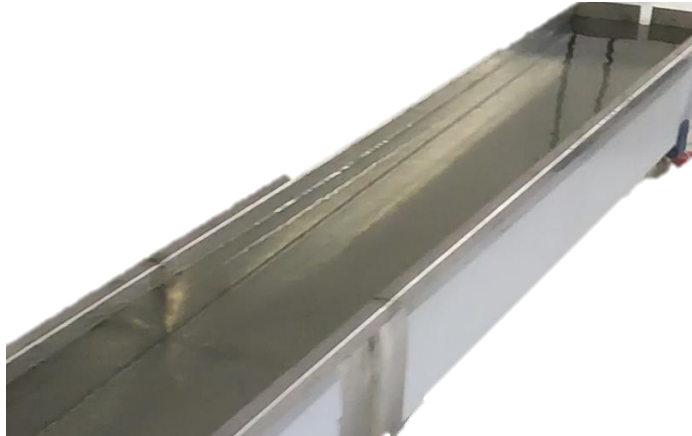


Рис. 2.4.1 – Ванна охолодження філаменту

2.5. Калібрування та контроль діаметра за допомогою лазерних систем

Калібрування та контроль діаметра філаменту є одним із найважливіших етапів виробничого процесу, який безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції. Діаметр філаменту має вирішальне значення для стабільності процесу 3D-друку, адже навіть незначні відхилення можуть спричинити проблеми з екструзією, порушення точності друку та несумісність із параметрами більшості 3D-принтерів. Висока точність діаметра забезпечує рівномірну подачу матеріалу через сопло екструдера, що критично важливо для створення деталізованих моделей із передбачуваними характеристиками.

У процесі виробництва філаменту його діаметр повинен підтримуватися в чітко визначених межах. Зазвичай це значення відповідає міжнародним стандартам, які регламентують максимально допустимі відхилення не більше $\pm 0,02$ мм від номінального діаметра (наприклад, 1,75 мм або 2,85 мм). Дотримання цих стандартів дозволяє філаменту залишатися сумісним із різними моделями 3D-принтерів, гарантуючи їх стабільну роботу. Відхилення від зазначених значень може призводити до небажаних наслідків, таких як засмічення сопла, недостатня подача матеріалу або нерівномірне нанесення шарів.

Процес калібрування включає встановлення оптимальних параметрів виробництва, що забезпечують відповідність філаменту заданому діаметру. Це стосується налаштування температури екструзії, яка впливає на в'язкість матеріалу, і швидкості подачі, яка визначає, наскільки рівномірно матеріал виходить із екструдера. Навіть найменші зміни цих параметрів можуть призвести до порушень у стабільності діаметра філаменту, тому калібрування дозволяє швидко виявляти і виправляти такі відхилення в режимі реального часу.

Контроль діаметра філаменту здійснюється за допомогою сучасних технологій. Найточнішим методом для цього є використання лазерних вимірювальних пристроїв. Ці системи працюють на основі безконтактного вимірювання, що дозволяє отримувати високоточні дані про діаметр у режимі реального часу без перерв у виробничому процесі. Лазерні сенсори створюють багатоточковий профіль філаменту, визначаючи його точний діаметр на всій довжині з точністю до мікрометрів. Такий рівень точності дозволяє не лише забезпечити відповідність стандартам, а й підтримувати стабільну якість продукції впродовж усього виробничого циклу.

Система лазерного контролю також оснащена механізмами автоматичного коригування параметрів процесу. Наприклад, якщо вимірювання виявляють відхилення в діаметрі, система може автоматично регулювати температуру нагрівальних зон або швидкість подачі матеріалу для усунення проблеми. Це дозволяє мінімізувати кількість браку та підвищити ефективність виробництва.

На зображенні (рис. 2.5.1) показано лазерну вимірювальну систему, яка забезпечує високоточний контроль діаметра філаменту. Пристрій аналізує перетин матеріалу на різних етапах процесу, що дозволяє виявляти навіть найменші відхилення. Завдяки використанню таких технологій виробники можуть гарантувати, що кожна партія філаменту відповідатиме високим стандартам якості та буде придатною для використання у складних і точних завданнях 3D-друку.

Таким чином, калібрування та контроль діаметра філаменту є не лише ключовим технологічним етапом, а й важливою частиною забезпечення надійності та якості кінцевого продукту. Використання сучасного обладнання, такого як лазерні

вимірювальні системи, дозволяє досягати високої точності, знижувати витрати на виробництво та забезпечувати стабільність 3D-друку для кінцевих споживачів.



Рис.2.5.1 – LDM-25XY

LDM-25XY, як лазерний датчик, можна використовувати для вимірювання діаметра об'єктів, зокрема філаменту, за допомогою лазерного променя. У цьому випадку датчик працює на основі безконтактного методу вимірювання, аналізуючи геометричні параметри об'єкта. Для вимірювання діаметра філаменту LDM-25XY встановлюється таким чином, щоб його лазерний промінь перетинав об'єкт, а система реєструвала час проходження променя або блокування його частини. За допомогою спеціального алгоритму можна обчислити діаметр філаменту, враховуючи відстань до об'єкта і тривалість перешкоди лазерному променю.

2.6. Механізм натягу та протяжки філаменту

Механізм натягу та протяжки (зображено на рис.2.6.1) філаменту є ключовим вузлом в системі виробництва пластикової нитки для 3D-друку. Його головна задача полягає в забезпеченні стабільного натягу та контрольованого переміщення філаменту через всі етапи технологічного процесу. Це дозволяє зберігати стабільність геометричних розмірів нитки, уникати її обривів або надмірного натягу та підтримувати синхронізацію з іншими елементами лінії.

