

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка механічного модуля системи автоматизації для сушки пластика  
(тема)

Виконав:  
студент 3 (прискороного) курсу, групи  
АКТАКІТу-21-1

Церцек Микола Віталійович

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Керівник проф. каф. КІТАР Овчаренко В.Є.

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАР

\_\_\_\_\_

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_» травня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Церцек Миколі Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка механічного модуля системи автоматизації для сушки пластику

Затверджена наказом по університету від 20.05.2024р. № 477 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Кількість катушок – 12 шт;

3.2 Напруга живлення пристрою – 220 В;

3.3 Максимальні габаритні розміри – не більше 550мм×550мм×650мм;

3.4 Тип конвекції повітря - природня;

3.5 Вага пристрою – не більше 7 кг.

3.6 Внутрішня підтримувальна температура в шафі – 60°C;

3.7 Відхилення температури – не більше ±5°C.

4 Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Розробка конструкції;

4.4 Збірка конструкції;

4.5 Проведення експериментальних досліджень;

4.6 Охорона праці;

4.7 Висновки;

5 Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

5.1 Демонстраційний матеріал у вигляді презентації – 15 арк. Ф А4.

6 Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Спецпідрозділ	асп. Близнюк Д. С.		

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	11.05.24	Виконано
2	Опис аналогічних пристроїв	13.05.24	Виконано
3	Підбір компонентів пристрою	15.05.24	Виконано
5	Розробка 3D моделі макета	20.05.24	Виконано
6	Збірка макету	22.05.24	Виконано
7	Проведення тестування макета	28.05.24	Виконано
8	Перевірка керівником роботи		
9	Нормоконтроль		
10	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichек		
11	Подання роботи на рецензію		
12	Подання роботи на підпис зав. кафедри		
13	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 04.05.2024 р.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Церцек М. В.

Керівник роботи Овчаренко В.Є. проф. кафедри КІТАР

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 54 рис., 4 табл., 18 джерела.

СУШИЛЬНА ШАФА ДЛЯ ГІДРАТАЦІЇ ПЛАСТИКА, ПЛАСТИК ДЛЯ 3D ДРУКУ, ГНУЧКИЙ ТЕН, ТЕРМОРЕЛЕ, КОНВЕКЦІЯ.

Мета роботи – удосконалення процесу сушіння пластикової нитки для 3D друк.

Об'єкт роботи – є технологія 3D друк.

Предмет роботи – проектування шафи для зберігання пластикового елемента для 3D-друку.

В ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано аналіз методів або установок для гідратації пластика аналіз промислових та саморобних сушильних шаф та аналіз пластиків які використовуються для 3D-друку, розроблено конструкція згідно вимог ТЗ.

Проведено аналіз проблем якості 3D друку. Наведено види обладнання для гідродації пластикового філоменту. Розібрано переваги та недоліки саморобних сушильних шафів.

Проведено розрахунки нагрівного елемента та розрахована маса вологи, яка випаровується з філаменту в процесі сушіння. В результаті чого було знайдено значення потужності нагрівального елемента для шафи та тепловий опір матеріалу.

## ABSTRACT

Explanatory note: 68 pages, 54 figures, 4 tables, 18 sources.

DRYING CABINET FOR HYDRATION PLASTIC, PLASTIC FOR 3D PRINTING, FLEXIBLE TAN, THERMRREL, CONVECTION.

The purpose of the work is to improve the process of making plastic thread for 3D printing.

The object of the work is 3D printing technology.

The subject of the work is the design of a cabinet for storing a plastic element for 3D printing.

In the course of the qualification work, an analysis of methods or installations for the hydration of plastic was carried out, the analysis of industrial and homemade drying cabinets and the analysis of plastics used for 3D printing were developed in accordance with the requirements of the TOR.

An analysis of the problems of 3D visualization was carried out. A type of equipment has been developed for the hydrolysis of plastic filament. The advantages and disadvantages of self-made drying racks have been selected.

The heating element was destressed and the oil was evaporated from the filament during the drying process. As a result, the importance of the tension of the heating element for the rack and the thermal support of the material was found.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	3
Вступ .....	4
1 Що таке філамент і навіщо його сушити .....	6
1.1 Види філаменту доступного для принтера FDM(FFF).....	6
1.2 Аналіз проблем якості 3D друку .....	16
1.3 Види обладнання для гідродації пластикового філоменту.....	21
1.4 Аналіз складу сушки філаменту .....	23
1.5 Сушильні шафи зроблені власноруч.....	25
2 Комплектуючі та розрахунки .....	29
2.1 Розрахунки нагрівного елементу.....	29
2.2 Визначення маси вологи, яка випаровується з філаменту в процесі сушіння .....	35
2.3 Перелік комплектуючих сушильної шафи.....	39
3 Розробка 3D моделі сушильної шафи.....	46
3.1 Компоновка каркасу сушильної шафи.....	46
3.2 Обшивка рами сушильної шафи.....	49
3.3 Установка нагрівального елементу ТЕН .....	51
3.4 Створення дверцят та збірка шафи .....	53
3.5 САУ для контролю температури ТЕНу .....	55
4 Охорона праці .....	59
4.1 Правила роботи з сушильною шафою .....	59
4.2 Техніка безпеки при роботі з філаментом для 3D-друку.....	60
Висновки.....	64
Перелік джерел послання.....	65
Додаток А Демонстраційні матеріали .....	68

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ТЕН – трубчастий електронагрівач;  
ТЕП або ТПЕ – термоеластопластів;  
ABS – акрилонітрілбутадієнстірол;  
Acrylic – поліметилметакрилат;  
ASA – акрилонітрил-стирол-акрилат;  
FFF – технологія пошарового наплавлення;  
HIPS – ударостійкий полістирол;  
MABS – Модифікація ABS;  
PC – полікарбонат;  
PCL – полікапролактон;  
PET – поліетилентерефталат;  
PLA – поліактид;  
PVA – полівінілхлорид;  
PVDF – полівініліденфторид;  
TPE – термопластичний еластомер.

## ВСТУП

На сьогоднішній день 3D-друк швидкими темпами розвивається у всьому світі. Без такого обладнання не обходиться жоден сучасний науковий центр, адже використання 3D-технологій допомагає виконувати завдання у науці, мистецтві, освіті, промисловості та багатьох інших галузях.

Принцип 3D-друку за будь-якою існуючою технологією – створення об'ємних об'єктів із сукупності плоских шарів.

Цифрова модель виробу поділяється на шари спеціальною програмою - слайсером, а принтер друкує ці шари, один на одному, складаючи їх тривимірний об'єкт. Так, з множини шарів, виходить об'ємна деталь.

Загальний принцип один, але технології різняться; найпоширеніша і найдоступніша серед них – FDM.

Стандартний FDM – пристрій працює як термоклейовий пістолет керований роботом, що не дивує, адже розробка технології FDM колись починалася з дослідів із термоклеєм. Пластиковий пруток прошовується через гаряче сопло, де він плавиться, а виходячи з нього укладається шарами. Процес повторюється знову і знову, доки не з'явиться готовий 3D-об'єкт

Єдина відмінність у тому, що 3D-принтери використовують не стрижні термоклею, а пластиковий філамент намотаний на котушки.

Найпоширеніші матеріали для FDM (FFF) – пластики ABS та PLA.

Пластикова нитка, вона ж філамент, випускається в формі шнура для того, щоб вона могла легко плавитися при заданій температурі, але дуже швидко застигати після охолодження всього на пару градусів. Саме це дозволяє друкувати 3D вироби зі складною геометрією з високою точністю.

Більшість термопластиків, які використовуються для 3D-друку, гігроскопічні, тобто вбирають воду з повітря, якщо їх не захищати. Волога, що потрапляє всередину філамента, може викликати небажані ефекти під час

друку, такі як пузири, тріщини або нерівномірне плавлення.. А найнеприємніше - волога кипить, а як ми знаємо пар дуже неприємний під час укладання його в закриті обсяги, і в певному сенсі має вибуховий ефект. У нашому випадку ефект вибуху це зайва екструзія і пауза, що відразу слідує за нею, простіше кажучи блямба пластику і пропущений шматок шару відразу за цією блямбою. Не кажучи вже про зміну властивостей самого філаменту. Іншими словами, якщо просто залишити пластик на відкритому повітрі, результати друку з його використанням через якийсь час виявляться неякісними.

Для усунення цієї проблеми існують сушильні камери, метою яких є саме видалення перед обробкою вологи зі смоли до необхідного рівня.

Між ланцюгами води та полімеру існує тяжіння, і для їхнього відділення один від одного потрібні зусилля. Тепло зменшує тяжіння між молекулами води та полімеру, полегшуючи їх поділ під час процесу сушіння. Достатня сушіння зберігатиме характеристичну в'язкість високою, підтримуючи ці довгі молекулярні ланцюги. Проблеми якості виготовлення, які зазвичай виникають звологою, усуваються при правильному сушінні.

Мета роботи – удосконалення процесу сушіння пластикової нитки для 3D друк.

Для досягнення такої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз методів або установок для гідратації пластика;
- виконати аналіз промислових та саморобних сушильних шаф;
- провести аналіз пластиків які використовуються для 3D-друку;
- розробити конструкції згідно вимог ТЗ;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями та вимогами

ДСТУ 3008:2015 [1] [2].

## 1 ЩО ТАКЕ ФІЛАМЕНТ І НАВІЩО ЙОГО СУШИТИ

### 1.1 Види філаменту доступного для принтера FDM(FFF)

PLA – це скорочення від полі молочної кислоти, термопластичного полімеру, отриманого з відновлюваних ресурсів, зокрема кукурудзяного крохмалю або цукрової тростини (рис. 1.1). Його можна переробляти на промислових підприємствах, але він не є біорозкладним [4].



Рисунок 1.1 – PLA: універсальна нитка

Він має низьку температуру друку та не вимагає підігріву. Ще однією перевагою використання PLA є відсутність неприємного запаху під час друку (на відміну ABS). Це потрібний матеріал для одноразового контакту з харчовими продуктами. Однак PLA менш довговічна, ніж ABS або PETG, і сприйнятливий до нагрівання. Не використовуйте його при виготовленні предметів, які можуть бути зігнуті, перекручені або неодноразово падати, наприклад, чохла для телефонів, іграшок, що швидко зношуються, або ручок інструментів.

ABS є найпоширенішим матеріалом для 3D-друку. Фактично він оточує нас у вигляді: чохла для телефонів, велосипедних шоломів і навіть

конструкторів LEGO. Завдяки своїй міцності та термостійкості (рис. 1.2) цей пластик буде служити вам довго і не швидко зношуватиметься.



Рисунок 1.2 – ABS: міцний і легкий

Хоча такого типу нитки є багато переваг, варто пам'ятати і про особливості її використання. Наприклад, слід враховувати, що він під час друку виділяє неприємний та шкідливий запах. Але це питання можна вирішити, якщо провітрюватимете кімнату, в якій працюватимете.

PETG – це прозора нитка, яка може створити міцний та гладкий об'єкт. Її використовують, починаючи від садової техніки та закінчуючи простою пляшкою води. У цей пластик можна класти харчові продукти (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – PETG: безпечно для харчових продуктів

Варто пам'ятати, що такий матеріал гігроскопічний, тому щоб він не увібрав у себе вологу, його потрібно зберігати в сухому приміщенні.

TPE (термопластичні еластомери) є класом матеріалів, які є сумішшю пластику і гуми. Вони включають TPU (термопластичний поліуретан), TPC (термопластичний сополієфір) та інші (рис. 1.4).

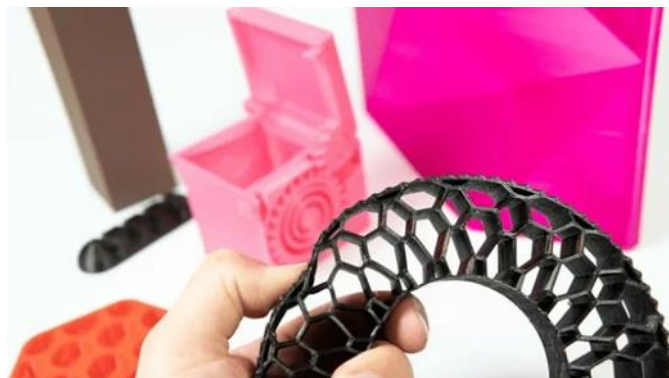


Рисунок 1.4 – TPU, TPE, TPC: гнучкий

Ці пластмаси дуже м'які та гнучкі. Вони стають все більш поширеними в адитивному виробництві деталей, які можна згинати або розтягувати без деформації. TPU також, як правило, більш довговічні і можуть забезпечити високу стійкість до стирання, олій, хімікатів, а також високих та низьких температур, ніж нитка TPE. TPC має стійкість до високих температур і відмінну стійкість до ультрафіолетового випромінювання. Він особливо цінується в медичних додатках та пристроях. TPE також доступні у вигляді порошку та смоли.

Поліамід (PA), широко відомий як нейлон (рис. 1.5), є міцним і альтернативним матеріалом, що використовується для широких застосувань. Матеріал відрізняється своєю міцністю та стійкістю до високих температур та ударів. Це забезпечує хорошу міцність виробів та механічну міцність.

PA зазвичай армується вуглецевими, скляними та кевларовими волокнами. Він широко поширений у високотехнологічних інженерних

застосуваннях, таких як шестерні, фітинги та інструменти, також доступний у вигляді порошку [3].



Рисунок 1.5 – Нейлон: міцний та довговічний

Хоча він не друкуватиме так само легко, як PLA або PETG, вам може знадобитися високотемпературне сопло, оскільки для обробки деяких сумішей потрібна температура до 300 °C. Правильне зберігання нейлону також має вирішальне значення, оскільки він може вбирати воду, якщо його залишити на відкритому повітрі. Ця волога погіршує якість матеріалу та призводить до погіршення якості та міцності друку.

