

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра КІТАР
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)

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Долгошеї Івану Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка термошафи для зберігання філаменту для 3D друку»
Затверджена наказом по університету від 03.06.2024 р. №544 СТ
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.06.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення 12В, середовище програмування Arduino IDE, підтримання температури 25 градусів
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
Вступ; Аналіз літератури за темою; Розробка апаратної реалізації проекту; Обґрунтування прийнятих рішень апаратної реалізації розробки; Засоби та результати електронної реалізації розробки; Проектування та створення термошафи; Розробка конструкції термошафи; Вибір матеріалів для конструкції; Побудова прототипу термошафи; Інтеграція електронної системи управління; Висновки; Додатки

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

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації в форматі ppt 12 с.

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання технічного завдання	24.04 – 26.04.24	виконано
2	Аналіз літературних джерел та аналогічних пристроїв	26.04 – 02.05.24	виконано
3	Огляд та аналіз сучасних способів зберегання філаменту	02.05 – 05.05.24	виконано
4	Складання розділу про розробку апаратної частини	05.05 – 17.05.24	виконано
5	Складання розділу про проектування та створення термошафи	17.05 – 23.05.24	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unichesk	16.06 – 17.06.24	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	17.06 – 18.06.24	виконано
8	Подання роботи на рецензію	19.06 – 22.06.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	22.06 – 24.06.24	виконано
10	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	25.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 24.04.2024 р.

Студент _____ Долгошея І.Д.
(підпис)

Керівник роботи _____ ст. викл. Гурін Д.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата 12.06.2024

Підпис



Долгошея І.Д.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с., 2 табл., 31 рис., 2 дод., 31 джерело.

3D ДРУК, ЗБЕРЕГАННЯ ФІЛАМЕНТУ, ТЕРМОШАФА.

Мета роботи – підвищення строку придатності філаменту для 3D друку, шляхом розробки термошафи для його зберігання.

Об'єкт розробки – процес зберігання філаменту для 3D друку.

Предмет розробки – макет термошафи для зберігання філаменту.

Для досягнення мети було проведено аналіз аналогів термошаф. Проведений аналіз вибору типу конструкції проекту. Визначення вимог до термошафи для зберігання філаменту. Обрано апаратно-програмну платформу. Розроблено електронну схему. Розроблено 3D моделювання прототипу термошафи. Проведено вибір матеріалу термошафи. Інтеграція електронної системи управління. Розроблена автоматична система управління температурою. Розробка конструкції термошафи, що відповідає вимогам. Оформлено роботу відповідно до стандартів та рекомендацій.

ABSTRACT

Explanatory note: 62 p., 2 tables, 31 figures, 2 applications, 31 sources.

3D PRINTING, STORAGE OF FILAMENT, HEATE CHAMBER.

The purpose of the work is to increase the shelf life of the filament for 3D printing by developing a thermal cabinet for ego storage.

The object of development is the process of storing filament for 3D printing.

The subject of development is the layout of a thermal cabinet for filament storage.

To achieve the goal, an analysis of thermal cabinet analogs was carried out. The analysis of the choice of the design type of the project was carried out. Determination of requirements for a thermal cabinet for filament storage. The hardware and software platform is selected. An electronic circuit has been developed. 3D modeling of the prototype of the thermal cabinet has been developed. The selection of the material of the thermal cabinet has been carried out. Integration of the electronic control system. An automatic temperature control system has been developed. Development of the design of the thermal cabinet that meets the requirements. The work is completed in accordance with standards and recommendations.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз літератури за темою.....	11
1.1 Аналіз існуючих методів та пристроїв для зберігання філаменту для 3D друку	11
1.1.1 Технологія SLA.....	11
1.1.2 Технологія SLS	11
1.1.3 Технологія DLP.....	12
1.1.4 Технологія EBM	12
1.1.5 Технологія НРМ (FDM) НРМ	13
1.2 Виявлення недоліків існуючих рішень	13
1.3 Визначення вимог до термошафи для зберігання філаменту	14
1.4 BLENDER 3D.....	16
2 Розробка апаратної частини проєкту	20
2.1 Розробка електронної системи управління температурою у термошафі	20
2.2 Засоби та результати електронної реалізації розробки	21
2.3 Процес програмної реалізації роботи.....	30
3 Проєктування та створення термошафи	36
3.1 Розробка конструкції термошафи, що відповідає вимогам	36
3.2 Вибір матеріалів для конструкції термошафи.....	37
3.3 Побудова прототипу термошафи.....	39
3.4 Інтеграція електронної системи управління.....	43
3.5 Теорія автоматичного управління для двигуна постійного струму.....	44
3.5.1 Частотні критерії стійкості.....	44
3.5.2 Рішення задачі	49
Висновки.....	54
Перелік джерел посилання.....	58
Додаток А Лістинг програми.....	58

Додаток Б Демонстраційний матеріал	62
--	----

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

DLP – цифровая обработка света;

EBM – электронно-лучевая плавка;

FDM – моделирование методом наплавления.

SLA – стереолитография;

SLS – селективное лазерное спекание;

ВСТУП

У сучасному світі 3D-друк визначається як одна з найбільш перспективних технологій виробництва. Однак при використанні філаменту для 3D-друку, особливо термопластичних матеріалів, важливо забезпечити їх правильне зберігання, оскільки вони дуже чутливі до впливу температури. У зв'язку з цим, розробка термошафи для зберігання філаменту для 3D друку є актуальною та важливою задачею.

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення строку придатності філаменту для 3D друку, шляхом розробки термошафи для його зберігання.