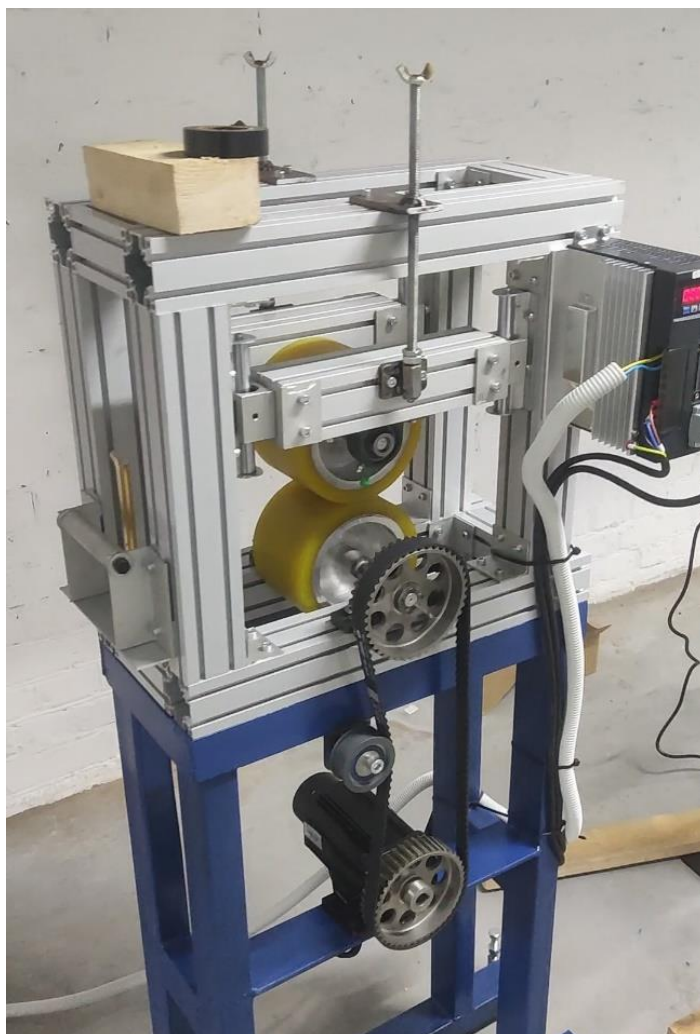


Рис. 2.6.1 – Механізм натягу та протяжки

Основною складовою механізму є пара роликів, між якими проходить нитка філаменту. Один з цих роликів є активним, тобто приводиться в рух серводвигуном. Другий ролик – пасивний, його задача полягає у створенні необхідного стискаючого зусилля для утримання філаменту. Активний ролик, зазвичай, має точне регулювання швидкості обертання, що забезпечується серводвигуном та серводрайвером. Це дозволяє синхронізувати швидкість руху філаменту з темпом роботи екструдера, охолоджувальної ванни та намотувального механізму.

Щоб уникнути змін у натягу нитки або її деформацій, до складу механізму входить система контролю натягу. Вона складається з датчиків натягу (позначаються як LS), які безперервно реєструють силу натягу філаменту. Ці дані передаються до блоку управління (LC), який аналізує отриману інформацію та коригує параметри роботи електродвигуна або стискаючого механізму роликів. Такий підхід дозволяє

забезпечити адаптацію системи до властивостей різних полімерів, таких як PLA, ABS, PETG чи нейлон, а також до їхніх температурних режимів і в'язкості.

Додатково в систему можуть бути включені амортизуючі або демпфуючі вузли для стабілізації руху нитки. Ці елементи згладжують нерівності у натягу, викликані, наприклад, коливаннями швидкості екструдера або температурними коливаннями матеріалу.

Особливо важливою є функція регулювання зусилля стискання між роликами. Занадто велике стискання може призвести до деформації нитки або її пошкодження, або надто слабке - до прослизання філаменту, що порушує стабільність виробничого процесу. У сучасних системах цей параметр часто налаштовується автоматично відповідно до сигналів від блоку керування або вручну оператором.

Уся система протяжки працює в тісному зв'язку з іншими елементами виробничої лінії. Відточена робота механізму натягу та протяжки гарантує безперебійну роботу лінії виготовлення філаменту, високу якість готового продукту та мінімізацію втрат матеріалів під час виробництва.

Серводвигун (зображено на рис. 2.6.2) - це електричний двигун, що використовується для точного управління положенням, швидкістю та обертальним моментом. Завдяки системі зворотного зв'язку він здатний забезпечувати високу точність і стабільність роботи, реагує на зміни навантаження та виконує команди з максимальною швидкістю та точністю. Серводвигуни відрізняються компактними розмірами, високою ефективністю, швидким розгоном і гальмуванням, а також низьким рівнем шуму, що робить їх незамінними в таких сферах, як автоматизація, верстати з ЧПК, робототехніка, транспортні системи, медичне обладнання та інші галузі, що потребують високої точності. Цей двигун є важливою складовою сервоприводних систем і зазвичай працює в парі з драйвером і датчиком, які контролюють його параметри.

Серводрайвер (зображено на рис. 2.6.3) - це електронний пристрій, який керує роботою серводвигуна і забезпечує точне управління його положенням, швидкістю та обертальним моментом. Серводрайвер також обробляє дані зі зворотного зв'язку, що

надходять від датчиків двигуна, таких як енкодери або тахометри, і забезпечує корекцію роботи для досягнення максимальної точності.



Рис. 2.6.2 – серводвигун 90ST-M04025

Характеристики:

- Номінальна потужність – 1 кВт
- Номінальна напруга – 220V (1 або 3 фази)
- Номінальний струм – 4 А
- Номінальна швидкість – 2500 об/хв
- Номінальний обертальний момент – 4 Н.м
- Максимальний обертальний момент – 12 Н.м
- Постійна напрога – 60V при 1000 об/хв
- Коефіцієнт крутного моменту – 0.9 Н.м на 1А
- Роздільна здатність енкодера – 10000 PPR
- Вага – 4.13кг
- Момент інерції ротора – 3.7×10^{-4} кг $\times$ м²
- Умови експлуатації :
Температура від 20 до +50 С°
Вологість менше 90%



Рис. 2.6.3 – серводрайвер 90ST-M04025

Характеристики :

- Номінальний струм – 4.4А
- Номінальна потужність – 1кВт
- Номінальна напруга – 220V (3 фази)
- Піковий струм – 20 А
- Частота – 50-60 Гц
- Датчик зворотнього зв'язку – 2500 P/R (імпл/об)
- Вага – 2.2 кг

2.7 Намотувальний механізм

Механізм намотки є важливим компонентом у виробничих системах, особливо там, де необхідно акуратно змотувати довгомірні матеріали, такі як плівка, дріт, текстиль, або філамент для 3D-принтерів. Цей механізм забезпечує правильне

формування котушки, рівномірний натяг матеріалу і високу якість намотування, що є критичним для подальшого використання продукції.