Матеріал під назвою акрило нітрilstиролакрилат відомий високою ударною в'язкістю та хімічною стійкістю. Він також стійкий до ультрафіолетового випромінювання, зберігаючи свої властивості та зовнішній вигляд навіть за впливу сонячного світла, що робить його ідеальним для використання на відкритому повітрі (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – ASA: стійкий до сонячного світла

Це простіший у пресі родич ABS. Але він також вимагає високих температур екструдера та столу, а також корпусу для протидії жолобленню, розтріскуванню та усадці. Це, звичайно, не для кожного принтера. З ним можуть впоратися потужніші настільні машини і, природно, промислові FDM.

PVB скорочення від полівінілбутирала) – є спеціальною ниткою, яка найбільш відома своєю здатністю вирівнювати шари ізопропіловим спиртом. Це робить його безпечнішою альтернативою ABS, якому для вирівнювання шарів потрібен ацетон. Компанія Polymaker, наприклад, пропонує нитки PVB різних кольорів для обробки спиртової машини Polysher для досягнення рівномірних результатів. Крім того, це прозорий матеріал, тому можливі напівпрозорі і чіткі відбитки (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – PVB

PVB має властивості матеріалу, аналогічні PLA, за винятком того, що у нього погана адгезія шару і, отже, найгірші механічні властивості, що, безумовно, є недоліком. Також слідкуйте за тим, щоб нитка залишалася сухою, тому що має також високі гігроскопічні властивості. Якщо ви хочете надрукувати гладкі моделі, варто звернути увагу на PVB.

HIPS – поєднує в собі гнучкість та міцність. Він може тримати високі ударні навантаження та працює з багатьма видами клеїв. Також зручність у

використанні полягає в тому, що вам не потрібний абразив, щоб усунути зайве. Цей матеріал легко забирається за допомогою розчину лимону (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – HIPS: висока ударостійкість

PVA – цей пластик розчинний у воді. Його призначення полягає в тому, щоб користуватися ним як матеріалом, що підтримує, разом з іншою ниткою. Також слід бути обережним при зберіганні, оскільки вологе повітря може завдати йому шкоди (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – PVA: водорозчинний

ESD – ця нитка є провідником електрики. Вона зустрічається в інструментах, корпусах, кришках та продуктах, які оснащені діодами. Сам пластик захищає ваші компоненти, які чутливі до електростатичної напруги завдяки тому, що розсіює енергію (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – ESD: безпечний провідник електрики

Дерев'яний композит містить у собі деревне волокно (рис. 1.11). Така нитка робиться із сортів сосни, верби, кедра і навіть бамбука та кокосу. Хоча матеріал, що отримується, виглядає привабливо він не самий гнучкий і міцний.



Рисунок 1.11 – Дерев'яний композит

Потрібно бути обережним, тому що цей композит може пошкодити сопло 3D-принтера. Також потрібно стежити за температурою друку, щоб не дозволити матеріалу обгоріти.

Металевий композит. Існує два типи цієї нитки; один для декоративних деталей, а інший для тих, які насправді складаються із цільного металу.

Для надання виду, PLA просочується достатньою кількістю цього композиту. Навіть вага нагадує метал, оскільки суміші мають тенденцію бути у кілька разів щільнішими, ніж чиста пластикова нитка.

Він відмінно підходить для подальшої обробки, включаючи шліфування, полірування, або потьмарення. Під час друку цим матеріалом слід очікувати підвищеного зносу сопел. Тому рекомендується замінити латунне сопло на нержавіючу сталь або інший загартований сплав, оскільки латунні сопла зношуються набагато швидше через стирання металевих частинок (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Металевий композит

Ключовою перевагою є простота друку на звичайному 3D-принтері. Просто зверніть увагу, що під «звичайним» ми маємо на увазі будь-який FDM – принтер з столом, що підігрівається, і соплом із загартованої сталі, який може досягати необхідних температур від 180 до 220 °С.

Полікарбонат (PC) – міцний матеріал, який відрізняється трьома основними характеристиками: оптичною прозорістю, термостійкістю та неймовірною міцністю (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – PC: термостійкий матеріал

При 3D-друку він використовується в різних галузях промисловості для виготовлення прототипів автомобільних фар, абажурів та напівпрозорих корпусів для електричних компонентів.

Поліефірімід – цей високопродуктивний пластик характеризується визначними термічними, механічними та електричними властивостями. PEI пропонує виробникам високе співвідношення міцності та ваги, що робить його економічно ефективною альтернативою металу, який досить міцний, щоб замінити сталь у деяких сферах застосування, і досить легкий, щоб використовуватися для заміни алюмінію, особливо в аерокосмічній галузі (рис. 1.14).



Рисунок 1.14 – PEI: високе співвідношення міцності до ваги

Інші сфери застосування PEI включають компоненти зубчастих передач, корпуси клапанів, датчиків і термостатів, вимогливі електричні додатки, друковані плати та нагнітальні пристрої. Існує безліч марок Ultem, найбільш поширеним з яких є Ultem 1000. Ultem 1010 є полімерним матеріалом, а Ultem 2300 – на 30% армованим скловолокном.

PEEK належить до сімейства полімерів поліарилофіркетонів (PAEK) і користується зростаючою популярністю для застосування у військовій, фармацевтичній, нафтохімічній та харчовій промисловості (рис. 1.15).

Він має вагу менше половини ваги алюмінію і в шість разів легше стали, що робить його чудовою заміною металу для деталей у нафтогазовій промисловості та аерокосмічній промисловості.



Рисунок 1.15 – PEEK: легка заміна металу

Його властивості можна ще більше покращити, поєднавши його з композитними матеріалами, такими як скловолокно, графіт або вуглецеве армування, які допомагають боротися з усадкою. PEEK також використовується для медичних імплантатів (оскільки він повністю біосумісний і рентгенопрозорий), але існує величезна різниця між промисловим та імплантованим.

PEKK – ще один полімер сімейства поліарилофіркетонів (PEAK) і один із полімерів з найвищими експлуатаційними характеристиками у світі (рис. 1.16). Він має винятково хороші властивості механічної, термічної та хімічної стійкості. На ньому набагато легше друкувати, ніж на PEEK. Фактично PEKK може оброблятися при нижчих температурах 3D-друку, ніж нитки на основі PEEK. Не вимагає перегрітої камери (як PEEK) і має чудове з'єднання шарів, що дозволяє створювати деталі з винятковою розмірною точністю і міцністю. Це ще один універсальний високопродуктивний полімер для 3D-друку, який може замінити металеві та композитні деталі у різних галузях промисловості: від аерокосмічної та автомобільної до медичної та морської. Матеріал стійкий до вуглеводнів та рідин.



Рисунок 1.16 – PEKK: жорсткий та сильний

Деталі, надруковані за допомогою PEKK, можна піддавати термообробці після друку, щоб максимізувати властивості механічної, термічної та хімічної стійкості. Надруковані деталі матимуть прозоро-золотистий колір, а після відпалу набудуть непрозорого коричневого кольору.

PVDF (полівініліденфторид) – ще один полімер, який знаходить застосування в адитивному виробництві завдяки унікальному набору властивостей (рис. 1.17).



Рисунок 1.17 – PVDF: стійкий до екстремальних умов

Він широко використовується у високотехнологічних пристроях, таких як хімічне технологічне обладнання, напівпровідники, літій-іонні батареї та інші електричні та енергетичні пристрої. При 3D-друку демонструє дуже низьку деформацію і витримує найекстремальніші умови, навіть ядерне

випромінювання. Панелі з PVDF використовуються на космічних зондах та супутниках.

Сульфонові полімери (PPSU, PESU, PSU) – ще одна родина високоефективних пластмас (рис. 1.18). Вони поєднують у собі чудову термічну стабільність, високу міцність та ударну в'язкість, відмінну гідролітичну стабільність, прозорість та хорошу стійкість до розтріскування під впливом навколишнього середовища.



Рисунок 1.18 – PPSU: прозорий при сверхвысоких температурах

Відмінністю від сімейства PEAK є їх високі температури теплового відхилення (аналогічно PEI), і вони є єдиними термопластами, які залишаються прозорими при надвисоких температурах (204 °C) навіть після тривалого впливу. PPSU забезпечують тривалу роботу в гарячій воді та парі навіть під тиском, тому їх часто використовують для заміни латуні в системах з гарячою водою під тиском. Їх можна використовувати як легку альтернативу металу в ящиках та лотках для хірургічної стерилізації, випробуваннях імплантатів, рукоятках хірургічних інструментів та безлічі інших медичних та стоматологічних пристроїв. PPSU також широко використовується у сфері громадського харчування та в інтер'єрах салонів літаків [5].

Багато полімерів, таких як PLA, PEEK і нейлон, біосумісні за своєю природою. Але це не означає, що всі нитки для 3D-друку підійдуть. У полімерні нитки часто входять добавки або барвники, які роблять їх простіше

у використанні. Таким чином, щоб виробляти біосумісні продукти, вам потрібно почати із сертифікованої біосумісної нитки, яку виробляють лише кілька виробників, включаючи Solvay, Evonik, DSM та Stratasys (рис. 1.19).



Рисунок 1.19 – Біосумісні нитки

Ще одним фактором при виборі полімеру є те, наскільки він витримує стерилізацію та різні хімічні засоби, що дезінфікують. Деякі миючі хімікати, що використовуються для очищення, можуть почати руйнувати матеріал. Більшість виробників біосумісних ниток вказують у технічних характеристиках, чи можуть деталі, надруковані на 3D-принтері з їхнього матеріалу, витримувати певні умови.

## 1.2 Аналіз проблем якості 3D друку

Незважаючи на те, що пластикові предмети здаються несприйнятливими до вологи, філамент для 3D-друку має гігроскопічні властивості, що робить його вразливим до впливу вологи. Сушіння філаменту перед використанням є важливим кроком для забезпечення високої якості друкованих об'єктів та уникнення проблем з екструзією. Правильне зберігання та підготовка матеріалу допоможуть досягти найкращих результатів у 3D-друці [5].

Невеликий приклад із реального життя. На перший погляд здається, що ваза зліва та ваза справа зроблені з різного матеріалу. Ліва каламутна, права майже прозора, мало що спільного, крім безбарвності (рис. 1.20).

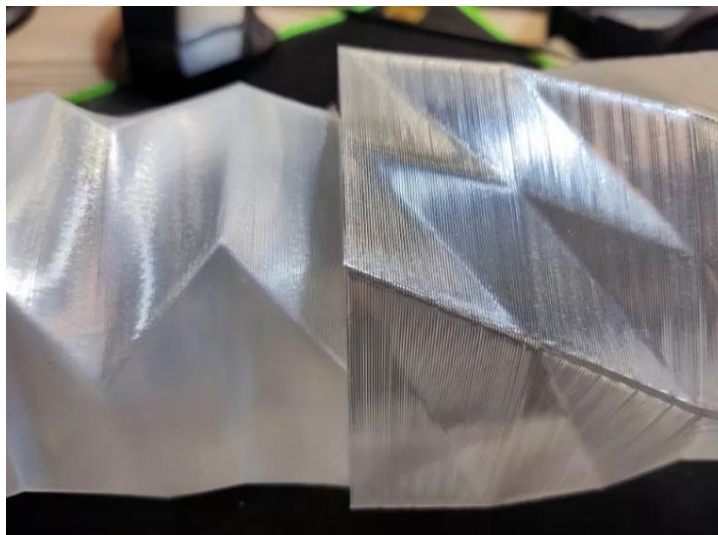


Рисунок 1.20 – Приклад пластику до сушіння та після

Зрозуміло, це той самий пластик, саме Nylon, причому з однієї котушки, лише з різницею кілька годин. Зліва до сушіння, праворуч після. З'ясовується, що пластик воду таки вбирає. Вода при цьому впливає на якість друку не на краще. Котушка зберігалася в шафі не в герметичному пакеті пару тижнів, за цей час нейлон напився води досхочу прямо з повітря. Нейлон взагалі чемпіон за спрагою, йому для цього (за сприятливих обставин) достатньо кількох годин

Інші пластики теж здатні поглинати воду в різних кількостях, причому ця здатність може відрізнятися навіть у одного типу матеріалу і навіть різних партій від одного виробника. Залежить від сировини, технології виготовлення, барвника та інших добавок.

Головний негативний ефект надлишкової кількості вологи, що виникає під час роботи з полімерами – це гідроліз, хімічне руйнування макромолекул полімеру внаслідок реакції з водою за високої температури. У 3D друку він може сприяти виявленню наступних дефектів:

– спінювання та утворення пухирів. При температурі технологічної обробки полімеру (240°C для ABS, прим.) вода випаровується, розширюється і утворюються бульбашки в полімерному розплаві, наявність яких позначається на якості поверхні та погіршує оптичні якості кінцевого виробу. Утворення даних бульбашок можна визначити за характерним тріском під час друку (рис. 1.21).



Рисунок 1.21 – Приклад спінювання та утворення пухирів при друкуванні

– патьоки та волосся. Вода знижує в'язкість полімерного розплаву, тому він стає більш плинним. Також це призводить до зміщення оптимальних налаштувань ретракту;

– виражене викривлення. Вироби з сирого матеріалу, як правило, демонструють меншу стабільність параметрів і схильні до жолоблення;

– погана міжшарова адгезія. В результаті гідролізу довгі ланцюжки макромолекул розщеплюються більш короткі. Це призводить до втрати механічних властивостей окремих елементів, які можуть призвести до розшарування під час друку або навіть виходу з ладу деталі під час експлуатації;

– продукти гідролізу часто викликають зміну кольору полімеру.

Порівнюючи видавлювання з екструдера вологого та сухого зразків видно що сухий зразок екструдер краще видавлює ніж вологий (рис. 1.22).

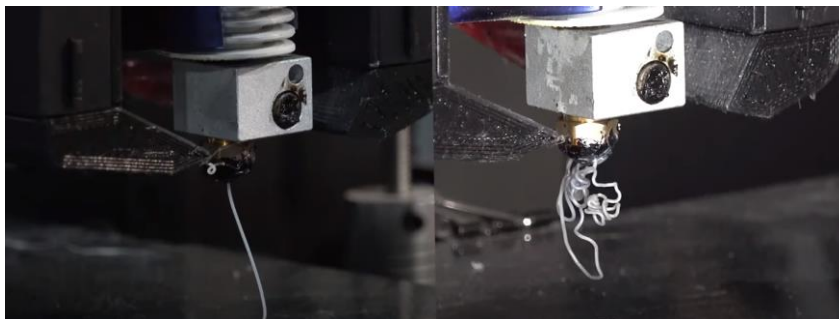


Рисунок 1.22 – Різниця між вологим пластиком і сухим на виході з сопла екструдера

Багато полімерів мають гігроскопічність - це здатність вбирати вологу з навколишнього повітря. Хіміки використовують такі поняття: гігроскопічність – це здатність убирати вологу, сорбція – процес вбирання вологи, вологість – це наповнений вологою матеріал. У якогось матеріалу гігроскопічність більша, у якогось менша. Наприклад, у поліпропілену достатньо прибрати зовнішню вологу (практично не вбирає вологу), а полімери (нейлони) сильно вбирають її [ 6].