У сучасному виробництві 3D-друку росте популярність використання різноманітних термопластичних матеріалів. Щоб забезпечити якісний та ефективний друкарський процес, важливо мати засоби для зберігання філаменту в найкращих умовах. Отже, розробка термошафи для зберігання філаменту є актуальною.

Об'єкт розробки – процес зберігання філаменту для 3D друку.

Предмет розробки – макет термошафи для зберігання філаменту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз існуючих методів зберігання філаменту для 3D друку;
- визначення вимог до термошафи з точки зору зберігання філаменту;
- розробка концепції та дизайну термошафи;
- вибір кращих матеріалів для виготовлення термошафи;
- виготовлення прототипу термошафи та проведення експериментальних випробувань;
- оцінка ефективності, функціональності та придатності розробленої термошафи для зберігання філаменту для 3D друку.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], використовуючи методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи [2] та методичні вказівки.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ

1.1 Аналіз існуючих методів та пристроїв для зберігання філаменту для 3D друку

Існують різні технології тривимірного друку. Різниця між ними полягає у способі накладання шарів виробу. Найбільш поширеними є SLS (селективне лазерне сплетення), FDM (накладення шарів розплавлених матеріалів) та SLA (стереолітографія). Найбільшого поширення завдяки високій швидкості побудови об'єктів набула технологія стереолітографії або SLA.

1.1.1 Технологія SLA

Технологія працює так: лазерний промінь прямує на фотополімер, після чого матеріал твердне. Як фотополімер використовується напівпрозорий матеріал, який деформується під дією атмосферної вологи. Після затвердіння він легко піддається склеюванню, механічній обробці та фарбуванню. Робочий стіл (елеватор) знаходиться у ємності з фотополімером. Після проходження через полімер лазерного променя та затвердіння шару робоча поверхня столу зміщується вниз.

1.1.2 Технологія SLS

Спікання порошкових реагентів під дією лазерного променя – воно ж SLS – єдина технологія 3D друку, яка застосовується при виготовленні форм як для металевих, так і пластмасових лиття. Пластмасові моделі мають відмінні механічні якості, завдяки яким вони можуть використовуватися для виготовлення повнофункціональних виробів. У SLS технології використовуються матеріали, близькі за властивостями марок кінцевого продукту: кераміка, порошковий пластик, метал. Пристрій 3D принтера виглядає так: порошок наноситься на поверхню елеватора і спікається під дією лазерного променя в твердий шар, що відповідає параметрам моделі та визначає її форму [3].

1.1.3 Технологія DLP

Технологія DLP – новачок на ринку тривимірного друку. Стереолітографічні друкарські апарати сьогодні позиціонуються як основна альтернатива FDM обладнання. Принтери цього типу використовують технологію цифрової обробки світлом. Багато хто запитує: чим друкує 3D принтер даного зразка? Замість пластикової нитки та нагрівальної головки для створення тривимірних фігур використовуються фотополімерні смоли та DLP-проектор. Вперше почути про DLP 3d принтер, що це таке – цілком слушне питання. Незважаючи на хитромудру назву, пристрій майже не відрізняється від інших настільних друкарських апаратів. До речі, його розробники, вулиці компанії QSQM Technology Corporation, уже запустили в серію перші зразки високотехнологічного обладнання.

1.1.4 Технологія EBM

Варто зазначити, технології SLS/DMLS – далеко не єдині в галузі друку металом. Сьогодні для створення металевих тривимірних об'єктів широко використовується електронно-променева плавка. Лабораторні дослідження показали, що використання металевого дроту для пошарового наплавлення при виготовленні високоточних деталей малоефективне, тому інженери розробили спеціальний матеріал – металогліну.

Металева глина, що використовується як чорнило під час електронно-променевої плавки, виготовляється із суміші органічного клею, металеві стружки й певної кількості води. Для того, щоб перетворити чорнило на твердий об'єкт, його потрібно нагріти до температури, при якій клей і вода вигорять, а стружка сплавиться між собою моноліт.

Примітно, що цей принцип також використовується під час роботи з SLS принтерами. Але на відміну від них, EBM-апарати генерують для плавки металоліни направлені електронні імпульси замість лазерного променя. Потрібно зазначити, що даний метод забезпечує високу якість друку та відмінне промальовування дрібних деталей. На сьогоднішній день продаються тільки

промислові принтери, що використовують технологію FDM.

1.1.5 Технологія FDM (FDM) FDM

Дає можливість створювати не лише моделі, а й кінцеві деталі зі стандартних, конструкційних та високоефективних термопластиків. Це єдина технологія, що використовує термопластики виробничого класу, що забезпечують механічну, термічну і хімічну міцність деталей, що не має аналогів. Друк за технологією FDM вигідно відрізняється чистотою, простотою використання та придатністю для застосування в офісі. Деталі з термопластика стійкі до високих температур, механічних навантажень, різних хімічних реагентів, вологого або сухого середовища. Розчинні допоміжні матеріали дозволяють створювати складні багаторівневі форми, порожнини та отвори, які було б проблематично отримати звичайними методами. 3D-принтери, що діють за технологією FDM, створюють деталі шар за шаром, розігріваючи матеріал до напіврідкого стану та видавлюючи його відповідно до створених на комп'ютері шляхів. Для друку за технологією FDM використовується два різні матеріали – з одного (основного) складатиметься готова деталь та допоміжного, який використовується для підтримки. Нитки обох матеріалів подаються з відсіків 3D-принтера в друкувальну головку, яка пересувається залежно від зміни координат X і Y, і наплавляє матеріал, створюючи поточний шар, доки основа не переміститься вниз і не почнеться наступний шар. Коли 3D-принтер завершить створення деталі, залишається відокремити засобом, після цього виріб готовий до використання. Як і технології, відрізняються один від одного і самі принтери. Якщо у вас принтер, який працює за SLA, то технологію SLS на ньому застосувати буде неможливо, тобто кожен принтер створений лише під певну технологію друку [4].