Робота механізму намотки ґрунтується на синхронізованій взаємодії приводу, системи натягу і системи керування. Привід забезпечує обертання котушки, на яку намотується матеріал. У сучасних механізмах використовуються двигуни постійного або змінного струму з високоточним регулюванням швидкості. Це дозволяє контролювати швидкість обертання залежно від швидкості подачі матеріалу, його товщини або фізичних властивостей. Важливим елементом є система натягу, яка підтримує стабільний тиск матеріалу на котушку, що запобігає його провисанню або надмірному натягу, які можуть призвести до пошкодження матеріалу.

Для рівномірного намотування механізм оснащується системою направляючих кареток. Ці каретки переміщуються поперек осі обертання котушки, забезпечуючи правильне укладання матеріалу шар за шаром. Вони можуть працювати за принципом механічного переміщення або за допомогою електронних систем керування, таких як серводвигуни. Це особливо важливо для матеріалів, чутливих до деформацій, адже неправильне намотування може призвести до нерівномірного натягу та пошкодження.

Система керування є центральним елементом механізму намотки. Для забезпечення роботи інтерфейсу та зручності його використання. Також для швидкої розробки застосунку було обрано Raspberry pi4. Вона має величезний апаратний функціонал. Також для швидкої розробки застосунку.

Механізм намотки містить датчики натягу і датчики швидкості, що стежать за швидкістю намотування і подачі матеріалу. Якщо будь-який із параметрів виходить за межі заданих, система керування автоматично регулює обертання котушки або натяг, щоб забезпечити оптимальні умови.

Додатковим елементом сучасних механізмів намотки є системи зворотного зв'язку, які забезпечують моніторинг якості намотування в реальному часі. Вони

використовують лазерні або оптичні датчики для перевірки правильності укладання матеріалу. Це дозволяє не лише попереджати дефекти, але й автоматично коригувати процес, якщо виявлені проблеми. У промислових умовах такі системи підвищують продуктивність і зменшують кількість браку.

Загалом механізми намотки можуть бути оснащені додатковими функціями, такими як автоматична зміна котушок після завершення намотування або синхронізація з іншими етапами виробничого процесу. Завдяки цим можливостям механізми намотки є універсальним інструментом, що забезпечує ефективне використання матеріалів, зменшення втрат і підвищення якості продукції.

Вибір обладнання та технологій: сенсори, виконавчі механізми, контролери, інтерфейси

Для зчитування ключових параметрів використовуються оптичні енкодери (зображено на рис.2.7.1). Оптичні інкрементні енкодери мають ряд переваг, завдяки яким вони стали популярним вибором у промисловості, робототехніці та інших сферах, що потребують високої точності. Завдяки можливості швидкого зчитування оптичного сигналу, інкрементні енкодери здатні ефективно працювати на високих швидкостях обертання, забезпечуючи при цьому збереження високої точності вимірювань. Це робить їх незамінними для використання в системах, що потребують максимально швидкого реагування, таких як серводвигуни, конвеєрні лінії, системи автоматизованого складання та інші механізми з динамічними навантаженнями. Ключовою перевагою оптичних енкодерів є відсутність прямого контакту між сенсором і рухомою частиною, наприклад, диском. Завдяки цьому значно знижується механічний знос компонентів, що, своєю чергою, підвищує надійність і збільшує термін служби пристрою навіть у складних умовах експлуатації.

Використання оптичних методів зчитування забезпечує високий рівень стійкості до механічних похибок, таких як люфти, вібрації або зсуви. Це дозволяє уникнути втрати точності навіть при роботі в умовах значних навантажень, де

магнітні або механічні енкодери можуть виявитися менш ефективними. Крім того, оптичні енкодери характеризуються високою роздільною здатністю, що дає змогу застосовувати їх у робототехніці, медичних пристроях і системах автоматизації, які вимагають надзвичайної точності позиціонування та контролю руху.



Рис.2.7.1 – Використаний оптичний енкодер

Для визначення нульової позиції каретки використано індуктивний датчик. Індуктивні датчики (зображено на рис. 2.7.2) відомі своєю високою точністю та надійністю, що робить їх ідеальним вибором для задач, які потребують чіткого визначення положення. Завдяки принципу роботи, вони не мають механічного контакту з об'єктом, що мінімізує знос і забезпечує тривалий термін служби. Індуктивні датчики також мають високу стійкість до пилу, вологи та механічних впливів, що дозволяє їм працювати у складних промислових умовах. У даному випадку їх використання для визначення нульової позиції каретки забезпечує точне калібрування системи, знижуючи ймовірність похибок під час роботи.



Рис. 2.7.2 – Індуктивний датчик

Його технічні характеристики:

- Вихідний сигнал: NPN, нормально відкритий;
- Вихідний струм: 300 мА;
- Відстань спрацювання: 5 мм;
- Частота: 300 Гц;
- Живлення: 6-36 В;
- Різьба: M12.

Для забезпечення роботи інтерфейсу та зручності його використання, а також для прискорення розробки застосунку, було обрано Raspberry Pi 4 (зображено на рис. 2.7.3). Цей пристрій відзначається розширеним апаратним функціоналом. Raspberry Pi 4 Model B демонструє значно підвищену швидкість процесора, покращену

продуктивність мультимедіа, більший обсяг пам'яті та вдосконалені можливості підключення. У цій модифікації передбачено 8 ГБ оперативної пам'яті LPDDR4-3200 SDRAM, яка динамічно розподіляється між центральним (CPU) і графічним процесорами (GPU).

Пристрій також оснащений контролером, що підтримує апаратне декодування відео у форматах H.265 / HEVC (з роздільною здатністю до 4Кр60) і H.264 (до 1080р60). Це забезпечує відмінну якість відтворення мультимедіа та робить Raspberry Pi 4 ідеальним для роботи в сучасних системах, що потребують високої продуктивності та багатозадачності.