Причина вбирання вологи з навколишнього повітря криється в самій молекулярній структурі полімеру. Вона виглядає як клубок переплутаних між собою ланцюжків молекул. У порожнечі між ланцюжками молекул і потрапляють молекули води з навколишнього повітря.

Через зайву вологу в полімері відбувається два процеси:

– спінювання пластику, його видно на роздрукованих деталях. Коли вологий пластик потрапляє в хотенд, волога в ньому закипає і тиском створює порожнини, створюючи порожнечі в масиві пластику, і нерівності на поверхні моделей. Це великі порожнечі. А мікропорожнечі всередині пластику впливають на фізико-механічні властивості на гірший бік;

– гідролітична деструкція полімерів (народно гідроліз). Відбувається руйнація ланцюжків молекул під впливом будь-якої речовини, у разі під впливом води;

Тобто, якщо надруковану деталь кинути в акваріум, її фізичні властивості не зміняться. Гідролітична деструкція відбувається під тиском та температурою. Тобто тиску та температури, які дає домашній друк, достатньо, щоб відбулася деструкція у нейлонах.

Тобто гідролітична деструкція викликає зміну ступеня полімеризації полімерів у макромолекулі.

Проблема в тому, що полімер – молекули різної довжини. Ці молекули пов'язані між собою у ланки та повторюються. А кількість ланок, що повторюються – це ступінь полімеризації.

Філаментова нитка, використовувана для 3D-друку, складається з полімерів і піддається процесу, відомому як гідроліз, якщо вона зазнає впливу води. Гідроліз – це хімічна реакція розкладання речовини взаємодіє з водою, що призводить до формування нових з'єднань. Під впливом вологості з повітря полімер може пошкодитися, особливо під час нагрівання в точці екструзії, що призводить до послаблення нитки.

Друк деталей за допомогою "вологої" нитки призведе до низької якості виготовлених виробів. Така нитка вимагає використання вищої температури для належної екструзії. Нейлонові, полікарбонатні та сополіефірні нитки особливо схильні до гідролізу.

Однією з властивостей філаменту є його здатність залучати молекули води з навколишнього повітря – це відомо як "гігроскопічність". Тому проблеми з вологою ниткою виникають, коли не дотримуються правил зберігання матеріалу для друку, що включає уникання контакту з вологою атмосферою.

Деякі типи філаментів більш вразливі до впливу вологи, ніж інші. Наприклад, нейлон може почати поглинати вологу всього через 18 годин

перебування на відкритому повітрі. Ситуація ще гірша з PVA, яке використовується для створення підтримки та розчиняється водою. Пластик PLA та ABS також можуть поглинати вологу (PLA більше, ніж ABS).

Негативний вплив вологості може виявитися не лише на філаменті, але й на вашому 3D-принтері, оскільки набряклий PLA-філамент може забити сопло принтера настільки, що доведеться його замінити [7].

### 1.3 Види обладнання для гідроциклування пластикового філаменту

Сушильні шафи для сушіння пластика є незамінним обладнанням у виробництві, де використовується 3D-друк. Вони застосовуються як на великих заводах і фабриках, так і в невеликих лабораторіях, де обробляють замовлення невеликими партіями.

На великих виробництвах існує вибір між сушильними шафами і бункерними сушарками різних модифікацій. Сушильна шафа для полімерів є універсальним обладнанням, призначеним для обробки різних видів пластиків і виробів з них. Вона оснащена нагрівачем, термостатом, піддонами з нержавіючої сталі для розміщення просушеного пластика, а також термогерметичними дверима, які забезпечують стабільність температури всередині (рис. 1.23).



Рисунок 1.23 – Сушильна шафа серії CD

Бункер-сушарки для полімерів полягає у наступному: це ємність з об'ємом від 15 до 1000 літрів, оснащена кришкою і контрольним вікном. Для процесу сушіння вона має нагрівач, вентилятор, термометр і панель керування. Цей тип сушарок підходить для сушіння як гранульованої, так і дробленої сировини.

Щодо конкретних технологій використання, бункер-сушарки для полімерів можна розділити на три типи:

Бункер-сушарки з гарячим повітрям: вони використовують вологе повітря приміщення для сушіння сировини. Цей тип сушарок простий та доступний, але менш ефективний, оскільки вологе повітря може впливати на якість процесу. Вони найбільш придатні для сировини, яка не вбирає вологу.

Бункер-сушарки з осушеним гарячим повітрям: це замкнута система, де повітря циркулює через вбудований вологопоглинач. Ці сушарки не залежать від якості повітря в цеху, оскільки повітря проходить через систему фільтрів, що видаляє вологу. Цей тип найбільш ефективний і підходить для гігроскопічної сировини.

Бункер-сушарки зі стисненим гарячим повітрям: цей тип сушарок використовує стиснене повітря, яке поглинає вологу, розширюючись

всередині бункера. Вони також ефективні для гігроскопічної сировини, оскільки стисле повітря містить мало вологи.

При виборі між бункерною сушаркою та сушильною шафою важливо врахувати особливості роботи обох типів обладнання, а також потреби конкретного виробництва.

#### 1.4 Аналіз складу сушки філаменту

Для прикладу візьмемо промислову сушильну шафу PPCD-5 (рис. 1.24)

### PPCD-5



Рисунок 1.24 – Сушильна шафа PPCD-5

Сушильна шафа PPCD-5 – це високоефективний пристрій, призначений для сушіння полімерних гранульованих матеріалів. Вона забезпечує точне регулювання температури завдяки вбудованому термоконтролеру P.I.D. Корпус сушильної шафи виготовлений з термостійкого матеріалу, а двері оснащені термостійкими ущільнювачами для запобігання викиду повітря.

Усередині шафи розміщені лотки з нержавіючої сталі, які легко рухаються по металевих напрямляючих. Це забезпечує однакову температуру сушки по всьому об'єму і мінімізує взаємодію матеріалу з контейнерами.

Сушильна шафа PPCD-5 має ефективну систему термоізоляції, що дозволяє зберігати тепло всередині і зменшує споживання електроенергії. Додаткові функції, такі як 24-годинний таймер, система контролю від перегріву реле контролю за обдувом вентиляторів, забезпечують безпеку та ефективність роботи (рис. 1.25).

Однак важливо враховувати, що ця модель може бути недосяжною для невеликих підприємств через високу вартість і значне споживання енергії [8].

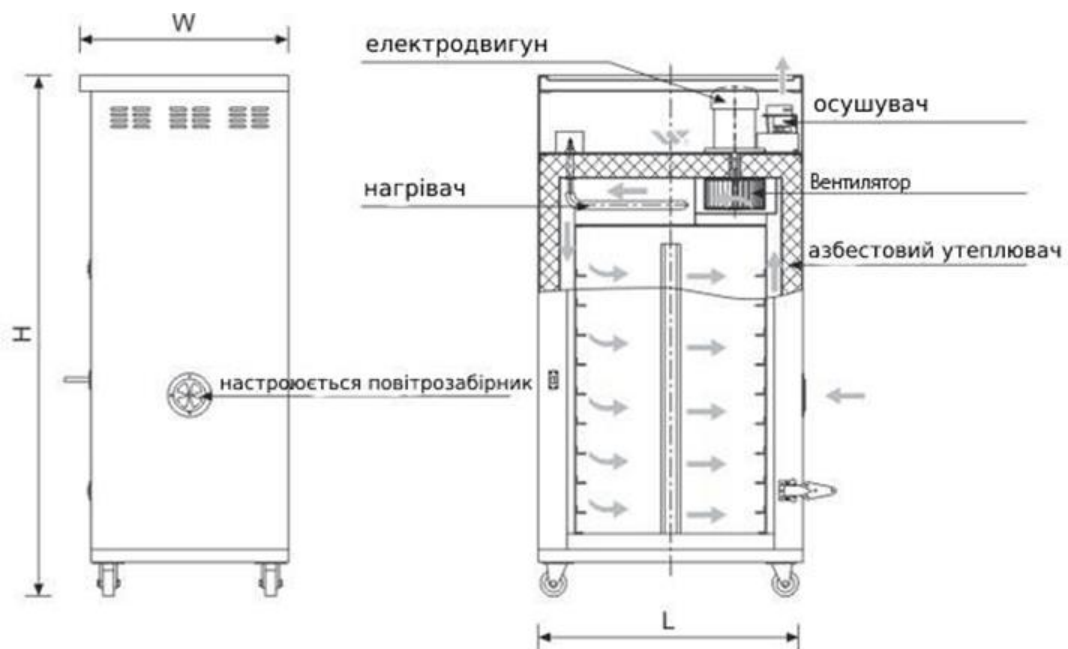


Рисунок 1.25 – Схема сушильної шафи PPCD-5

Ця модель сушильної шафи PPCD-5 має численні переваги:

- точне регулювання температури за допомогою термоконтролера P.I.D;
- термостійкий корпус;
- двері з термостійкими ущільнювачами для мінімізації викиду повітря і

підвищення ефективності сушки при економічному споживанні електроенергії;

- лотки з нержавіючої сталі, які легко рухаються і не взаємодіють хімічно з матеріалом;
- термоізований повітряно-водяний обмін для безпеки персоналу;
- регульований впуск та випуск повітря;
- 24-годинний таймер для зручного керування;
- система контролю від перегріву та реле контролю за обдувомвентиляторів для запобігання перенавантаженню;
- сигнал тривоги світлової маячкової системи для повідомлення про неполадки.

Проте, не дивлячись на всі переваги, висока вартість та значне споживання енергії можуть зробити цю модель недосяжною для невеликих підприємств, а випуск невеликих серій продукції може бути неефективним і нерентабельним.

### 1.5 Сушильні шафи зроблені власноруч

Проблему недоступності промислового сушильного обладнання для пластику, викликану високою ціною, можна вирішити шляхом створення саморобних варіантів, які можуть бути розроблені під конкретні технічні завдання та враховувати можливості користувача [9].

Саморобні сушарки часто не мають ряду додаткових функцій, і часто вибір падає саме на шафу для сушки. Це пояснюється тим, що вона є більш простою в розробці, дешевшою у відновленні та легше замінюється.

Кожна саморобна шафа відрізняється від іншої через її унікальний проект, але основні елементи будь-якої сушильної шафи включають:

- контейнер, ящик або шафу для зберігання пластику;
- нагрівач для підігріву;

– термостат для регулювання температури.

Місце для зберігання, незалежно від того, чи це контейнер, ящик або шафа, визначається його теплоізоляцією. Оптимальна теплоізоляція дозволяє зберегти енергію та знизити витрати на електроенергію для обігріву, щоб вони були в межах розумних рамок для споживача. Герметична конструкція і внутрішнє утеплення допомагають уникнути протягів та збільшують час, протягом якого обігрівальний елемент знаходиться в режимі простою.

Внутрішнє простір повинен бути достатньо великим і зручним для зберігання матеріалів. Його можна обладнати перфорованими каркасними полицями для зручного розташування котушок. Об'єм внутрішнього простору розраховується в залежності від періоду між закупівлями матеріалів.

Існує різноманіття конструкцій саморобних обігрівачів (рис. 1.26), які використовують різні типи нагрівачів, від дорогих керамічних до більш економних дротових, обмотаних на азбестову підставу. Головне, що всі ці методи ефективні. Однак вибір залежить від потреб користувача. Для стаціонарної шафи важливо вибрати відповідний стаціонарний обігрівач [10].

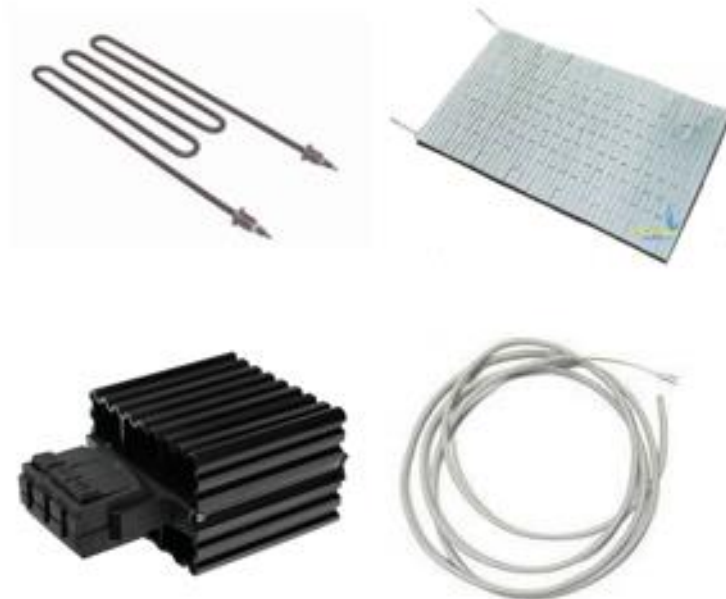


Рисунок 1.26 – Види нагрівачів

Існує готовий варіант обігрівача, який використовується для обігріву шаф управління або щитових і відомий своєю надійністю та довговічністю навіть в суворих умовах. Один з можливих варіантів – обігрівачі від Meuertec, зокрема моделі МТК, вони мають кріплення на стандартну DIN-рейку 35 мм. Ці обігрівачі побудовані на основі алюмінієвих радіаторів, які покриті термопластичною масою типу UL94VO, що не підтримує горіння. Вони оснащені терморезистором саморегулюючим з позитивним температурним коефіцієнтом. Споживана потужність цих обігрівачів залежить від температури поверхні, що забезпечує ефективну роботу та безпеку. Зворотній зв'язок між опором і споживаною потужністю запобігає перегріву елементів, забезпечуючи повну пожежну безпеку і запобігаючи окислювальним процесом.