1.2 Виявлення недоліків існуючих рішень

Перш ніж перейти до розробки термошафи для зберігання філаменту для 3D друку, важливо провести аналіз існуючих рішень на ринку. Виявлення недоліків у

вже існуючих продуктах допоможе зрозуміти, які аспекти потребують поліпшення та в чому полягають основні вимоги користувачів. Ось деякі можливі недоліки, які можна виявити [5]:

- недостатня теплоізоляція: деякі термошафи можуть мати недостатню теплоізоляцію, що може призводити до перегрівання філаменту або зниження його якості;

- нестійкість температури: іншим недоліком може бути нестабільність температури всередині шафи. Важливо, щоб вона залишалася на потрібному рівні, що допоможе уникнути деформації або пошкодження філаменту;

- неефективна вентиляція: погана вентиляція може викликати конденсацію всередині термошафи, що може пошкодити філамент або призвести до утворення плісняви;

- обмежений обсяг: деякі термошафи можуть мати обмежений обсяг, що може бути проблемою для користувачів, які працюють із великими катушками філаменту;

- неадекватна система управління температурою: не всі термошафи мають ефективну систему управління температурою, що може ускладнювати роботу з ними та знижувати їхню ефективність.

Виявлення цих недоліків у існуючих рішеннях допоможе зорієнтуватися у вимогах ринку та покращити проект нової термошафи для зберігання філаменту для 3D друку.

1.3 Визначення вимог до термошафи для зберігання філаменту

3D друк надає можливості у різних сферах. В архітектурі, наприклад, 3D друк дозволяє створювати об'ємні макети будівель або навіть цілих мікрорайонів з усією інфраструктурою – скверами, парками, дорогами та вуличним освітленням [6].

Завдяки дешевому гіпсовому композиту, що використовується при цьому, забезпечується низька собівартість готових моделей. А понад 390 тисяч відтінків СМУК дозволяють у кольорі втілити будь-яку, навіть найсміливішу фантазію

архітектора [7].

У будівництві є всі підстави припускати, що в майбутньому набагато прискориться і спроститься процес зведення будівель. Каліфорнійськими інженерами створено систему 3D друку для великогабаритних об'єктів. Вона працює за принципом будівельного крана, що зводить стіни із шарів бетону. Такий принтер може звести двоповерховий будинок лише протягом 20 годин. Після чого робітникам залишиться лише провести оздоблювальні роботи. 3D House поступово завоюють міцні позиції 3D принтери та у дрібносерійному виробництві. У медицині завдяки технологіям тривимірного друку лікарі отримали можливість відтворювати копії людського скелета, що дозволяє точніше відпрацювати прийоми, що підвищують гарантії успішного проведення операцій.

Усе більше застосування знаходять 3D принтери в області протезування в стоматології, так як ці технології дозволяють набагато швидше отримати протези, ніж при традиційному виготовленні. Нещодавно німецькими вченими була розроблена технологія отримання людської шкіри. При її виготовленні використовується гель, отриманий із клітин донора. А в 2011 році вченим вдалося відтворити живу людську нирку. Можливості, які відкриває 3D друк у багатьох сферах діяльності людини, справді безмежні. Стрімкий розвиток технологій адитивного друку було б неможливим без сучасного програмного забезпечення. Раніше доводилося довго освоювати графічні редактори та вивчати ази інженерного моделювання для створення елементарних предметів [8].

Сьогоднішній софт для 3D принтера дозволяє практично повністю автоматизувати друкований процес та значно спростити поводження з високотехнологічною технікою [9].

Програмне забезпечення для 3D принтера можна розділити на кілька категорій:

- програми для сканування об'єктів та створення об'ємних моделей;
- софт зі створення моделей з чистого листа;
- програми для обробки 2D фотографій.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця програм тривимірного моделювання

Програмний продукт	fre	Експорт/імпор т STL-файлів	3D в реальному часу / віртуальна реальність	ОС	Моделювання
T-Flex Cad 3D	-	+	+	Windows	+
Google Sketchup	+	+	-	Windows, Mac OS	+
Autodesk 3Ds Max	-	+	+	Windows	+
Autodesk Maya	-	+	+	Windows, Mac OS, Linux	+
Blender 3D 2. 78	+	+	+	Windows, Mac OS, Linux	+

1.4 BLENDER 3D

Для створення 3D моделей ідеально підходить програма Blender 3D. Blender-вільний, професійний пакет створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає засоби моделювання, анімації, рендерингу, постобробки та монтажу відео зі звуком, компонування за допомогою «вузлів» (Node Compositing), а також для створення інтерактивних ігор. Сьогодні користується найбільшою популярністю серед безкоштовних 3D редакторів у зв'язку з його швидким та стабільним

розвитком, якому сприяє професійна команда розробників [10].