Рис. 2.7.3 - Raspberry Pi 4

Керування кареткою за допомогою крокового двигуна базується на точному контролюванні його рухів, що дозволяє переміщувати каретку по заданій траєкторії з високою точністю. Кроковий двигун забезпечує необхідну точність завдяки фіксованій кількості кроків на оберт. Для цього в проєкті був обраний кроковий двигун Nema 23 23HS2430 (зображено на рис. 2.7.4), який є популярним і ефективним рішенням для таких завдань. Крокові двигуни типу Nema 23 відрізняються високою потужністю та здатністю забезпечувати точність

позиціонування з повторюваністю до часток градуса. Завдяки своїй конструкції, ці двигуни мають стабільність в утриманні позиції навіть при відсутності руху, що гарантує надійне переміщення каретки без небажаних зміщень. Управління двигуном здійснюється через драйвер, який отримує сигнали від контролера та забезпечує точне виконання команд руху.

Вибір крокового двигуна Nema 23 23HS2430 обумовлений його здатністю працювати в різних режимах мікрокрокування, що дозволяє досягти високої точності та плавності руху. Це особливо важливо для систем, де точність траєкторії і стабільність руху мають критичне значення, таких як в робототехнічних або автоматизованих виробничих лініях.



Рис. 2.7.4 – кроковий двигун Nema

Для керування цим двигуном було обрано цифровий драйвер крокового двигуна DM556D (рис. 2.7.5), розроблений на основі сучасних технологій управління цифровими сигнальними процесорами. Високі експлуатаційні характеристики драйвера забезпечуються потужним 32-розрядним процесором, що гарантує стабільність роботи, низький рівень шуму та вібрацій, а також підтримку оптимальних температурних режимів. Драйвер має 16 режимів мікрокрокування, що

дозволяє досягти до 51200 імпульсів на оберт для двигунів з кроком $1,8^\circ$, з розподілом 1/256. Однією з важливих функцій є технологія придушення резонансу, що значно покращує показники роботи крокових двигунів. Крім того, драйвер оснащений функцією самоналаштування онлайн, що дозволяє автоматично встановлювати оптимальні параметри без необхідності ручного налаштування, забезпечуючи тим самим високу продуктивність системи.

Напруга живлення для цього драйвера становить від 24 до 50 В, і він підходить для управління двигунами з максимальним робочим струмом до 5,6 А, при цьому значення струму можна налаштувати в межах від 2,1 до 5,6 А.



Рис. 2.7.5 – драйвер крокового двигуна DM556D

Особливості і характеристики: Захист від перевантаження по струму і напрузі; низьке підвищення температури, плавна робота двигуна; Розміри: 118x76x34 мм; Вага: 300 г

Для живлення системи був обраний імпульсний блок живлення S-400-48 (зображено на рис. 2.7.6) з вихідною напругою 48 В, струмом 8,3 А та потужністю 400 Вт. Це високоефективний блок живлення, призначений для забезпечення енергопостачання електроприладів, що працюють на постійній напрузі 48 вольт. Блок має вбудований вентилятор, який забезпечує ефективне охолодження, що є важливим для стабільної роботи пристрою під час тривалого використання. Цей блок живлення оснащений кількома рівнями захисту, що включають захист від короткого замикання, перевантаження та перенапруги. Завдяки цим характеристикам він гарантує безпеку при експлуатації, захищаючи підключене обладнання від можливих пошкоджень. Блок живлення здатний працювати в широкому температурному діапазоні від 0° до +50°C, що робить його універсальним рішенням для різних умов експлуатації.

Завдяки своїм технічним характеристикам, блок живлення S-400-48 знаходить широке застосування в різних сферах. Він активно використовується для живлення сучасних електроприладів, таких як світлодіодні системи, числові програмні керування (ЧПК/ЧПУ), промислові автоматизаційні системи та інше обладнання, яке вимагає стабільного джерела живлення з постійною напругою.



Рис. 2.7.6 – Блок живлення

Характеристики блока живлення:

- Вихідна напруга : 48V
- Вихідна потужність: 400W
- Струм: 8.3A
- Вхідна напруга обирається перемикачем
- Захист: перенапругення/перевантаження/коротке замикання
- Охолодження за допомогою вбудованого DC вентилятора
- ШІМ-керування
- Авто відновлення після спрацювання захисту по перевантаженню
- Регулювання $U_{\text{вих}} \pm 10\%$
- Ефективність (ККД) : 83%
- Час затримки при установці: 200 ms, 50 ms, 36 ms
- Опір ізоляції: :500VDC/100MΩ
- Клас захисту: IP20
- Робоча температура: -10 +50 C
- Габаритні розміри: 215×115×50мм
- Вага: 1,1 кг

Механізм намотки (зображено на рис. 2.7.7) , який використовується для виготовлення пластикового філаменту, був розроблений і виготовлений власними силами, що дозволило повністю контролювати процес і забезпечити необхідну точність та ефективність. Основна мета розробки цього механізму полягала в створенні системи, яка б стабільно та рівномірно намотувала філамент на котушку, забезпечуючи його правильний діаметр і рівну текстуру. Процес намотки є критично важливим етапом у виробництві філаменту, оскільки від того, наскільки точно буде здійснено намотування, залежить якість готового матеріалу та його можливість безперешкодно використовуватися в 3D-друці.



Рис. 2.7.7 – Механізм намотки

2.8. Технічні параметри лінії виготовлення пластику

Лінія виготовлення пластикового філаменту - це складний комплекс високотехнологічного обладнання, який забезпечує повний цикл виробництва від підготовки сировини до отримання готового продукту. До основних компонентів лінії належать екструдер, система подачі сировини, нагрівальні елементи, охолоджувальні

ванни, пристрої для калібрування та контролю діаметра, а також намотувальний механізм. Взаємодія цих елементів дозволяє перетворювати гранульовану сировину на філамент із заданими параметрами, такими як діаметр, однорідність і механічні властивості. Наведено основні технічні характеристики системи.

- **Швидкість екструзії:** до 10 кг/год (залежно від типу полімеру).
- **Максимальний діаметр філаменту:** 3.00 мм.
- **Мінімальний діаметр філаменту:** 1.75 мм.
- **Напруга живлення:** 220-240 В (однофазна) або 380 В (трифазна).
- **Споживана потужність:** до 15 кВт.
- **Частота струму:** 50/60 Гц.
- **Довжина:** 5 м.
- **Ширина:** 1.5 м.
- **Висота:** 2 м.
- **Маса:** приблизно 800 кг.
- **Тип шнека:** одношнековий .
- **Діаметр шнека:** 30-50 мм.
- **Максимальна температура нагріву:** 300°C.
- **Матеріал шнека:** легована сталь з антикорозійним покриттям.
- **Точність контролю діаметра:** ± 0.0002 мм.
- **Тип калібрувального пристрою:** лазерний вимірювач діаметра.
- **Частота вимірювань:** до 1000 разів на секунду.