Перевагою таких пристроїв промислового напрямку є наявність супутньої документації, в якій є різні допуски і розрахунки (рис. 1.27). Meuertec не єдиний виробник таких пристроїв, і на ринку існує багато альтернатив. Однак при розрахунку вартості зважають на ресурс роботи, заявлений виробником, який складає близько 20 тисяч годин. Розглядаючи цей час у порівнянні з вартістю, можна зробити висновок, що пристрій є надійним і доступним.



Рисунок 1.27 – Зовнішній вигляд шафи

Потужність нагрівального елемента шафи для сушки зазвичай залежить від розмірів самої шафи та її внутрішньої компоновки. Чим більший об'єм приміщення для сушіння і чим більше матеріалу треба підігріти, тим потужніше має бути нагрівач.

Для регулювання нагріву використовуються різноманітні термостати, які зазвичай є зручними у монтажі. Вони також зазвичай мають стандартні розміри і можуть бути легко встановлені на DIN-рейку. Такі термостати відомі своєю надійністю в експлуатації і простотою в обслуговуванні, що робить їх популярними серед виробників сушильних шаф [10].

## 2 КОМПЛЕКТУЮЧІ ТА РОЗРАХУНКИ

### 2.1 Розрахунки нагрівного елементу

Для процесу сушіння пластика необхідно мати наступне обладнання:

- місце зберігання матеріалів: це може бути контейнер, ящик або спеціальна шафа, де матеріали будуть зберігатися перед процесом сушіння, щоб уникнути впливу вологості;

- обігрів та підтримання температури: для сушіння пластика потрібно обігрівач, який забезпечить підтримання необхідної температури. Термостат може бути використаний для контролю температури та автоматичного регулювання нагріву;

- конвекція для руху повітря: вентилятор або конструкція конвекційного міксера допоможуть рухати тепле повітря навколо матеріалів, що сушаться. Це допомагає забезпечити рівномірне сушіння і уникнути утворення конденсату.

Інтернет пропонує різноманітні конструкції саморобних обігрівачів для сушіння пластику, від керамічних до більш екологічних та доступних. Усі ці методи працюють, і вибір конкретного варіанту залежить від потреб та можливостей кожного проекту. Проте, надійність і тривалість роботи заводських обігрівачів є ключовими факторами, які вплинули на вибір обладнання для цього проекту.

Оскільки елементи, які піддаються постійному фізичному навантаженню, є найбільш уразливими в конструкції, важливо забезпечити надійний та стабільний процес обігріву та охолодження. Термодинамічні процеси нагріву та охолодження можуть впливати на стан елементів, тому раціональним варіантом для стаціонарної шафи є використання стаціонарного обігрівача.

Моделі МТК від Meyertec – це готові варіанти обігрівачів, які вже використовуються для обігріву шаф управління або щитових. Ці обігрівачі є невеликими, але дуже надійними, тому вони добре працюють у суворих умовах протягом тривалого періоду часу. Вони мають спеціальне кріплення на стандартну DIN-рейку 35 мм, що робить їх простими у встановленні та використанні. Крім того, вони працюють постійно і без нагляду, а також мають вбудовані механізми безпеки, що забезпечують надійну роботу навіть у найскладніших умовах.

У серії МТК радіатори складаються з алюмінієвого корпусу, який покритий термопластичним матеріалом типу UL94VO, що не горить. Це сприяє забезпеченню високого рівня пожежної безпеки під час використання обладнання.

Нагрівальний елемент у серії МТК є позистором – саморегулюючим терморезистором з позитивним температурним коефіцієнтом. Електричний опір позистора залежить від температури поверхні: чим вища температура, тим менше енергії витрачається. Це забезпечує стабільну роботу обігрівача та захищає від перегріву елементів до температури 250°C, що забезпечує повну пожежну безпеку. Такий процес також унеможливорює появу окислювальних процесів та випаровування шкідливих речовин, які можуть бути присутні на поверхні високотемпературних обігрівачів.

Технічна документація, яка супроводжує пристрої промислового виробництва, є важливим елементом для правильної експлуатації та обслуговування обладнання. Вона дозволяє здійснювати необхідні розрахунки та враховувати допуски, що відображаються в потужності нагрівального елемента (табл. 2.1).

Для визначення потрібної потужності нагрівального елемента в залежності від розмірів шафи сушки та її внутрішньої компоновки застосовується відповідна формула [11].

Розрахунок потужності нагрівального елемента (P) за (2.1):

$$P = S \times k \times \Delta T - P_v, \quad (2.1)$$

де S – площа теплообміну, (мм<sup>2</sup>);

k – коефіцієнт теплопровідності;  $\Delta T$  – перепад температури, (°C);  $P_v$  – потужність розсіювання, (Вт).

Таблиця 2.1 – Формули розрахунку потужності нагрівального елемента шафи

Тип установки	Формула для розрахунку S, м <sup>2</sup>
Одна шафа, вільно стоїть	$S = 1,8 \times B \times (Ш + Г) + 1,4 \times Ш \times Г$
Одна шафа, біля стіни	$S = 1,4 \times Ш \times (B + Г) + 1,8 \times B \times Г$
Крайня шафа вільно стоїть ряду	$S = 1,4 \times Г \times (B + Ш) + 1,8 \times B \times Ш$
Крайня шафа в ряду, біля стіни	$S = 1,4 \times B \times (Г + Ш) + 1,8 \times Г \times Ш$
Чи не крайня шафа вільно стоїть ряду	$S = 1,8 \times B \times Ш + 1,4 \times Г \times Ш + Г \times B$
Чи не крайня шафа в ряду, біля стіни	$S = 1,4 \times Ш \times (B + Г) + Г \times B$
Чи не крайня шафа в ряду, біля стіни, під козирком	$S = 1,4 \times Ш \times B + 0,7 \times Г \times Ш + Г \times B$

Для розрахунку обираємо одну шафу ,біля стіни (рис 2.1).

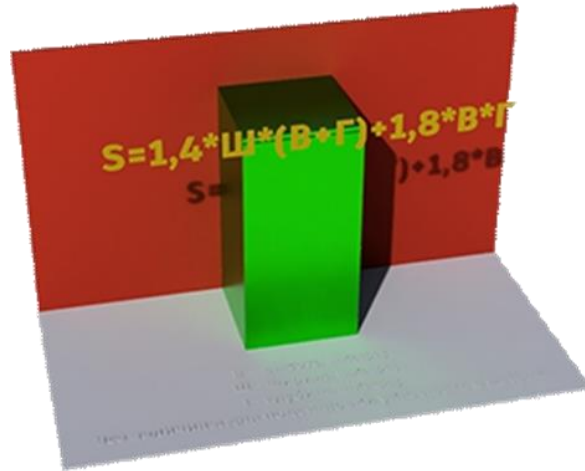


Рисунок 2.1 – Одна шафа, біля стіни

Для регулювання нагрівача використовуються різноманітні супутні термостати, які є дуже зручними у монтажі. Вони також зазвичай встановлюються на DIN-рейку, є надійними у експлуатації і простими у обслуговуванні.

Коефіцієнт теплопровідності (K) можна розрахувати за тепловим опором матеріалу (R) за (2.2).

$$k = 1/R , \quad (2.2)$$

де R – тепловий опір матеріалу.

Кількість тепла проходить через квадратний метр площі огорожі при різниці температур на 1 градус, за (2.3).

$$R = \delta/\lambda , \quad (2.3)$$

де  $\delta$  – товщина утеплювача в метрах, по факту;

$\lambda$  – розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару з урахуванням умов експлуатації огорожувальних конструкцій (Вт/(м<sup>°С</sup>), для матеріалу взяти з паспорта (утеплювача) або довідкових таблиць. Сумарний термічний опір всіх верств конструкції (м<sup>2</sup>°С/Вт), сума всіх шарів.

Якщо в шафі крім нагрівача немає інших джерел тепла, то потужність, яку виділяють електричні апарати, буде основним джерелом тепла у системі. Враховуючи це, можна обчислити сумарну потужність всіх електричних апаратів в шафі, які будуть генерувати тепло, і використовувати цю величину для дальших розрахунків щодо теплового навантаження і необхідної потужності нагрівача.

$$\Delta T = T_i - T_o, \quad (2.4)$$

де  $T_i$  – бажана температура всередині шафи;  $T_o$  – температура зовні шафи.

Бажана температура всередині шафи ( $T_i$ ) буде дорівнювати 50°С. Зовнішню температуру шафи ( $T_o$ ) будемо розраховувати мінімальний варіант, тобто -10°С.

Потужність розсіювання ( $P_v$ ). Так як потужність вашого пристрою невелика, можна припустити, що цей параметр дорівнює нулю.

Виходячи з ТЗ, а саме кількості котушок пластика 12 штук стандартного розміру і того факту що ми будемо розміщувати наш шафа біля стіни ми використовуємо формулу з таблиці 2.1.

$$S = 1,4 \times \text{Ш} \times (B + \Gamma) + 1,8 \times B \times \Gamma, \quad (2.5)$$

де  $S$  – площа теплообміну, (мм<sup>2</sup>);

$k$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\Delta T$  – перепад температури, (°С);  $P_v$  – потужність розсіювання, (Вт).Тоді:

$$S = 1,4 \times 0,33 \times (0,545 + 0,286) + 1,8 \times 0,545 \times 0,286 = 0,6644 ,$$

Тим самим ми знаходимо значення потужності нагрівального елемента для шафи яка нам підходить. Виходячи з цього ми знаходимо тепловий опір матеріалу за (2.3).

Виходячи з конструкції буде обрана така конфігурація, де кожна стінка шафи буде складатися з 4-х ізоляційних матеріалів. Буде використовуватися АБС-пластик товщиною 4 мм і у внутрішній стінці шафи і зовні, між ними буде використовуватися пінополістирол товщиною 30мм, який буде знаходитись між листами АБС-пластику, внутрішня камерасушильної шафи буде обшиватися листами нержавіючого металу товщиною 1мм.

Виходячи з формули (2.3), формула теплового опору буде:

$$R = 0,004/0,16 + 0,030/0,037 + 0,004/0,16 + 0,001/16,2 = 0,8608 ,$$

Виходячи з отриманих значень можливо розрахувати коефіцієнт теплопровідності визначається за (2.2).

Тоді:

$$K = 1/0,8608 = 1,1617 ,$$

Виходячи з цих розрахунків, можна розрахувати потужність нагрівального елемента визначається за (2.1):

$$P = 0,6644 \times 1,1617 \times 75 \approx 57,8 \text{ Вт} ,$$

## 2.2 Визначення маси вологи, яка випаровується з філаменту в процесі сушіння

Данні для розрахунку наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Вхідні данні для розрахунку

Матеріал	$\rho_b$ кг/м <sup>3</sup>	$\tau_{пр.}$ ГОД	$\tau_{во.}$ ГОД	$W_{кін.}$ %	$W_{поч.}$ %	R мм	h мм
PLA	1250	3	2	20	80	197	56
соPET	1270	3	2	20	80	197	56
ABS	1600	3	2	20	80	197	56

Маса вологи, яка випаровується з 1 м<sup>3</sup> за (2.6):

$$m_{1м^3} = \rho_b \cdot \frac{W_{поч.} - W_{кін.}}{100} \text{ кг/м}^3, \quad (2.6)$$

Для PLA пластику:

$$m_{1м^3} = 1250 \cdot \frac{80 - 20}{100} = 750 \text{ кг/м}^3 \text{ кг/м}^3,$$

Для соPET пластику:

$$m_{1м^3} = 1270 \cdot \frac{80 - 20}{100} = 762 \text{ кг/м}^3,$$

Для ABS пластику:

$$m_{1\text{м}^3} = 1600 \cdot \frac{80 - 20}{100} = 960 \text{ кг/м}^3,$$

де  $\rho_6$  – базисна (умовна) густина деревини,  $\text{кг/м}^3$

$W_{\text{поч}}$ ,  $W_{\text{кін}}$  – відповідно початкова і кінцева вологість матеріалу, що висушується, %. (За розрахунковий матеріал приймається філамент).

Маса вологи, яка випаровується за один оборот камери визначається за (2.7):

$$m_{\text{об.кам.}} = m_{1\text{м}^3} \cdot E \text{ кг/об. кам}, \quad (2.7)$$

Для PLA пластику:

$$m_{\text{об.кам.}} = 750 \cdot 0,0204 = 15,3 \text{ кг/об. кам кг/об.кам},$$

Для соPET пластику:

$$m_{\text{об.кам.}} = 762 \cdot 0,0204 = 15,5 \text{ кг/об. кам},$$

Для ABS пластику:

$$m_{\text{об.кам.}} = 1600 \cdot 0,0204 = 32,6 \text{ кг/об. кам},$$

де  $E$  – кількість матеріалу, що завантажується в камеру,  $\text{м}^3$ .