Характерною особливістю пакету Blender є його невеликий розмір у порівнянні з іншими популярними пакетами для 3D-моделювання. Функції пакету:

- підтримка різноманітних геометричних примітивів, включаючи полігональні моделі, систему швидкого моделювання в режимі subdivision surface (SubSurf), криві Безьє, поверхні NURBS, metaballs (метасфери), скульптурне моделювання та векторні шрифти;

- універсальні вбудовані механізми рендерингу та інтеграція із зовнішнім рендерером YafRay, LuxRender та багатьма іншими;

- інструменти анімації, серед яких інверсна кінематика, скелетна анімація та сіточна деформація, анімація по ключових кадрах, нелінійна анімація, редагування вагових коефіцієнтів вершин, обмежувачі, динаміка м'яких тіл (включаючи визначення колізій об'єктів при взаємодії), динаміка тв система волосся на основі частинок;

- Python використовується як засіб створення інструментів та прототипів, системи логіки в іграх, як засіб імпорту/експорту файлів (наприклад, Collada), автоматизації завдань;

- базові функції нелінійного редагування та комбінування відео;

- Game Blender – підпроект Blender, що надає інтерактивні функції, такі як визначення колізій, двигун динаміки та програмована логіка. Також він дозволяє створювати окремі real-time програми, починаючи від архітектурної візуалізації до відео ігор.

Спочатку Blender мав репутацію програми, яка була складною для вивчення. Практично кожна функція має відповідне їй поєднання клавіш, і, враховуючи кількість можливостей, що надаються Blender, кожна клавіша включена більш ніж одне поєднання (shortcut). З того часу, як Blender став проєктом із відкритим вихідним кодом, були додані повні контекстні меню до всіх функцій, а використання інструментів зроблено більш логічним та гнучким. Було покращено користувальницький інтерфейс із запровадженням колірних схем, прозорих плаваючих елементів, новою системою перегляду дерева об'єктів та різними

дрібними змінами.

Відмінні риси інтерфейсу користувача:

– режими редагування. Два основних режими: об'єктний режим (Object mode) та режим редагування (Edit mode), які перемикаються клавішею Tab. Об'єктний режим в основному використовується для маніпуляцій з індивідуальними об'єктами, а режим редагування – для маніпуляцій із фактичними даними об'єкта. Наприклад, для полігональної моделі в об'єктному режимі ми можемо переміщати, змінювати розмір і обертати модель повністю, а режим редагування використовується для маніпуляції окремих вершин конкретної моделі. Також є кілька інших режимів, таких як Vertex Paint та UV Face select;

– широке використання гарячих кнопок. Більшість команд виконуються з клавіатури. До появи 2.x і особливо 2.3x версії, це був єдиний шлях виконувати команди, і це була найбільша причина створення репутації Blender'у як складної для вивчення програми. Нова версія має повніше графічне меню;

– управління робочим простором. Графічний інтерфейс Blender'a складається з одного або кількох екранів, кожен з яких може бути поділений на секції та підсекції, які можуть бути будь-якою частиною інтерфейсу Blender'a. Графічні елементи кожної секції можуть контролюватись тими ж інструментами, що й для маніпуляції в 3D просторі, наприклад, можна зменшувати та збільшувати кнопки інструментів тим самим шляхом, що й у 3D перегляді. Користувач повністю контролює розташування та організацію графічного інтерфейсу, це уможлиблює налаштування інтерфейсу під конкретні завдання, такі як редагування відео, UV mapping та текстуровання, та приховування елементів інтерфейсу, які не потрібні для даного завдання. Цей стиль графічного інтерфейсу дуже схожий на стиль, який використовується у редакторі UnrealEd карт для гри Unreal Tournament.

Робочий простір Blender'a вважається однією з найпрогресивніших ідей інтерфейсу для графічних інструментів та оновленим дизайном графічного інтерфейсу [11].

Додаткові особливості:

– є можливість налаштовувати об'єкти відразу після додавання на сцену

(встановлювати кількість полігонів, поворот і радіус). Після однієї зміни цього об'єкта зробити це буде неможливо;

– у програмі Blender сутність, що взаємодіє з навколишнім світом та її дані (форма або функції об'єкта) поділяються на об'єкти та дані. Дані є ставленням 1:n (термін, що відноситься до теорії баз даних, означає можливість декількох об'єктів використовувати одні й ті самі дані – один до багатьох або сюр'єкція);

– внутрішня файлова система, що дозволяє зберігати кілька сцен в єдиному файлі (називається .blend файл);

– усі ".blend" файли сумісні як з старішими, так і з новими версіями Blender. Також всі вони переносяться з однієї платформи на іншу і можуть використовуватися як засіб перенесення створених раніше робіт;

– Blender робить резервні копії проєктів під час усієї роботи програми, що дозволяє зберегти дані за непередбачених обставин.

Усі сцени, об'єкти, матеріали, текстури, звуки, зображення, post-production ефекти можуть бути збережені в єдиний ".blend" файл. Налаштування робочого середовища можуть бути збережені в ".blend" файл, завдяки чому при завантаженні файлу ви отримаєте саме те, що зберегли в нього. Файл можна зберегти як «за замовчуванням користувача», і кожного разу при запуску Blender ви отримуватимете необхідний набір об'єктів і підготовлений до роботи інтерфейс користувача [12].

Тим не менш, внутрішній зміст ".blend" файлу менш схоже на структурований опис об'єктів та їх взаємовідносин, і ближчий до прямого дампа області пам'яті програми. Це робить практично неможливим перетворення ".blend" файлів на інші формати. При цьому слід помітити дуже сучасний механізм експорту в різноманітні формати, такі як obj ,dxf ,stl ,3ds та інші (список поступово зростає).

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ПРОЄКТУ

2.1 Розробка електронної системи управління температурою у термошафі

Розробка електронної системи управління температурою в термошафі є важливим етапом при створенні комфортного та ефективного середовища для зберігання різних видів матеріалів або обладнання. При розробці такої системи варто враховувати кілька ключових аспектів [13].