- **Тип охолодження:** водяна ванна .
- **Температура охолоджувальної рідини:** 15-30°C.
- **Продуктивність насоса:** до 50 л/хв.
- **Максимальний діаметр катушки:** 250 мм.
- **Швидкість намотування:** до 100 м/хв.
- **Система укладання:** автоматична з датчиками натягу.
- **Типи полімерів:** PLA, ABS, PETG, TPU, нейлон.
- **Тип керування:** мікропроцесорна система з сенсорним дисплеєм.
- **Інтерфейси:** USB, Wi-Fi.
- **Програмне забезпечення:** розроблене власними силами.

3. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

3.1. Розробка функціональної схеми

Функціональна схема є потужним інструментом для візуалізації, аналізу та проектування систем. Вона слугує графічним представленням, яке демонструє логічну структуру системи, відображаючи взаємозв'язки та взаємодію між окремими компонентами або блоками. На відміну від структурної схеми, яка зосереджується на фізичній конфігурації системи, її компонентів та їхньому розташуванні, функціональна схема акцентує увагу на ролях, які виконують елементи системи, та їхньому внеску у досягнення загальних цілей.

Основне завдання функціональної схеми полягає в тому, щоб показати, як компоненти системи взаємодіють між собою через передачу інформації, матеріалів, енергії або інших ресурсів. Вона дає змогу інженерам, розробникам та іншим фахівцям аналізувати процеси, моделювати роботу системи та знаходити шляхи для вдосконалення. Завдяки своїй простоті та наочності, функціональна схема є важливим інструментом на всіх етапах роботи з системою, починаючи від її планування і закінчуючи експлуатацією та модернізацією.

Функціональна схема дозволяє ефективно пояснити логіку роботи системи навіть тим, хто не є глибоким технічним експертом. Завдяки цьому вона сприяє ефективній комунікації між членами команди, незалежно від їхньої спеціалізації. Використання функціональних схем є особливо важливим у складних системах, де без чіткого розуміння логіки взаємодії компонентів можуть виникнути труднощі в їхній розробці або експлуатації.

Завдяки функціональним схемам можна виявляти слабкі місця у функціонуванні системи, визначати потенційні ризики або місця, де можливе вдосконалення. Вони допомагають проектувальникам приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації процесів, покращення продуктивності або забезпечення більшої надійності системи.

Таким чином, функціональна схема є не лише засобом візуалізації, але й ефективним інструментом для аналізу, моделювання та прийняття рішень. Вона допомагає побудувати цілісне уявлення про систему, зрозуміти її логіку та

забезпечити ефективну взаємодію між усіма учасниками процесу, що працюють над її створенням, впровадженням або вдосконаленням.

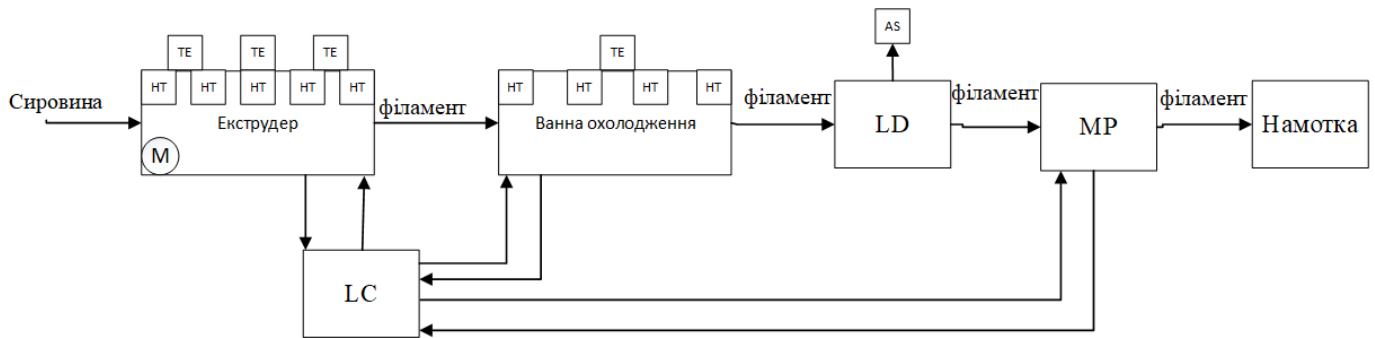


Рис. 3.1 - Функціональна схема всієї лінії виготовлення 3D принтерного матеріалу

Функціональна схема (рис.3.1) зображає процес виробництва філаменту для 3D-принтерів. Процес починається з подачі сировини у екструдер. У екструдері є нагрівальні елементи (позначені як НТ) та датчики температури (ТЕ), які забезпечують контроль процесу плавлення сировини. Двигун (позначений як М) приводить екструдер у рух.

Після плавлення філамент виходить з екструдера та проходить у ванну охолодження, де відбувається зниження температури матеріалу. У ванні також присутні нагрівальні елементи (НТ) та датчики температури (ТЕ), що дозволяють підтримувати необхідний температурний режим для стабільного охолодження.

Далі філамент передається до лазерного пристрою (позначеного як LD), який відповідає за вимірювання та контроль його діаметра. Цей пристрій взаємодіє з блоком сигналізації (позначеним як AS).

Після контролю діаметра філамент надходить до пристрою протягування (позначено як MP). Блоки LC та MP взаємодіють для регулювання швидкості та температури. Заключним етапом є намотка, де готовий філамент намотується на котушку для подальшого використання у 3D-друці.