Для розрахунку кількості завантаженого матеріалу, необхідно виявити скільки філаменту вміщує кожна катушка. Для цього скористаємось формулою (2.8).

$$v = \pi R^2 h \text{ м}^3, \quad (2.8)$$

$$v = \pi R^2 h = 0,0017 \text{ м}^3,$$

Отримаємо ємність однієї котушки дорівнює  $0,0017 \text{ м}^3$  завантаженого матеріалу. Виходячи з того що шафа містить дванадцять котушок, отримаємо значення  $E$  яке дорівнює  $0,0204 \text{ м}^3$

Маса вологи що випаровується з філаменту за секунду визначається за (2.9):

$$M_c = \frac{m_{\text{об.кам.}}}{3600 \cdot \tau_{\text{с.р.}}} \text{ кг/с}, \quad (2.9)$$

Для PLA пластику:

$$M_c = \frac{15,3}{3600 \cdot 2} = 0,0021 \text{ кг/с},$$

Для соPET пластику:

$$M_c = \frac{15,5}{3600 \cdot 2} = 0,0022 \text{ кг/с},$$

Для ABS пластику:

$$M_c = \frac{32,6}{3600 \cdot 2} = 0,0045 \text{ кг/с},$$

де  $\tau_{\text{с.р.}}$  – тривалість сушіння розрахункового матеріалу, без врахування тривалості початкового прогрівання та кінцевої вологотеплообробки визначається за (2.10).

$$\tau_{\text{с.р.}} = \tau_c - (\tau_{\text{пр.}} + \tau_{\text{во.}}) \text{ год}, \quad (2.10)$$

де  $\tau_{\text{пр.}}$  – тривалість початкового прогрівання матеріалу, год;

$\tau_{\text{во.}}$  – тривалість вологообробок, год.

$$\tau_{\text{с.р.}} = 7 - (3 + 2) = 2 \text{ год ,}$$

Розрахунок маси вологи яка випаровується в камері визначається за (2.11):

$$M_p = M_c \cdot k \text{ кг/с ,} \quad (2.11)$$

де  $k$  – коефіцієнт нерівномірності сушіння, приймається  $k = 1,3$

Для PLA пластику:

$$M_p = 0,0021 \cdot 1,3 = 0,0027 \text{ кг/с ,}$$

Для соPET пластику:

$$M_p = 0,0022 \cdot 1,3 = 0,0029 \text{ кг/с ,}$$

Для ABS пластику:

$$M_p = 0,0045 \cdot 1,3 = 0,0059 \text{ кг/с ,}$$

### 2.3 Перелік комплектуючих сушильної шафи

За контроль макету відповідає плата Arduino Mega 2560 (рис. 2.2).

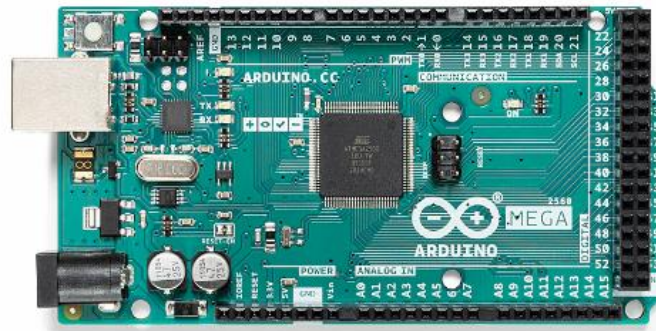


Рисунок 2.2 – Плата Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 — це мікроконтролерна плата, створена на основі мікроконтролера ATmega2560. Ця плата є однією з найбільш потужних і популярних в лінійці Arduino, що робить її ідеальним вибором для складних проектів, які потребують багато входів/виходів, великих обсягів пам'яті та значної обчислювальної потужності.

Для роботи шафи використовується блок живлення 24V 200Вт (рис. 2.3)



Рисунок 2.3 – Блок живлення 24V 200Вт

Імпульсний блок живлення 24V 8,3A 200Вт є потужним і надійним джерелом живлення, яке використовується для живлення різних електронних пристроїв та систем. Завдяки своїм характеристикам, такий блок живлення підходить для 3D-принтерів, ЧПУ станків, світлодіодних стрічок, промислового обладнання та інших додатків, що вимагають стабільної напруги та струму. Крім подавання необхідної напруги, він також слугує для стабілізації напруги, що важливо для збільшення терміну експлуатації світлодіодних пристроїв. Це дає змогу домогтися максимальної ефективності та продуктивності роботи всієї системи. Джерело живлення характеризується високою стабільністю вихідної напруги, має захист від короткого замикання й захист від перевантаження.

Для підключення екрану та датчиків керування в мене використовується плата розширення Ramps 1.4 (рис. 2.4)

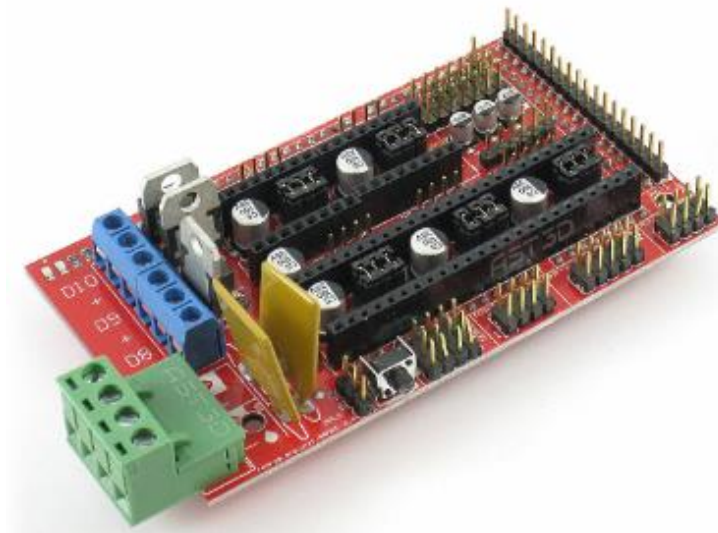


Рисунок 2.4 – Плата керування Ramps 1.4

RAMPS 1.4 – це плата розширення для мікроконтролера Arduino Mega 2560, призначена для управління 3D-принтерами та іншими роботизованими системами. Вона забезпечує зручний спосіб підключення та керування

двигунами, екструдерами, термісторами та іншими компонентами, необхідними для роботи 3D-принтера.

RAMPS 1.4 є потужним і гнучким рішенням для створення і керування складними системами, такими як 3D-принтери та ЧПУ станки. Вона забезпечує надійну роботу та легке підключення численних компонентів, що робить її ідеальним вибором для як для початківців, так і для досвідчених розробників.

До цієї плати підключається екран, який відповідає за управління шафи (рис. 2.5)



Рисунок 2.5 – LCD Модуль управління

2004 LCD Модуль управління - це компонент, що використовується для виведення інформації та взаємодії з користувачем у пристроях, які потребують відображення тексту та символів.

Основні характеристики цього модуля включають:

- розмір: модуль має 20 символів на 4 рядки (20x4), що дозволяє відображати достатню кількість інформації;
- тип дисплею: використовується рідкокристалічний дисплей (LCD), який забезпечує чітке та контрастне відображення символів;

- зв'язок: часто використовується з іншими мікроконтролерами або пристроями через протоколи зв'язку, такі як I2C або SPI;
- керування підсвічуванням: можливість керувати підсвічуванням дозволяє регулювати яскравість дисплею для оптимального зчитування в різних умовах освітлення;
- широкі можливості програмування: Модуль може бути програмований для відображення тексту, чисел, символів та графіки з використанням різних шрифтів та форматувань.

Загалом, 2004 LCD Модуль управління є надійним та універсальним компонентом для відображення інформації в різних електронних пристроях, таких як промислові контролери, різноманітні вимірювальні пристрої, а також додатки DIY (Do It Yourself).

За контроль вологості відповідає датчик DHT11 (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Датчик температури DHT11

Датчик DHT11 – це цифровий датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Складається з ємнісного датчика вологості та термістора. Також датчик містить в собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості та температури.

За контроль температури на полках відповідає два термістора (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – NTC Термістор 100кОм

NTC Термістор 100кОм широко використовується в 3D-принтерах RepRap та багатьох інших. Завдяки великому діапазону робочих температур, термістор використовується в HotEnd та підігрівних столах для вимірювання температури.

До плати управління та блоку живлення підключається реле SSR-25 DA (рис. 2.8)



Рисунок 2.8 – Реле SSR-25 DA

Реле SSR-25 DA – це вид реле зі статичним виходом (Solid State Relay), яке використовується для керування електричними навантаженнями широкому спектрі застосувань. Ось деякі ключові характеристики та функції цього реле:

Загалом, реле SSR-25 DA – є потужним та надійним компонентом для керування великими електричними навантаженнями у різних електронних системах та промислових застосуваннях.

Також до плати підключаються 3 кулера для примусової вентиляції шафи (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Кулер ID-Cooling NO-9225-SD

ID-Cooling NO-9225-SD – це вентиляційний пристрій, який використовується для охолодження обладнання або приміщень у промислових, комерційних або побутових умовах.

В цілому, кулер ID-Cooling NO-9225-SD є надійним, ефективним та простим у використанні пристроєм для охолодження приміщень або обладнання в різних умовах.

Для підтримки температури в середині камер використовується гнучкий ТЕН (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Гнучкий ТЕН 1,5 м 220V 60W

Гнучкий ТЕН 1,5м 220V 60W – нагрівальний елемент, що використовується для розморожування холодильників. Перетворює електроенергію на теплову через конвекцію. Підлягає заміні при поломці через перепади напруги.

Схема підключення модулів зображена на рисунку 2.11.

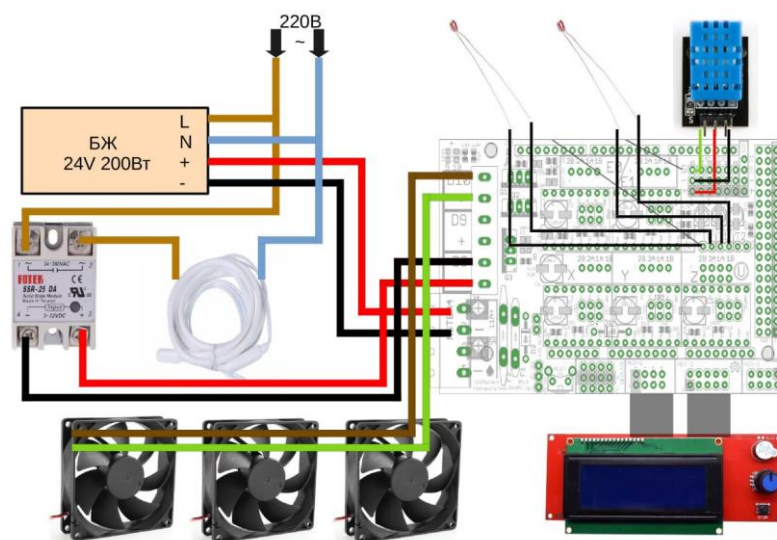


Рисунок 1.11 – Схема підключення модулів сушильної шафи.

## 3 РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ СУШИЛЬНОЇ ШАФИ

### 3.1.1 Компоновка каркасу сушильної шафи

Каркас сушильної шафи (рис. 3.1) є ключовою складовою, що забезпечує стійкість і функціональність всієї конструкції. Для створення цього каркасу використовуються матеріали, які мають оптимальні характеристики з міцності, довговічності та здатності переносити навантаження.

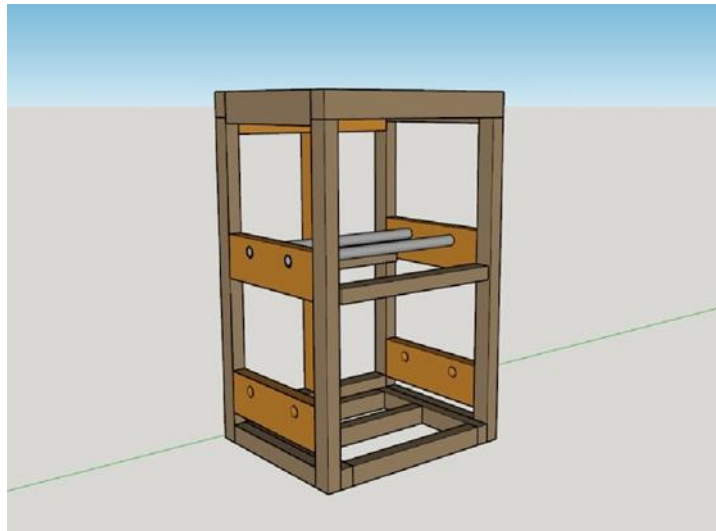


Рисунок 3.1 – Конструкція каркасу шафи гідратації пластика

Основний матеріал для каркасу – деревина, зокрема дубові бруски. Дубове дерево відоме своєю високою міцністю і довговічністю, що робить його ідеальним вибором для конструкцій, які мають витримувати значне навантаження, таке як сушильна шафа. Крім того, дубова деревина має невелике водопоглинання, що робить її стійкою до вологості та забезпечує довговічність конструкції навіть у вологих умовах.

Бруски різних розмірів використовуються для різних частин каркасу з урахуванням їхньої функціональності. Наприклад, для вертикального

розташування використовуються кутові бруски розміром  $35 \times 25 \times 509$  мм та центральний брусок  $35 \times 25 \times 390$  мм (рис. 3.2), щоб забезпечити необхідну міцність та стабільність конструкції у вертикальному напрямку.

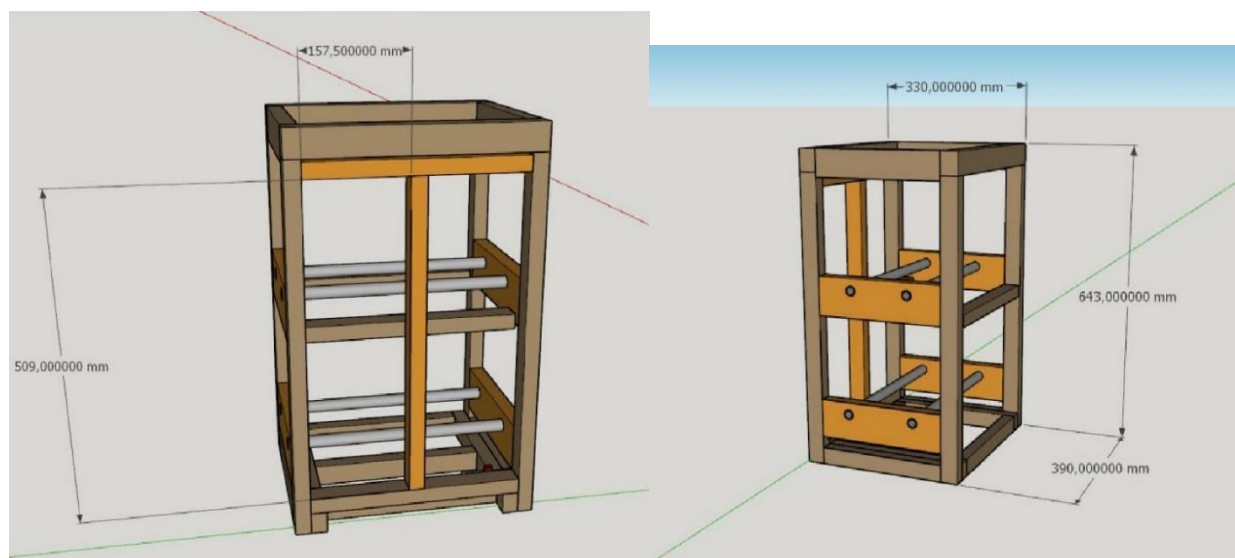


Рисунок 3.2 – Вертикальні бруски

Горизонтальні бруски розміром  $35 \times 260 \times 25$  мм (рис. 3.3) використовуються зверху і знизу для підтримки та рівномірного розподілу навантаження.