По-перше, важливо обрати датчики температури, які надійно та точно вимірюють параметри середовища в термошафі. Це можуть бути, наприклад, термістори з інтерфейсом для зчитування даних. По-друге, потрібно розробити алгоритми управління, які забезпечать автоматичне регулювання температури у заданих межах. Ці алгоритми можуть бути базовими (наприклад, просте увімкнення обігріву при падінні температури) або складнішими, із урахуванням багатьох факторів (наприклад, динамічне регулювання температури в залежності від змін зовнішніх умов). По-третє, система повинна мати інтерфейс для користувача, який дозволить встановлювати бажані параметри температури, а також відслідковувати їх зміни в реальному часі. Це може бути LCD-дисплей із кнопками керування або веб-інтерфейс із можливістю дистанційного керування через Інтернет.

Крім того, важливо передбачити заходи безпеки, такі як аварійне вимкнення системи в разі перевищення критичних значень температури, а також механізми автоматичного відновлення роботи після відновлення нормальних умов [14].

Таким чином, розробка електронної системи управління температурою у термошафі вимагає інтеграції різноманітних компонентів, від датчиків і алгоритмів управління до інтерфейсу користувача та системи безпеки, із метою створення надійної, ефективною та зручної у використанні системи контролю середовища.

У системі управління температурою в термошафі також можуть бути реалізовані додаткові функції, які підвищать її ефективність та зручність

використання. Наприклад, можливість програмування режимів роботи заздалегідь, що дозволить автоматично змінювати параметри середовища відповідно до заданих графіків або робочих процесів.

Крім того, важливо забезпечити систему моніторингу та звітності, яка дозволить відслідковувати та аналізувати дані про температуру протягом тривалого часу. Це допоможе виявити тенденції та аномалії в роботі системи, а також планувати регулярне обслуговування та підтримку.

Застосування сучасних технологій управління, таких як інтеграція з хмарними сервісами або використання штучного інтелекту для прогнозування змін у середовищі, може покращити продуктивність та надійність системи, а також забезпечити її готовність до майбутніх викликів і тенденцій у галузі.

Таким чином, розробка електронної системи управління температурою в термошафі є складним завданням, яке вимагає комплексного підходу та використання сучасних технологій. Правильно розроблена система забезпечить найкращі умови зберігання матеріалів або обладнання, збільшить їх термін служби та зменшить витрати на управління середовищем [15].

2.2 Вибір та обґрунтування апаратної реалізації

Список електрокомпонентів, що були обрані для розробки:

- плата Arduino UNO;
- вентилятор корпусний 12025 12 В 3pin, 120 мм x 120 мм x 25 мм;
- датчик температури аналоговий датчик LM35DZ;
- повітряний ТЕН 12 В;
- дисплей LCD 1602 з синєю підсвіткою;
- блок живлення 12 В 50 А Metall S-600-12;
- релейний модуль 5 вольт 1 канал.

Arduino Uno – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328 (datasheet). До його складу входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися як ШИМ-виходи), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) та кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм досить просто подати живлення від AC/DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою кабелю USB. Arduino UNO представлена на рисунку 2.1.

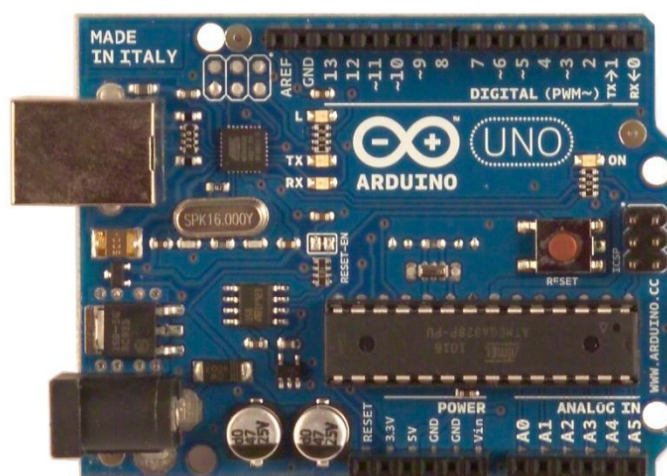


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд Arduino UNO [16]

Характеристики та особливості:

- мікроконтролер ATmega328;
- робоча напруга 5 В;
- напруга живлення (рекомендована) 7-12 В;
- напруга живлення (гранична) 6-20 В;
- цифрові входи/виходи 14 (з них 6 можуть використовуватися як ШИМ-виходи);
- аналогові входи 6;
- максимальний струм одного виводу 40 мА;
- максимальний вихідний струм виведення 3,3 В 50 мА;

- flash-пам'ять 32 кБ (ATmega328) з яких 0,5 кБ використовуються завантажувачем;

- SRAM 2 кБ (ATmega328);

- EEPROM 1 кБ (ATmega328);

- тактова частота 16 МГц.

Вентилятор корпусний 12025 12 В 3pin, 120 мм x 120 мм x 25 мм: Невеликий продуктивний вентилятор типорозміру 12025 з напругою живлення 12 В. Відрізняється непоганою продуктивністю за відносно низьким рівнем шуму. Вентилятор представлений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд вентилятора 120 мм x 120 мм x 25 мм 12 В [17]

Характеристики та особливості:

- тип вентилятора: гідродинамічний шарикопідшипник;

- розміри: 120 мм x 120 мм x 25 мм;

- роз'єм: 3 пін;
- номінальна напруга: 12 В;
- номінальний струм: 0,08 А;
- номінальна швидкість обертання: $2750 \pm 10\%$ об/хв;
- максимальна споживана потужність(Вт): 1,6 Вт;
- ресурс: 35000/50000 годин;
- матеріал: пластмаса.