3.2 Розробка структурно схеми

На представленій структурній схемі (рис. 3.2.1) зображено систему керування технологічним процесом, де всі основні компоненти взаємодіють між собою через Головний комп'ютер. Головний комп'ютер є центральною частиною системи. Він виконує функції керування, моніторингу та обробки даних від усіх підключених

компонентів. Частотний перетворювач Sako ski600 підключений до головного комп'ютера. Він регулює роботу головного двигуна, який відповідає за подачу екструзії матеріалу. Комп'ютер керує швидкістю обертання двигуна через перетворювач для забезпечення стабільності процесу. Терморегулятори ТК4S підключені до головного комп'ютера. Кожен терморегулятор контролює температурні параметри в окремій зоні системи. Термопари типу К забезпечують зворотний зв'язок для терморегуляторів, вимірюючи температуру в реальному часі. Хомутові нагрівачі є виконавчими елементами, що безпосередньо нагрівають зону екструзії..

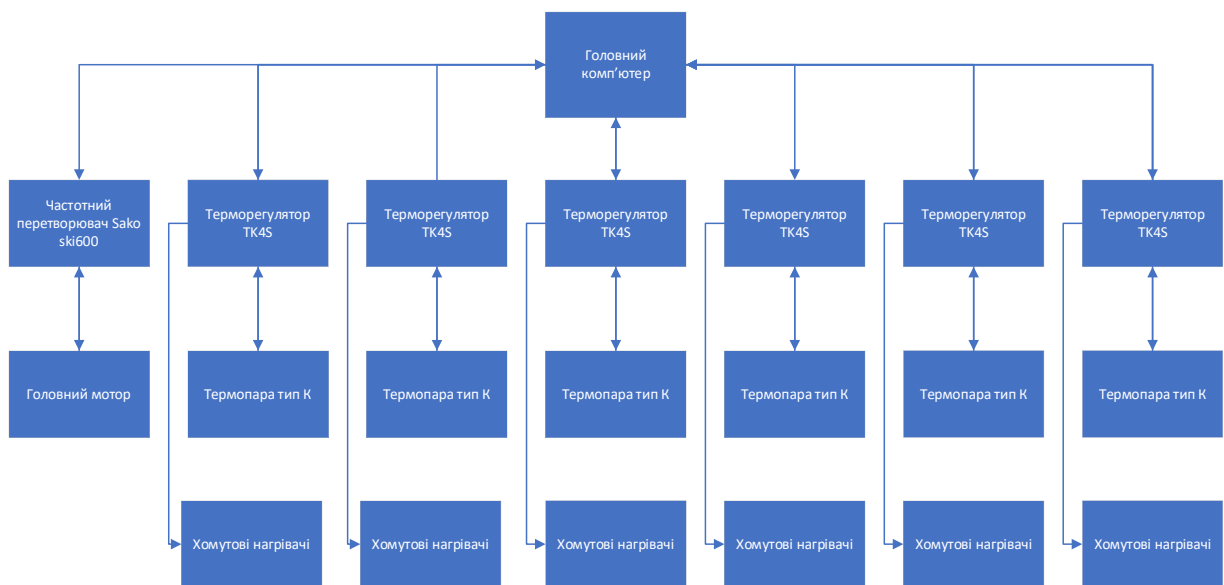


Рис.3.2.1-Структурна схема



Рис.3.2.2-Шафа з розміщеними пристроями

4.РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА

Алгоритм – це чітка, скінченна послідовність кроків або інструкцій, спрямованих на вирішення певної задачі чи досягнення конкретного результату. Алгоритм описує, що і в якому порядку необхідно виконати, щоб отримати правильний результат.

Алгоритм роботи інтерфейсу оператора (зображено на рис. 4.1)

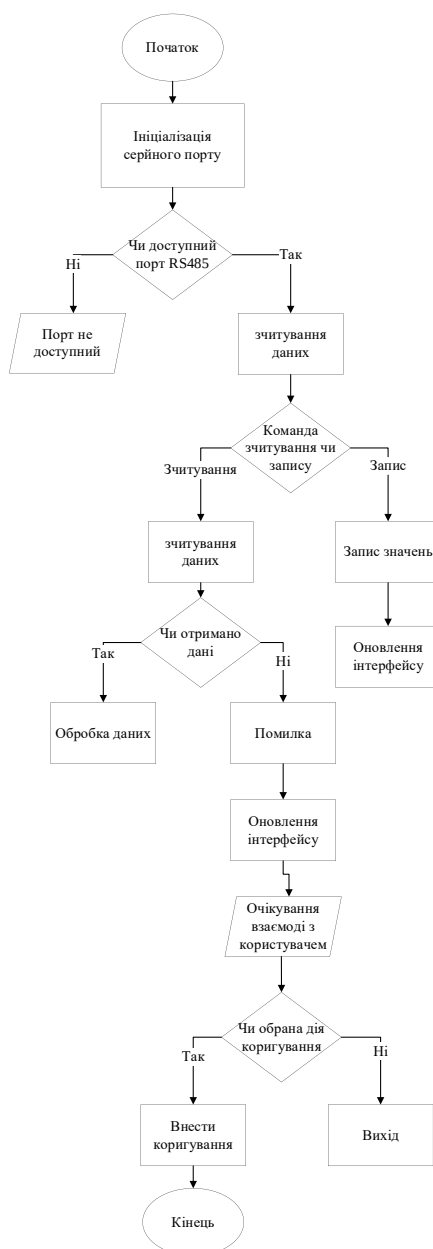


Рис. 5.1 – Алгоритм

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1 Розробка графічного інтерфейсу та алгоритмів обміну даними за стандартом RS485

Інтерфейс системи екструзії пластику розроблений таким чином, щоб забезпечити зручність і простоту управління процесом для оператора. У центральній частині розташовані інформаційні панелі, які відображають основні параметри роботи системи. Кожне поле чітко позначене, що дозволяє оператору швидко орієнтуватися у функціях і налаштуваннях.

Для кожної зони нагріву (Зона I, Зона II, Зона III тощо) передбачено індивідуальний блок управління, що включає дисплей для відображення поточної температури, а також кнопки "+" і "-" для регулювання цього параметра. Це дозволяє точно налаштовувати температуру відповідно до вимог матеріалу, що використовується. Поруч із кожним блоком знаходиться кнопка "Налаштувати", яка надає додаткові можливості для корекції параметрів.

Окремі блоки присвячені ключовим характеристикам процесу, таким як "Швидкість екструдера", "Тиск" і "Швидкість тягнучого". Ці параметри також можуть бути легко налаштовані за допомогою відповідних кнопок. Інформація на дисплеях оновлюється в режимі реального часу, що дозволяє оператору оперативно контролювати та коригувати процес екструзії.