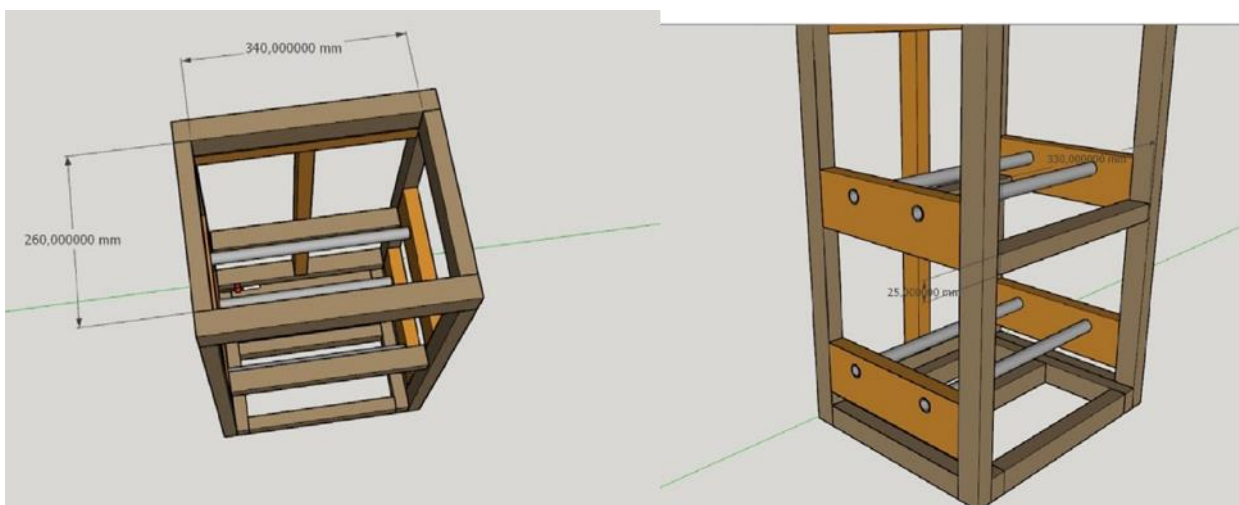


Рисунок 3.3 – Горизонтальні бруски

Додаткові бруски розміром 80×260×25 мм (рис. 3.4) з вирізами для алюмінієвих трубок встановлюються у центральній частині бічної конструкції для забезпечення додаткової міцності та підтримки для трубок (рис. 3.5), які використовуються в процесі сушіння.

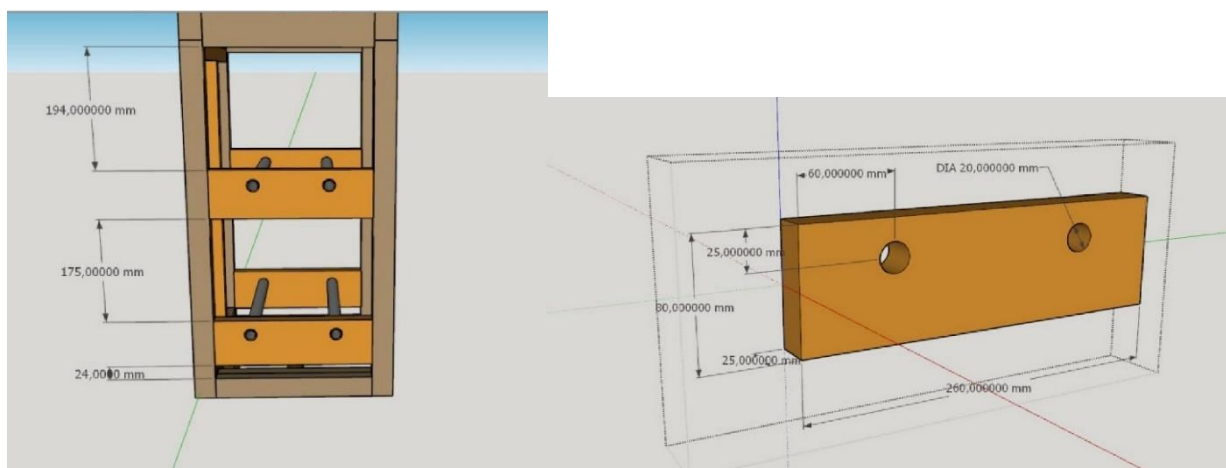


Рисунок 3.4 – Бруски для кріплення алюмінієвих трубок

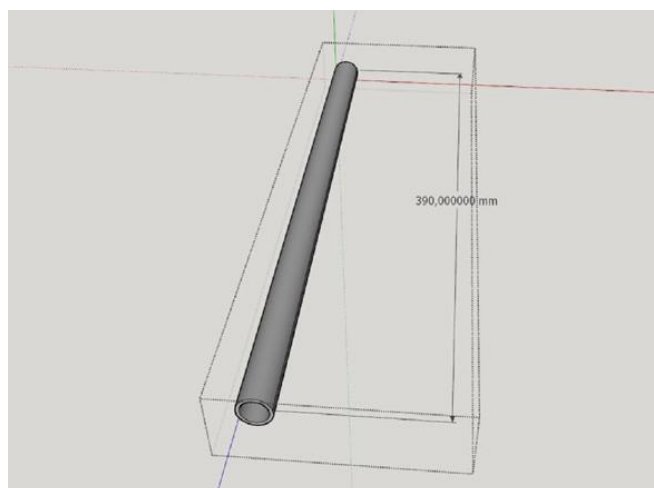


Рисунок 3.5 – Алюмінієві трубки

Для верхньої та нижньої частин каркасу (рис. 3.6) використовуються бруски розміром 390 мм діаметром 25 мм. Верхня частина каркасу потребує лише двох брусків, тоді як до нижньої додається додатковий брусок, розташований посередині, для забезпечення додаткової підтримки та стійкості конструкції.

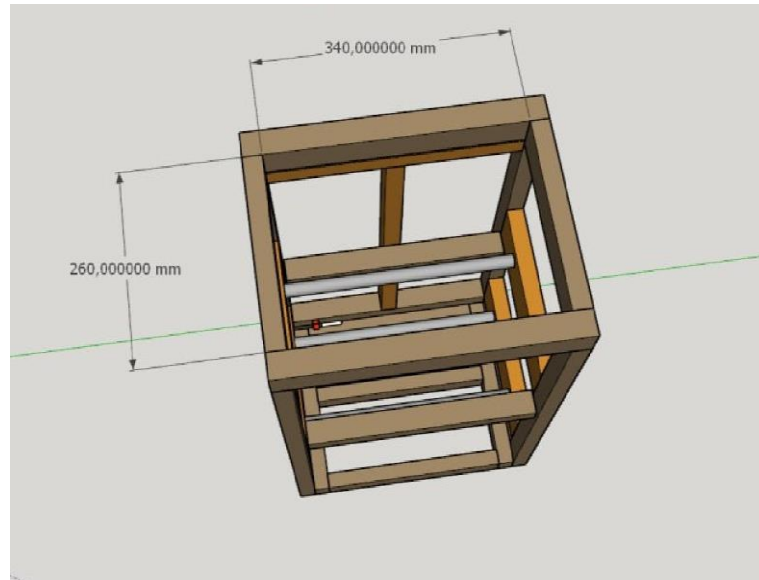


Рисунок 3.6 – Верхня та нижня частина каркасу

Загальна конструкція каркасу забезпечує необхідну міцність, стійкість та довговічність сушильної шафи, а використання дубової деревини гарантує її надійність навіть у вологому середовищі.

### 3.2 Обшивка рами сушильної шафи

Обшивка рами шафи нержавіючою сталлю та пінополістиролом обрана з урахуванням кількох важливих факторів.

Нержавіюча сталь використовується для внутрішньої обшивки конструкції з метою забезпечення високої стійкості до корозії та впливу вологи. Оскільки сушильна шафа буде використовуватися для сушіння пластикових виробів, які можуть мати високу вологостіть, необхідно матеріал, який непошкодиться від цього впливу. Нержавіюча сталь є ідеальним вибором, оскільки вона має високу міцність та стійкість до корозії, а також легко очищається від забруднень.

Бокова частина обшивається листом металу розміром 505×300 мм, що дозволяє покрити бічні поверхні шафи повністю та забезпечити їхню герметичність. Верхня і нижня частини обшиваються листами металу розміром 30×33.5 см кожен (рис. 3.7). Ці розміри забезпечують відповідне покриття

верхньої і нижньої частин шафи, що дозволяє зберегти їхню міцність та стійкість.



Рисунок 3.7 – Обшивка шафи металом

Задня стінка обшивається металевим листом розміром 500×335 мм, що забезпечує повну обшивку задньої частини конструкції (рис. 3.8).

Для утеплення використовується пінополістирол, який обшивається з усіх боків крім нижньої частини. Це дозволяє забезпечити ефективну теплоізоляцію шафи та захист від зовнішніх температурних впливів.

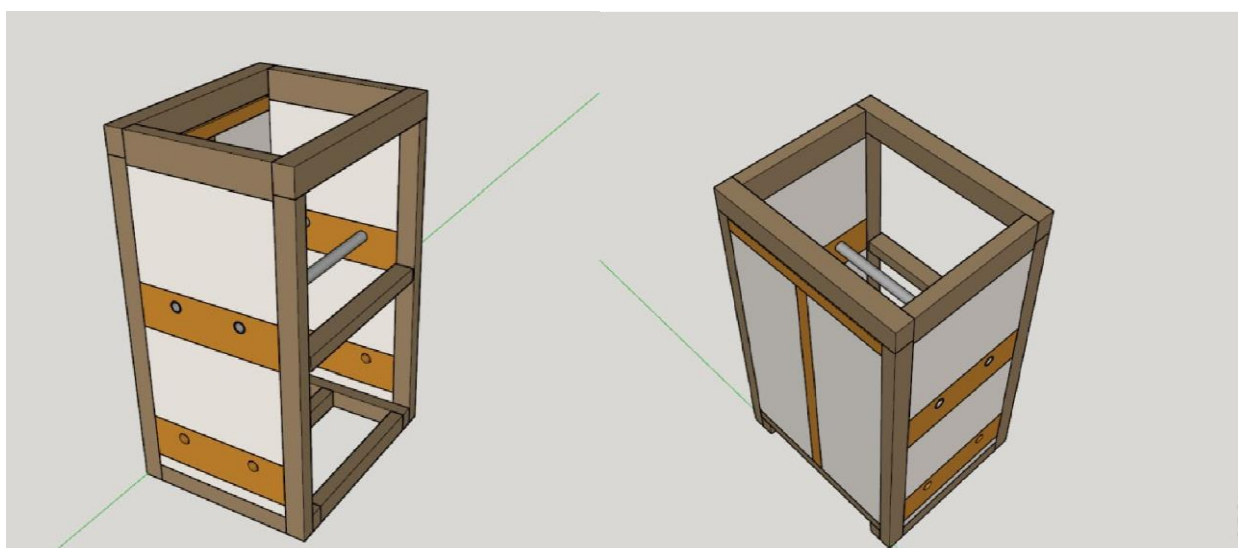


Рисунок 3.8 – Обшивка шафи пінополістиролом

Зовнішня обшивка виконується за допомогою АБС пластику (рис. 3.9), який має стійкість до впливу вологи та води, що робить його ідеальним матеріалом для захисту зовнішніх поверхонь сушильної машини в умовах, де може бути висока вологість повітря. Це дозволяє зберігати естетичний вигляд та функціональність машини протягом тривалого часу, не піддаючи її впливу корозії або деформації від вологи.

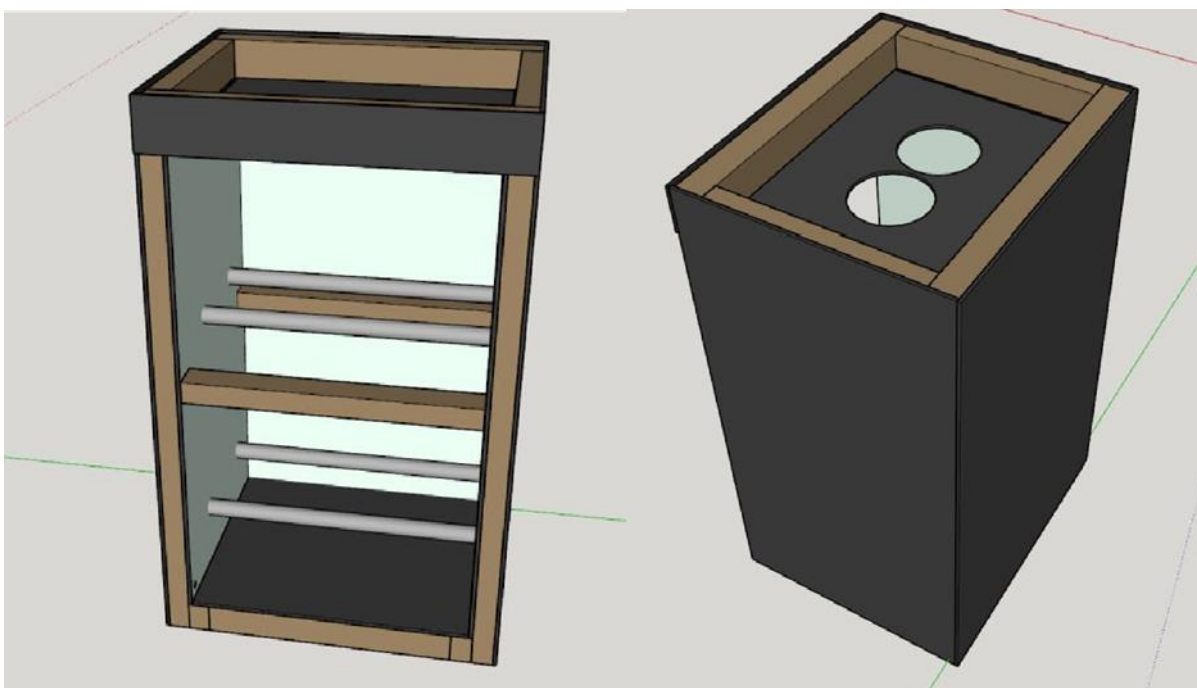


Рисунок 3.9 – Обшивка шафи АБС пластиком

### 3.3 Установка нагрівального елемента ТЕН

Установка нагрівального елемента в сушильну шафу включає кілька кроків, які забезпечують ефективне та безпечне функціонування.