Повітряні ТЕНи в усьому світі вважаються найбільш універсальним типом електричних нагрівачів як для промислової галузі, так і для побутового застосування. Повітряні трубчасті нагрівачі застосовуються для нагрівання повітря, негорючих газів і пар, для пристроїв вентиляції та кондиціонування повітря, в сушильних пристроях. Повітряний ТЕН представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд ТЕНу [18]

Характеристики та особливості:

- мінімальний діаметр трубки: 6 мм;
- максимальний діаметр: 18 мм;
- напруга живлення: 12 В;
- матеріал ТЕНу: нержавіюча сталь;
- середовище, що нагрівається: повітря.

LCD дисплей 1602 з синім підсвічуванням для Arduino має два рядки по 16 символів у кожному. Працює зі стандартною бібліотекою LiquidCrystal із постачання Arduino IDE. LCD дисплей представлений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вид дисплею LCD 1602 [19]

Характеристики та особливості:

- розміри: 80 мм x 36 мм;
- робота дисплея: у 4 бітному режимі;
- робоча температура: 0 ~ 50 °С;
- підсвічування: синє;

- лінійність $+ 10,0 \text{ мВ/}^\circ\text{С}$;
- точність перетворення $0,5 \text{ }^\circ\text{С}$ (при $+25 \text{ }^\circ\text{С}$);
- робочий діапазон вимірювань від 0 до $+100 \text{ }^\circ\text{С}$;
- робочий діапазон напруги від $+4$ до $+30 \text{ В}$;
- споживаний струм менше 60 мкА ;
- малий саморозігрів $0,08 \text{ }^\circ\text{С}$;
- нелінійність перетворення $\pm 1/4 \text{ }^\circ\text{С}$;
- малий вихідний опір.

Блок живлення $12 \text{ В } 50 \text{ А Metall S-600-12}$ призначений для підключення світлодіодних стрічок, ламп, моніторів, ноутбуків, камер відеоспостереження та РК-телевізорів. Блок живлення (адаптер) $12 \text{ В } 50 \text{ А}$ має стабілізовану вихідну напругу 12 В постійного струму. Цей блок живлення має захисний металевий корпус та вбудований кулер, який забезпечує відмінне охолодження. Блок живлення $12 \text{ В } 50 \text{ А}$ має відмінну стабільність вихідної напруги. Блок живлення представлений на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд блоку живлення $12 \text{ В } 50 \text{ А Metall S-600-12}$ [21]

Характеристики та особливості:

- тип блоку живлення: імпульсний;
- розмір: 240 мм x 125 мм x 65 мм;
- вага: 1,1 кг;
- ззаду є кулер охолодження;
- корпус блоку: метал;
- вхідна напруга: 110-240 В \pm 15%;
- вихідна напруга: 12 В;
- вихідний струм: 50 А;
- потужність: 600 Вт;
- вологозахист: ні.

Релейний модуль 5 вольт 1 канал: релейний блок для різних проєктів, дозволяє контролеру керувати потужнострумовим навантаженням. У своєму складі містить 1 потужне реле, що дозволяє комутувати струм до 10 А, при змінній напрузі 220 вольт. На платі є індикація включення. Релейний модуль представлений на рисунку 2.7.

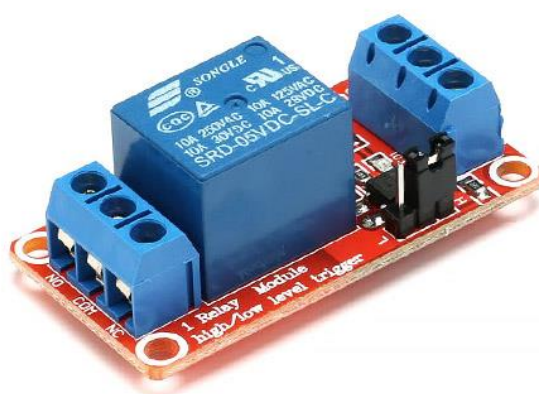


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд релейного модуля [22]

Характеристики та особливості:

- керуючий сигнал – 5 В;
- комутований сигнал (змінний струм) – 250 В/10 А;
- комутований сигнал (постійний струм) – 30 В/10 А;
- час відгуку – <20 мс;
- напрацювання на відмову – 100 000 перемикань;
- розміри – 50 мм х 25 мм х 18 мм;

Зв'язок між компонентами електричної схеми можна побачити на рисунках 2.8 та 2.9.