Інтерфейс побудований за принципом логічного групування елементів, що спрощує доступ до необхідних функцій. Всі кнопки мають чітке маркування, що знижує ймовірність помилок при роботі. Завдяки інтуїтивно зрозумілому дизайну оператор може швидко здійснювати моніторинг параметрів, вносити зміни в налаштування і забезпечувати стабільність процесу екструзії.



Рис. 5.1.1 – Вигляд зробленого інтерфейсу

Код взаємодії з пристроями через інтерфейс RS485, використовуючи бібліотеку pyserial, яка забезпечує функціонал для роботи з послідовними портами. RS485 — це протокол передачі даних, який дозволяє здійснювати комунікацію між декількома пристроями через одну лінію передачі, завдяки чому він є широко використовуваним у промислових системах автоматизації.

```
# Налаштування порту RS485
SERIAL_PORT = 'COM1'
BAUDRATE = 9600
TIMEOUT = 1
```

Рис. 5.1.2 – Налаштування порту RS485

Цей фрагмент коду (зображено на рис. 5.1.2) відповідає за налаштування основних параметрів для роботи з RS485.

BAUDRATE = 9600 це швидкість передачі даних. В обидві сторони (контролер і пристрій) вони повинні мати однакову швидкість.

TIMEOUT = 1 це час очікування відповіді від пристрою, значення (1) встановлено в секундах. Якщо за цей час пристрій не відповідає, програма зупинить спробу читання/запису. Це захист якщо пристрій вимкнений.

Використаємо стандарт ModBus для організації зв'язку між головним пристроєм та підлеглими пристроями через інтерфейс RS-485. У нашому випадку

підлеглими пристроями є терморегулятор TK4S та частотний перетворювач Sako SKI600. Для терморегулятора TK4S ModBus використовується для моніторингу температури, налаштування параметрів та зчитування стану пристрою. Для частотника Sako SKI600 ModBus забезпечує зміну частоти, моніторинг поточних параметрів роботи.

Для взаємодії з пристроями через RS485 використовується протокол Modbus RTU, який забезпечує можливість читання та запису даних у регістри пристроїв. Кожна команда складається з кількох основних частин, що дозволяє чітко визначати її мету та верифікувати цілісність.

```
✓ COMMANDS = {
    'zone_1': b'\x01\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xDB', # Читання даних з Зон
    'zone_2': b'\x02\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xD8',
    'zone_3': b'\x03\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xD9',
    'zone_4': b'\x04\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xDE',
    'zone_5': b'\x05\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xDF',
    'zone_6': b'\x06\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xDA',
    'frequency': b'\x07\x03\x00\x00\x00\x01\x85\xDC' # Читання частоти
}

✓ SET_COMMANDS = {
    'zone_1': b'\x01\x06\x00\x00', # Команда для встановлення значень
    'zone_2': b'\x02\x06\x00\x00',
    'zone_3': b'\x03\x06\x00\x00',
    'zone_4': b'\x04\x06\x00\x00',
    'zone_5': b'\x05\x06\x00\x00',
    'zone_6': b'\x06\x06\x00\x00',
    'frequency': b'\x07\x06\x00\x00' # Встановлення частоти
}
```

Рис. 5.1.3 – фрагмент коду

Цей код (рис. 5.1.3) є частиною програми для взаємодії обладнання через байтові команди. Змінні Commands і Set_Commands, вони містять попередньо визначенні команди для читання та запису даних.

Commands – використовується для читання параметрів із різних зон (терморегуляторів) також для частотного перетворювача.

Set_Commands – призначений для встановлення значень параметрів до відповідних зон та для налаштування частоти.

```
def read_device(command):
    try:
        with serial.Serial(SERIAL_PORT, BAUDRATE, timeout=TIMEOUT) as ser:
            ser.write(command)
            response = ser.read(7)
            if len(response) >= 7:
                data = int.from_bytes(response[3:5], byteorder='big')
                return data
            else:
                return None
    except serial.SerialException as e:
        messagebox.showerror("Помилка", f"Не вдалося підключитися до порту: {e}")
        return None

def write_device(zone, value):
    try:
        command = SET_COMMANDS[zone] + value.to_bytes(2, byteorder='big') + b'\x00\x00'
        with serial.Serial(SERIAL_PORT, BAUDRATE, timeout=TIMEOUT) as ser:
            ser.write(command)
    except serial.SerialException as e:
        messagebox.showerror("Помилка", f"Не вдалося підключитися до порту: {e}")
```

Рис. 5.1.4 – зв'язок з пристроями через RS485

Read_device – це функція яка виконує зчитування даних із пристрою через інтерфейс RS485, використовуючи протокол Modbus RTU. Вона надсила задану команду на пристрій, отримує відповідь, перевіряє її цілісність і повертає значення. У разі помилки (можливо не увімкнули пристрої) забезпечує повідомленням користувача. Для відкриття порту вказаного у Serial_Port використовується бібліотека serial. Для швидкості передачі Baudrate, та час відповіді Timeout. Серійний порт відкривається у контексті with, щоб гарантувати закриття після виконання операцій.

Надсилання команди відбувається через ser.write(command), команда відправляє запит до пристрою з вимогою зчитати дані з вказаних регістрів. Очікуєть відповідь у вигляді 7 байт, для цього використовується команда response=ser.read(7), що означає зчитування перших 7 байт відповіді.

В командній строці if len(response) >=7:

```
data = int.from_bytes(response[3:5], byteorder='big')
return data
```

Перевірається правильність відповіді, відповідь від пристрою вважається правильною якщо значення більше або рівне 7.