Першим кроком є підготовка сталевих пластин (рис. 3.10), верхня пластина із вирізом під кулер, які знаходяться в нижній частині конструкції, ці пластини мають розміри 332×294 мм і служать як підкладка для ТЕН. Вони розміщуються на нижній полиці шафи і прикріплюються таким чином, щоббути стійкими та стабільними.

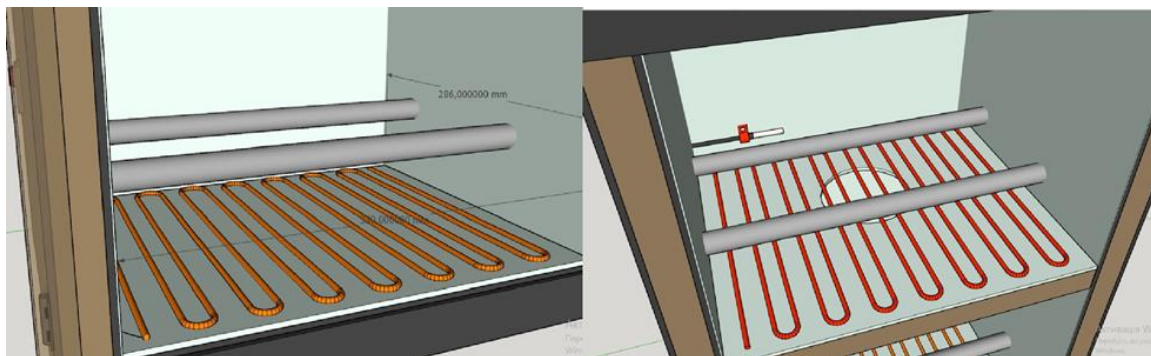


Рисунок 3.10 – Підготовка залізних пластин

Потім ТЕН розташовується на сталевих пластинах згідно з формою заготівки. Це означає, що ТЕН розміщується вздовж всієї площі пластин так, щоб забезпечити рівномірне розподілення тепла по всій шафі. ТЕН може бути прикріплений до пластин за допомогою спеціальних кріплень або зварювання (рис. 3.11).

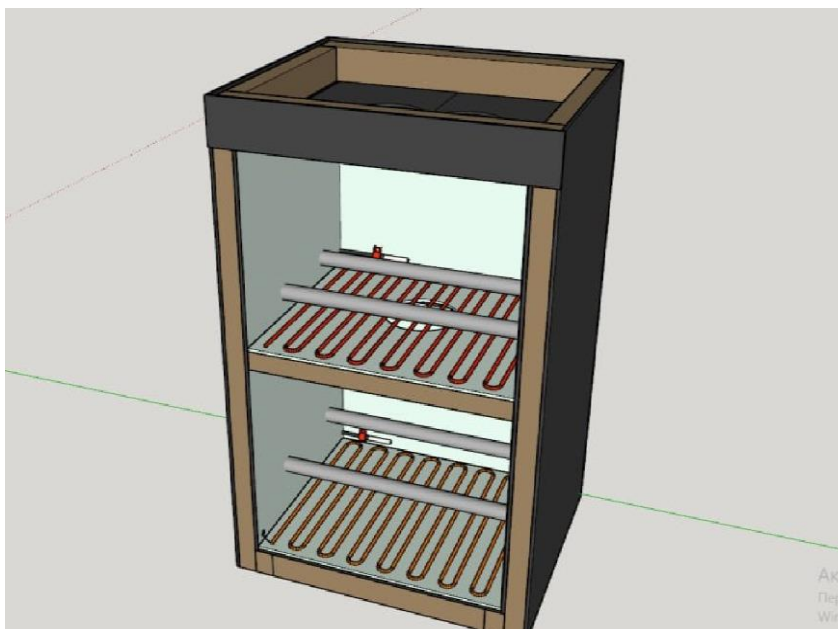


Рисунок 3.11 – Розташування ТЕН на сталеві пластини

Далі на першій та другій полиці розміщуються термістори (рис. 3.12), які служать для контролю температури всередині шафи. Проводи від цих

термісторів розведені до відповідного контролеру температури, який регулює роботу ТЕН залежно від необхідних параметрів. Цей процес забезпечує надійну та ефективну роботу сушильної шафи, забезпечуючи оптимальні умови для сушіння різних матеріалів.

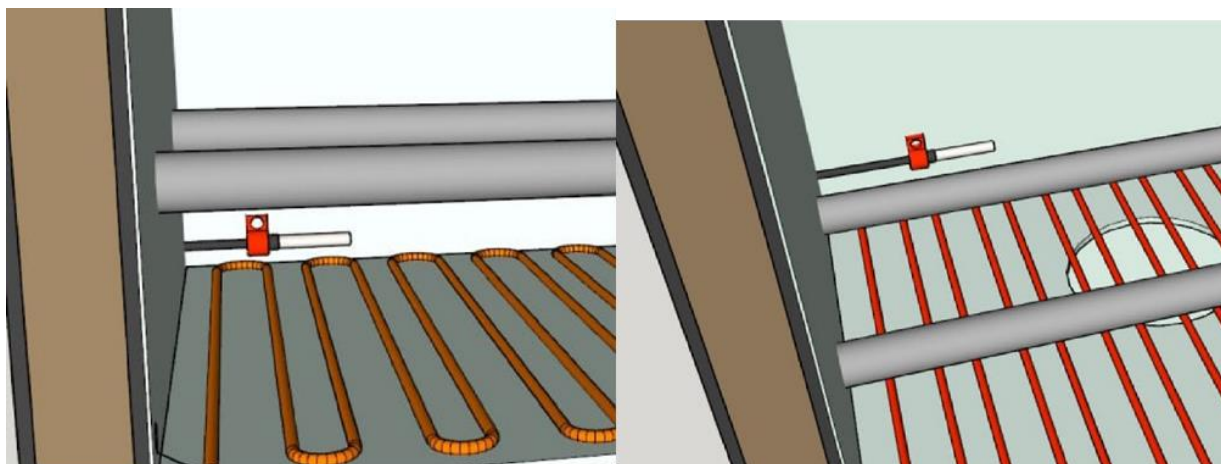


Рисунок 3.12 – Розташування термісторів

#### 3.4 Створення двірцят та збірка шафи

Полікарбонатні дверцята для сушильної шафи забезпечують не лише естетичний вигляд, але й функціональність та надійність.

Для дверей обрано полікарбонатне скло товщиною 5 мм, яке є міцним і стійким матеріалом. Воно дозволяє зберігати температурний режим, герметичність та надійність конструкції, що робить двері безпечними та естетично привабливими. Для створення додаткового шару герметизації навколо скла використовується клей, нанесений клейовим пістолетом (рис. 3.13).

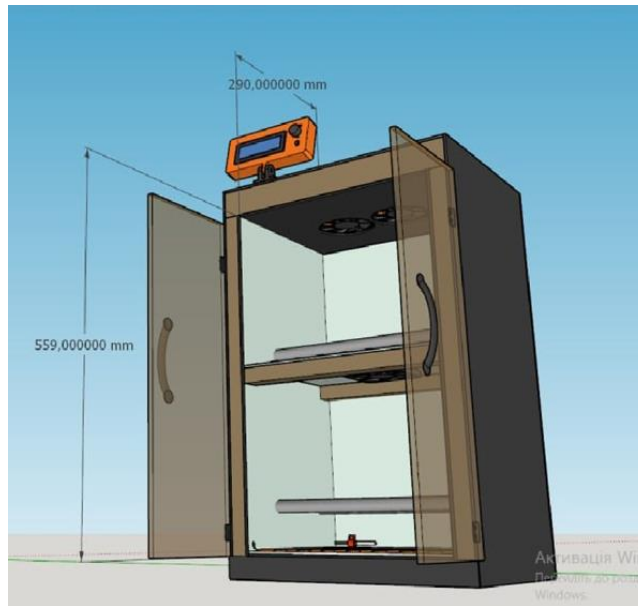


Рисунок 3.13 – Розташування полікарбонатних дверцят

Дверцята прикріплюються до шафи за допомогою петель (рис. 3.14), які монтується в середині дверей і зовнішній частині шафи. Це забезпечує плавне відкривання та закривання дверцят, а також довговічність конструкції.

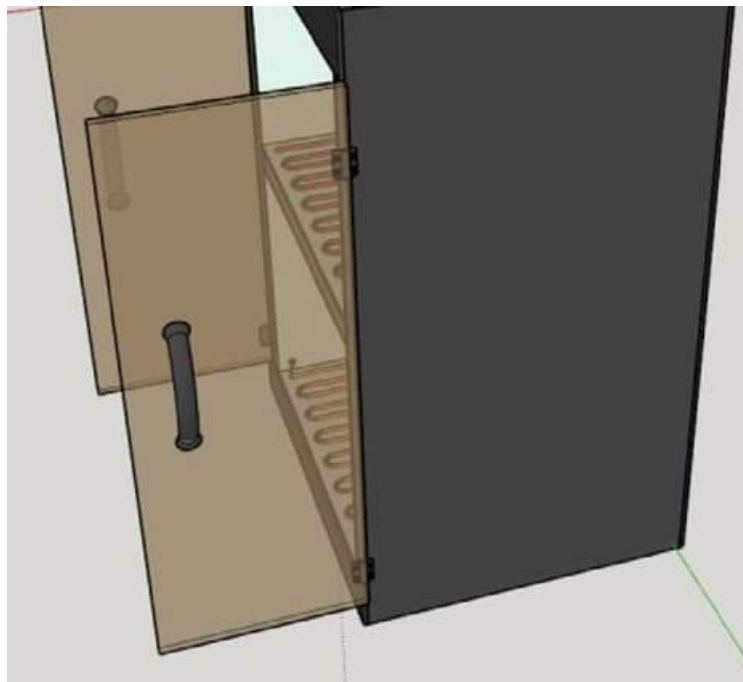


Рисунок 3.14 – Розташування петель

### 3.5 САУ для контролю температури ТЕНу

Згідно із технічним завданням заносимо початкові дані до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення параметрів САУ

Найменування	Позначення	Значення
Коефіцієнт підсилення ЗБ	$K_{ЗБ}$	1500
Коефіцієнт підсилення ТЕН	$K_{ЛТ}$	1,2
Стала часу	$T_1$ [с]	1,25
Стала часу	$T_2$ [с]	0,4
Коефіцієнт підсилення Р	$K_P$	0,0002
Стала часу ВП	$T_{ВП}$	0,02

До табл. 3.2 заносимо вимоги, яким повинна задовольняти вихідна САУ.

Таблиця 3.2 – Вимоги, щодо якості процесу управління

Найменування	Позначення	Значення
Час перерегулювання	$\sigma$	30
Час регулювання	$t_{рег}$	3

Лінійна неперервна САУ регулювання подання напруги на ТЕН (рис. 3.15) містить: ТЕН як об'єкт регулювання, плата керування (ПК), запобіжник (ЗБ), підсилювач (П) і реле (Р)

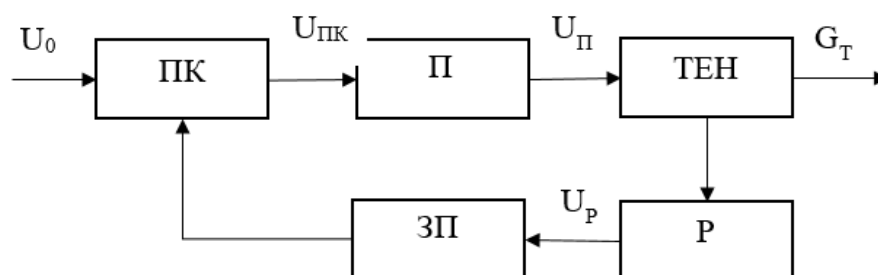


Рисунок 3.15 – Функціональна схема САУ

Лінійна неперервна САУ регулювання частотою імпульсів вмикання ТЕНу містить: ТЕН як об'єкт регулювання, вимірювальний пристрій у ланцюзі негативного зворотного зв'язку, елемент порівняння, підсилювач (П) і запобіжник (ЗБ).

Формула елемента порівняння, можливо описати рівнянням (3.1).

$$U_{ПП} = U_0 - U_p , \quad (3.1)$$

де  $U_{ПП}$  – вихідна напруга ПП;

$U_0$  – вихідне значення напруги;

$U_p$  – напруга на виході Р;

Формула підсилювача, можливо описати рівнянням (3.2).

$$U_{П} = K_{П} - U_{ПК} , \quad (3.2)$$

де  $U_{П}$  – напруга на виході підсилювача напруги;

$K_{П}$  – коефіцієнт посилення підсилювача напруги.

Передавальна функція підсилювача, можливо описати рівнянням (4.3).

$$W_{П}(s) = K_{П} , \quad (3.3)$$

Формула запобіжника, можливо описати рівнянням (3.4).

$$\frac{dG_{Т0}}{dt} = K_{Р} U_{П} , \quad (3.4)$$

де  $G_T$  – витрата току;

$K_P$ – коефіцієнт Р.