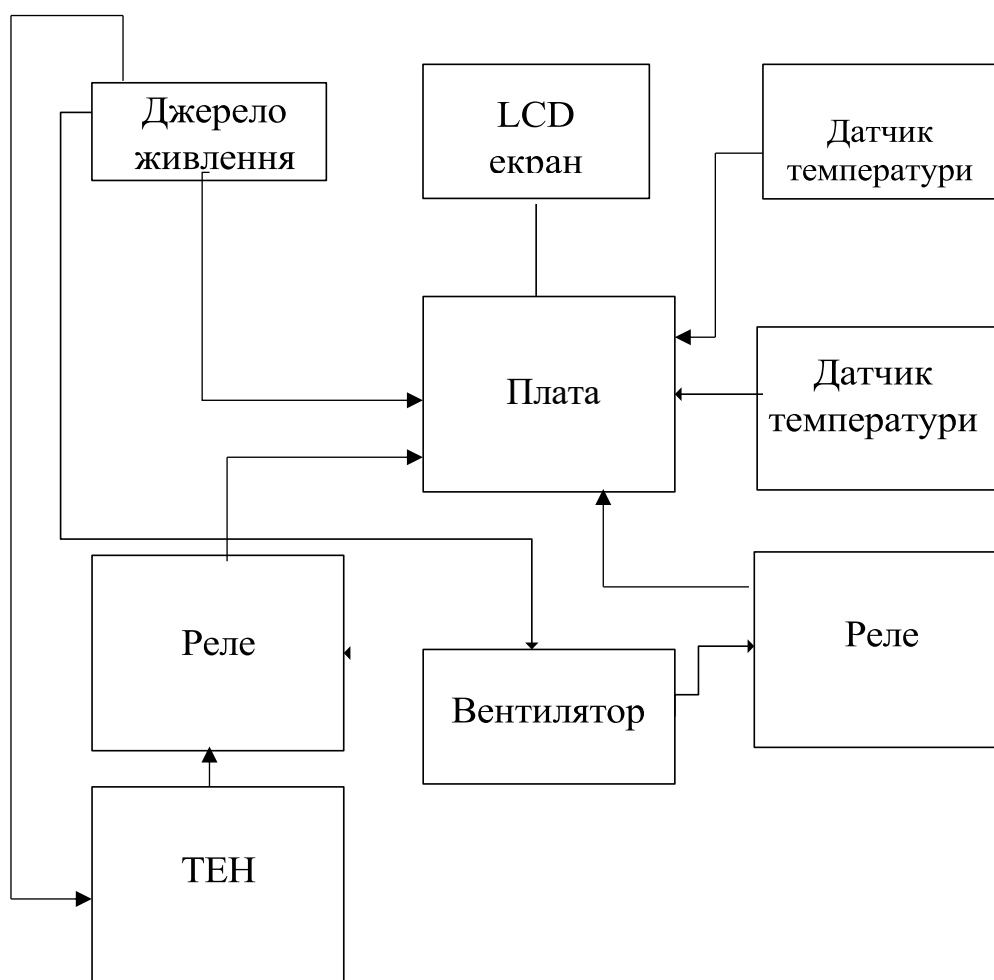


Рисунок 2.8 – Структурна схема

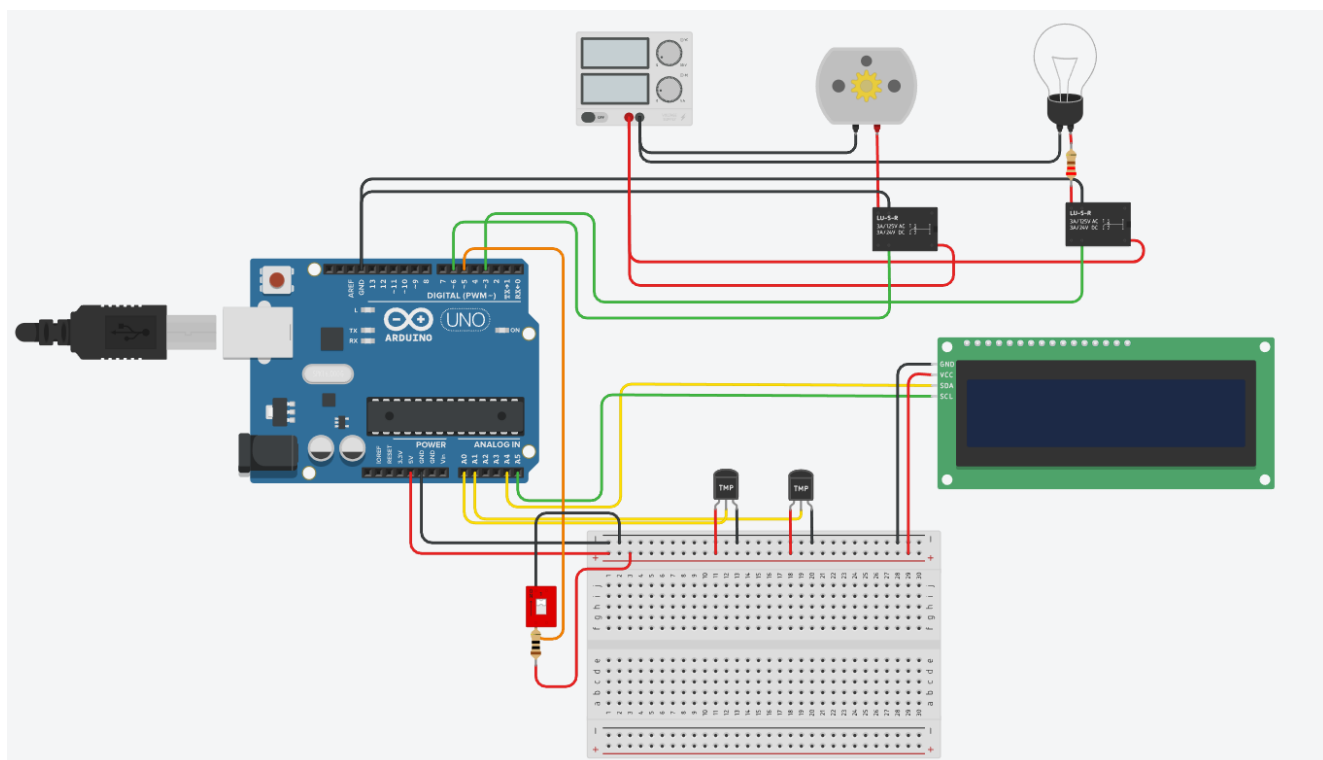


Рисунок 2.9 – Схема підключення електричних компонентів термошафи

2.3 Процес програмної реалізації роботи

Для того, щоб працювала система контролю температури, необхідний код для програми. У роботі пропонується алгоритм роботи програми. Першим кроком є створення алгоритму, за яким буде працювати дана програма. Алгоритм представлений на рисунку 2.10.