Функція `write_device(zone, value)` виконує запис даних у пристрій через RS485. Для запису використовується базова команда з масиву `SET_COMMANDS`, для вказано зони. До команди `value` додається значення. Для відправки команди використовуються команда `with`, аналогічна як `read_device`. Команда надсилається через `ser.write(command)`. Результатом даної функції виконується запис та зміна параметру в пристрої.

```
class RS485App:
    def __init__(self, root):
        self.root = root
        self.root.title("RS485 Моніторинг")

        self.labels = {}
        self.values = {zone: 0 for zone in COMMANDS.keys()}

        for i, (zone, command) in enumerate(COMMANDS.items()):
            frame = tk.Frame(root)
            frame.grid(row=i // 3, column=i % 3, padx=10, pady=10)

            label = tk.Label(frame, text=zone.replace('_', ' ').capitalize(), font=("Arial", 14))
            label.pack()

            value_label = tk.Label(frame, text="---", font=("Arial", 18), fg="red")
            value_label.pack()
            self.labels[zone] = value_label

            btn_frame = tk.Frame(frame)
            btn_frame.pack()

            if zone != 'frequency':
                minus_btn = tk.Button(btn_frame, text="-", command=lambda z=zone: self.adjust_value(z, -1))
                minus_btn.grid(row=0, column=0)

                plus_btn = tk.Button(btn_frame, text="+", command=lambda z=zone: self.adjust_value(z, 1))
                plus_btn.grid(row=0, column=1)

            set_btn = tk.Button(frame, text="Налаштувати", command=lambda z=zone: self.set_value(z))
            set_btn.pack()

        for zone in COMMANDS.keys():
            thread = threading.Thread(target=self.update_zone_data, args=(zone,), daemon=True)
            thread.start()
```

Рис. 5.1.5. – Фрагмент коду

Цей фрагмент коду (рис. 5.1.5) відповідає за створення графічного інтерфейсу та додавання кнопок. Для кожної зони запускається окремий потік, який постійно зчитує дані з пристрою у фоновому режимі. Потoki працюють незалежно від основного інтерфейсу, щоб не блокувати роботу програми. У кожному блоці додаються кнопки для взаємодії. Кнопки `+` та `-` дозволяють збільшувати або зменшувати значення вручну. Кнопка `НАЛАШТУВАТИ` дозволяє відправляти

змінене значення на пристрій. Результатом даного є що оператор, бачить вікно з окремими блоками для кожної зони. У кожному блоці може бачити поточне значення, а також змінювати його на нове значення та надіслати його на пристрій. Значення зон автоматично оновлюються в реальному часі.

```
3  def update_zone_data(self, zone):
4      while True:
5          command = COMMANDS[zone]
6          data = read_device(command)
7          if data is not None:
8              self.values[zone] = data
9              self.labels[zone].config(text=str(data))
10         else:
11             self.labels[zone].config(text="Помилка")
12             time.sleep(1)
13
14     def adjust_value(self, zone, delta):
15         self.values[zone] += delta
16         self.labels[zone].config(text=str(self.values[zone]))
17
18     def set_value(self, zone):
19         value = self.values[zone]
20         write_device(zone, value)
21         messagebox.showinfo("Налаштування", f"Значення для {zone.replace('_', ' ').capitalize()} встановлено: {value}")
22
23 if __name__ == "__main__":
24     root = tk.Tk()
25     app = RS485App(root)
26     root.mainloop()
```

Рис. 5.1.6 – Код відповідає за автоматизацію моніторингу та управління пристроями

Функція `Update_zone_data(self, zone)` реалізує постійне оновлення даних для однієї конкретної зони. Вона працює у нескінченному циклі `while True`. Команда для зчитування даних береться зі словника `Commands` для заданої зони. Викликається функція `read_device(command)`, вона зчиту дані із пристрою через RS485. Якщо отримані дані коректні, вони записуються в `self.values[zone]`, а значення в інтерфейсі `self.labels[zone]` оновлюються. Для уникнення надмірного навантаження на систему використовуються команда `time.sleep(1)`. Функція `adjust_value (self, zone, delta)` змінює значення для заданої зони вручну. Значення зони `self.values[zone]` збільшується або зменшується на величину `delta` (залежно чи натиснута кнопка `+` чи `-`). Після зміни значення автоматично оновлює текст у відповідному полі інтерфейсу.

Функція `set_value(self, zone)` виконує встановлення значення для заданої зони шляхом надсилання його на пристрій.

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі розглянуто розробку системи автоматизації технологічного процесу виготовлення матеріалу для 3D-друку, що включає інтеграцію сучасних технологій керування і моніторингу. Запропонована система спрямована на оптимізацію виробничого процесу, забезпечення стабільності параметрів матеріалу та підвищення загальної ефективності виробництва. Розроблена система дозволяє автоматизувати ключові етапи технологічного процесу, включаючи контроль температури, подачу та сушіння сировини, екструзію філаменту, його охолодження, калібрування діаметра та намотування на катушки. Вона оснащена датчиками для моніторингу критичних параметрів, таких як точність діаметра філаменту, температура екструзії та швидкість подачі матеріалу.

Розроблена система має потенціал для широкого застосування в галузі виробництва філаменту для 3D-друку, забезпечуючи високу продуктивність, енергоефективність і відповідність сучасним стандартам якості.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Паламарчук В. Г. Основи автоматизації технологічних процесів. – Київ: Техніка, 2018. – 120-140 с.
2. Скурихін І. В. Системи автоматичного управління у виробничих процесах. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. – 150-180 с.
3. Хмельницький Р. А. Технологія переробки пластмас. - Одеса: Політехніка, 2016. – 50-80 с.
4. Шейкін В. М. Основи виробництва полімерних матеріалів. - Дніпро: ДНУ, 2015. - 110-145 с.
5. Franklin G. F., Powell J. D., Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems. - Pearson, 2014. - 520-631 с.
6. Ogata K. Modern Control Engineering. – Pearson Education, Limited, 2010. - 63-97 с.
7. Hutchinson S., Spong M. W., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control. - Wiley & Sons, Incorporated, John, 2020. -300-320 с.
8. Willsky A. S., Oppenheim A. V. Signals and Systems. - Pearson Higher Education & Professional Group, 2013. - 582-625 с.
9. Deitel P. J., Deitel P. Visual C++ 2008: How to Program. - Pearson Education, Limited, 2007. – 140-174 с.
10. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. - Pearson, 2016. -400-420 с.
11. Skiena S. S. The Algorithm Design Manual. - 2nd ed. London: Springer, 2008. – 316-350 с.
12. Офіційна документація частотного перетворювача Sako SKI600. - Sako Electric, 2022. - 45-75 с.
13. Технічна документація на шнековий екструдер - Omron Automation, 2021. – 100-130 с.