Передавальна функція коробки запобіжника, можливо описати рівнянням 3.5.

$$W_{3Б}(s) = \frac{K_P U_{\Pi}}{s U_{\Pi}} = \frac{K_P}{s} = \frac{1500}{s}, \quad (3.5)$$

Формула опису ТЕН, можливо описати рівнянням (3.6).

$$T_2^2 \frac{d^2 n_{\text{ТЕН}}}{dt^2} + T_1 \frac{dn_{\text{ТЕН}}}{dt} + n_{\text{ТЕН}} = K_{\text{ТЕН}} \left( \tau_1 \frac{dG_T}{dt} + G_T \right), \quad (3.6)$$

де  $n_{\text{ТЕН}}$  – частота вмикання ТЕНу;

$K_{\text{ТЕН}}$  – коефіцієнт посилення ТЕНу;

$T_1, T_2$  – сталі часу роботи ТЕНу.

Передавальна функція ТЕН, можливо описати рівнянням (3.7).

$W_{\text{Д}}(s) = \frac{n_{\text{ТЕН}}}{G_T},$ $W_{\text{Д}}(s) = \frac{G_T K_{\text{ТЕН}} (\tau_1 s + 1)}{(T_2 s^2 + T_1 s + 1) G_T},$ $W_{\text{Д}}(s) = \frac{K_{\text{ТЕН}} (\tau_1 s + 1)}{(T_2 s^2 + T_1 s + 1)},$ $W_{\text{Д}}(s) = \frac{1,2(1,1s + 1)}{(0,4s^2 + 1,25s + 1)}.$	(3.7)
---	-------

Формула вимірювального пристрою, можливо описати рівнянням 3.8.

$$T_P \frac{dU_P}{dt} + U_P = K_P n_{\text{ТЕН}}, \quad (3.8)$$

де  $T_P$  – стала часу  $P$ ;

$K_P$ – коефіцієнт посилення  $P$ .

Передавальна функція вимірювального пристрою, можливо описати рівнянням (3.9).

$W_P(s) = \frac{U_P}{n_{\text{ТЕН}}},$ $W_P(s) = \frac{K_P n_{\text{ТЕН}}}{(T_P s + 1) n_{\text{ТЕН}}},$ $W_P(s) = \frac{K_P}{(T_P s + 1)},$ $W_P(s) = \frac{0,0002}{(0,02s + 1)},$	(3.9)
---	-------

Структурна схема нескоригованої системи зображена на (рис. 3.16).

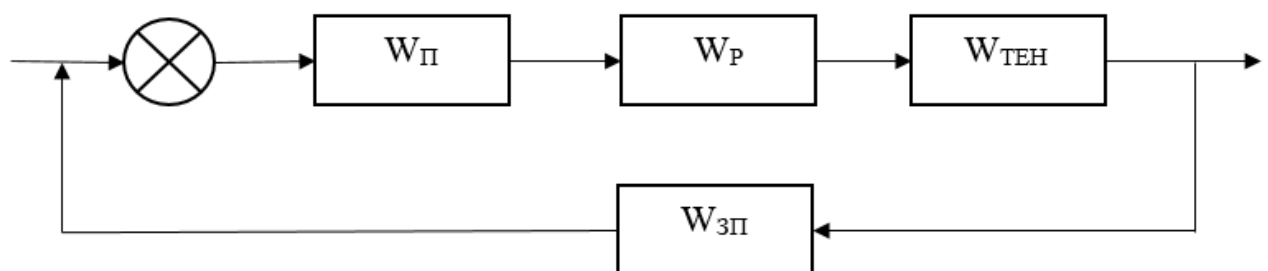


Рисунок 3.16 – Структурна схема нескоригованої системи

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Правила роботи з сушильною шафою

Підготовка до роботи:

Працівник повинен мати першу групу з електробезпеки.

- щорічно проходити медичний огляд у обсязі та терміни, затверджені наказом ректора;
- перед початком роботи працівник зобов'язаний ознайомитися з інструкцією з експлуатації сушильної шафи та пройти необхідний інструктаж.

Загальні вимоги:

- працівник повинен дотримуватися правил внутрішнього розпорядку;
- використовувати санітарно-гігієнічний одяг, спецодяг та інші засоби індивідуального захисту відповідно до чинних норм;
- чітко знати і дотримуватися інструкцій з пожежної безпеки;
- забороняється самовільно відкривати або ремонтувати електрообладнання сушильної шафи.

Перед початком роботи:

- перевірити стан електропроводки та наявність заземлення;
- переконатися у справності шафи та всіх її компонентів;
- перевірити наявність та справність засобів індивідуального захисту (рукавичок, захисних окулярів тощо).

Під час роботи:

- заборонено залишати сушильну шафу без нагляду під час її роботи;
- не перевантажувати шафу надмірною кількістю матеріалів;
- під час завантаження і розвантаження шафи використовувати відповідні інструменти та засоби індивідуального захисту;

- дотримуватися встановлених температурних режимів і часу роботи шафи;
- не торкатися нагрівальних елементів або внутрішніх частин шафи під час її роботи.

Після завершення роботи:

- вимкнути сушильну шафу з мережі;
- дати шафі охолонути перед розвантаженням матеріалів;
- перевірити стан шафи і, за необхідності, провести її очищення.

Дії у разі надзвичайних ситуацій:

- у разі виявлення несправного обладнання або відсутності засобів індивідуального захисту негайно повідомити завідувача кафедрою;
- у разі пожежі або задимлення негайно вимкнути живлення шафи, повідомити пожежну службу та евакуюватися з приміщення;
- у разі нещасного випадку потерпілий або очевидець повинні негайно сповістити завідувача лабораторією.

Дотримання гігієнічних норм:

- дотримуватися правил особистої гігієни, санітарно-гігієнічного та протиепідемічного режиму;
- забезпечити регулярне прибирання робочого місця та приміщення.

Для роботи з сушильною шафою працівник повинен мати першу групу з електробезпеки. Щорічно працівник зобов'язаний проходити медичний огляд у обсязі та терміни, затверджені наказом ректора. Працівник зобов'язаний дотримуватися правил внутрішнього розпорядку.

#### 4.2 Техніка безпеки при роботі з філаментом для 3D-друку

Працівник повинен бути забезпечений санітарно-гігієнічним одягом, спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до чинних типових норм і використовувати їх за призначенням. Необхідно чітко знати і

дотримуватися інструкцій з пожежної безпеки. Про кожний нещасний випадок потерпілий або свідок повинні негайно повідомити завідувача лабораторією.

Якісна система вентиляції виробничих приміщень є необхідною умовою для організації ефективного та безпечного робочого процесу. Експлуатація промислових об'єктів та різноманітного обладнання для виготовлення продукції часто супроводжується викидами шкідливих речовин, тепла, газів, пилу, металевих та полімерних часток, а також надмірної вологи. Це формує основне завдання системи вентиляції у виробничих цехах: ефективне видалення забрудненого повітря і забезпечення приміщень свіжим повітрям. У приміщеннях із концентрованими викидами небезпечних речовин зазвичай використовуються місцеві витяжні системи. Таке обладнання швидко видаляє основні забруднення під час їх виникнення, але не забезпечує належного припливу свіжого повітря. Тому для виробничих приміщень найкращим рішенням є застосування припливно-витяжної вентиляції [12].

Вентиляція виробничих приміщень може бути реалізована як природна або примусова припливно-витяжна система. Оптимальний тип вентиляції обирається залежно від технологічного процесу, архітектурних особливостей будівлі та кількості людей у цеху. Найкращі показники обсягу та якості повітрообміну в приміщенні забезпечує децентралізована промислова система вентиляції. Припливно-витяжна вентиляція дозволяє створювати різні мікрокліматичні зони в межах одного приміщення без необхідності зведення стін та додаткових перегородок.

– сушіння та попереднє нагрівання пластичних матеріалів повинні проводитися в технологічному обладнанні, що виключає забруднення повітря робочої зони шкідливими речовинами;

– сушіння полімерних порошкових матеріалів для видалення залишкових кількостей вологи повинна здійснюватися в закритих апаратах під розрідженням;

- завантаження прес-порошку в бункери прес-автоматів, реактопласт-автоматів, роторних ліній та таблетмашин має бути механізовано;
- технологічне обладнання повинне виключати пиловиділення;
- при вивантаженні гарячих виробів із пластмас із технологічного обладнання повинен бути виключений безпосередній контакт працівників із цими виробами. Охолодження виробів необхідно здійснювати у передбачених для цього укриттях або спеціальних приміщеннях, обладнаних витяжною вентиляцією;
- вивантаження виробів із пластмас із печей повинне проводитися після остигання їх у печах до температури, що не перевищує 40 °С, при працюючій місцевій вентиляції;
- допускається вивантаження виробів із пластмас із печей при температурі, що не перевищує 150 °С, у спеціальні контейнери, розміщені під аспіраційними пристроями, до повного остигання виробів;
- при обробці виробів із пластмас у камерах машин (при нагріванні, промиванні, обробці виробів) перебування працівників усередині камер забороняється;
- при виготовленні та використанні свинцевих форм повинні дотримуватися заходів безпеки, що запобігають забрудненню свинцем повітря робочої зони та шкірних покривів працівників.

Мономери. Більшість із них виділяються в процесі поліконденсації, вони надзвичайно реактивні та біологічно агресивні. Виробничий контакт з цими речовинами може викликати ураження шкіри та слизових оболонок, печінки, органів дихання, центральної нервової системи, індукувати канцерогенез, алергічні захворювання, позначитися на репродуктивній функції організму.

Добавки, що застосовуються у виробництві полімерних сполук. Їх токсичність може бути більшою за токсичність основного полімеру. Використання при виготовленні пластмас різних наповнювачів, які в основному є порошкоподібними речовинами, досить часто викликає запиленість повітря

робочої зони, що може призвести до бронхолегеневої захворюваності працівників. Пил також утворюється на стадіях сушіння, дроблення, шліфування, просіювання деяких полімерів.

Газоподібні речовини та пил. Залежно від їхньої концентрації та тривалості впливу можуть призвести до різних змін в організмі працівників. Діапазон цих порушень досить широкий - від змін окремих показників гемостазу до розвитку гострих та хронічних інтоксикацій та захворювань. Клінічні прояви останніх залежать від переважання тих чи інших компонентів, що використовуються під час виробництва та обробки полімерних сполук.

Гігієнічні вимоги до полімерних матеріалів залежать від їх застосування. Головне, щоб полімери були нешкідливими у токсикологічному відношенні.

Слід максимально обмежувати контакт працівників, особливо рук та інших відкритих частин тіла із шкідливими речовинами; також слід використовувати захисний спецодяг та засоби індивідуального захисту.

Важливе значення має теплоізоляція нагрітого обладнання та комунікацій, герметизація обладнання, забезпечення ефективної роботи вентиляційних установок.

Дотримання цих правил допоможе забезпечити безпечну та ефективну роботу з сушильною шафою та філаменатами.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено всебічний аналіз актуальності шафи для гідратації пластику. Це дозволило довести важливість використання такої шафи для підтримання пластику в оптимальному стані, що знижує ймовірність появи дефектів деталей та пошкодження сопла 3D принтера. Було проведено порівняння властивостей вологого та сухого пластику та їх впливу на процес друку. Було проведено детальний аналіз вимог що до зберігання пластику.

Проведено аналіз різних видів пластику, таких як PLA, ABS, PETG, та інших, і визначено оптимальні параметри зберігання для кожного з них. Це дозволило підібрати відповідні умови та обладнання для кожного типу пластику.

Виявлено проблеми якості 3D друку. Наведено види обладнання для гідродації пластикового філаменту. Розібрано переваги та недоліки саморобних сушильних шафів.

Проведено розрахунки нагрівального елемента. В результаті чого було знайдено значення потужності нагрівального елемента для шафи та тепловий опір матеріалу. Також була розрахована маса вологи, яка випаровується з філаменту в процесі сушіння.

Розібрана детальна компоновка сушильної шафи. Зроблена 3D модель враховуючи всі необхідні розміри деталей та елементів шафи. Був встановлен оптимальний температурний режим сушіння для кожного виду філаменту.

Результати експериментів підтвердили, що розроблена шафа ефективно підтримує пластик у потрібному стані, що мінімізує ризик дефектів під час 3D-друку та зменшує зношування сопла принтера.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.

3. 3-D принтер [Електроний ресурс] / Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер>. – 10.05.2021. – Загол. з екрану; дата використання [11.05.2024].

4. ABS пластик [Електроний ресурс] / Режим доступу: <https://3dua.com.ua/abs-plastik>– 10.05.2021. – Загол. з екрану; дата використання [11.05.2024].

5. O. Polishchuk, M. Bonek, M. Skyba, A. Polishchuk, S. Lisevich Prospects of using composite filaments with high metal content for manufacture of industrial machine building products method of 3d printing. Monograph: editer by Musial J., Polishchuk O., Skyba M. Bydgoszcz, Poland, 2021. P. 390–396.

6. Важливість сушіння філаменту перед друком та вплив вологості на якість друку. [Електроний ресурс] Режим доступу: [/https://3dprintingindustry.com/](https://3dprintingindustry.com/) – Загол. з екрану; дата використання [15.05.2024].

7. Рекомендації щодо сушіння різних видів філаментів, включаючи температурні режими та тривалість сушіння для PLA, ABS, PETG, Nylon та інших матеріалів [Електроний ресурс] Режим доступу: [/https://help.prusa3d.com/article/drying-filament\\_332086](https://help.prusa3d.com/article/drying-filament_332086) – Загол. з екрану; дата використання [20.05.2024].

8. ЯКИЙ ПЛАСТИК ДЛЯ 3D ДРУКУ КРАЩЕ ВИБРАТИ? [Електроний ресурс] / Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/plastik-dlia-3d-pechati/> - Загол. з екрану; дата використання [20.05.2024].

9. Сушка філаменту [Електроний ресурс]/ <https://www.3devo.com/blog/3-ways-to-dry-filament> - Загол. з екрану; дата використання [22.05.2024].

10. Що таке сушарка для ниток і навіщо вона потрібна? [Електроний ресурс] Режим доступу: / <https://www.makeuseof.com/filament-dryer-why-you-need-one> - Загол. з екрану; дата використання [22.05.2024].

11. 3D-друк з нуля [Електроний ресурс] / Режим доступу: <https://books.google.com.ua/books?id=ZPjqDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=3%D0%B4+%> - Загол. з екрану; дата використання [24.05.2024].

12. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. No 2694-XII : станом на 1 жовт. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> - Загол. з екрану; дата використання [13.06.2024].