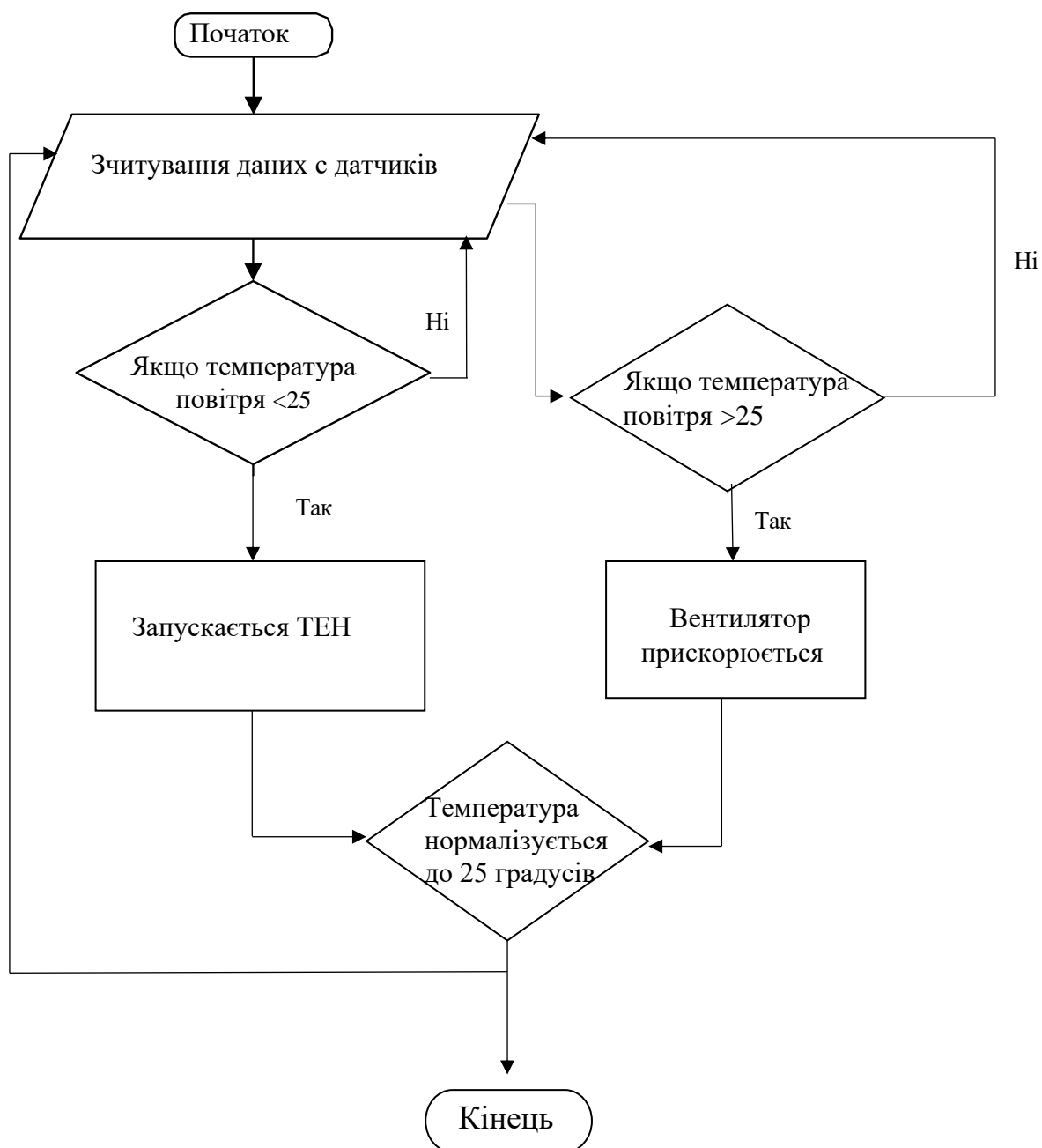


Рисунок 2.10 – Розроблений алгоритм роботи програми

Програма, створена за цим алгоритмом, працює таким чином. На початку роботи програми йде підключення необхідних бібліотек та стверення необхідних змінних. Код представлений на рисунку 2.11.

```

1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2 #include <Wire.h>
3
4 LiquidCrystal_I2C LCD(0x27, 16, 2);
5
6 int SwB4 = 5;
7 boolean VB4 = true;
8
9 int temperature1 = 0;
0 int temperature2 = 0;
1 float averageTemperature;
2
3 // Пины для реле и мотора
4 const int relayHeater = 3;
5 const int relayFan = 6;
6
7 unsigned long previousMillis = 0;
8 const long interval = 500; // Интервал для обновления дисплея в миллисекундах
9 const long errorDisplayInterval = 3000; // Интервал для отображения сообщений об ошибках (в миллисекундах)
0
1 unsigned long lastErrorDisplayTime = 0;
2

```

Рисунок 2.11 – Частина коду для ініціалізації бібліотек та змінних

Далі програма починає зчитувати дані про температуру з датчиків та виводить її на дисплей (рис. 2.12). Код представлений на рисунку 2.13.

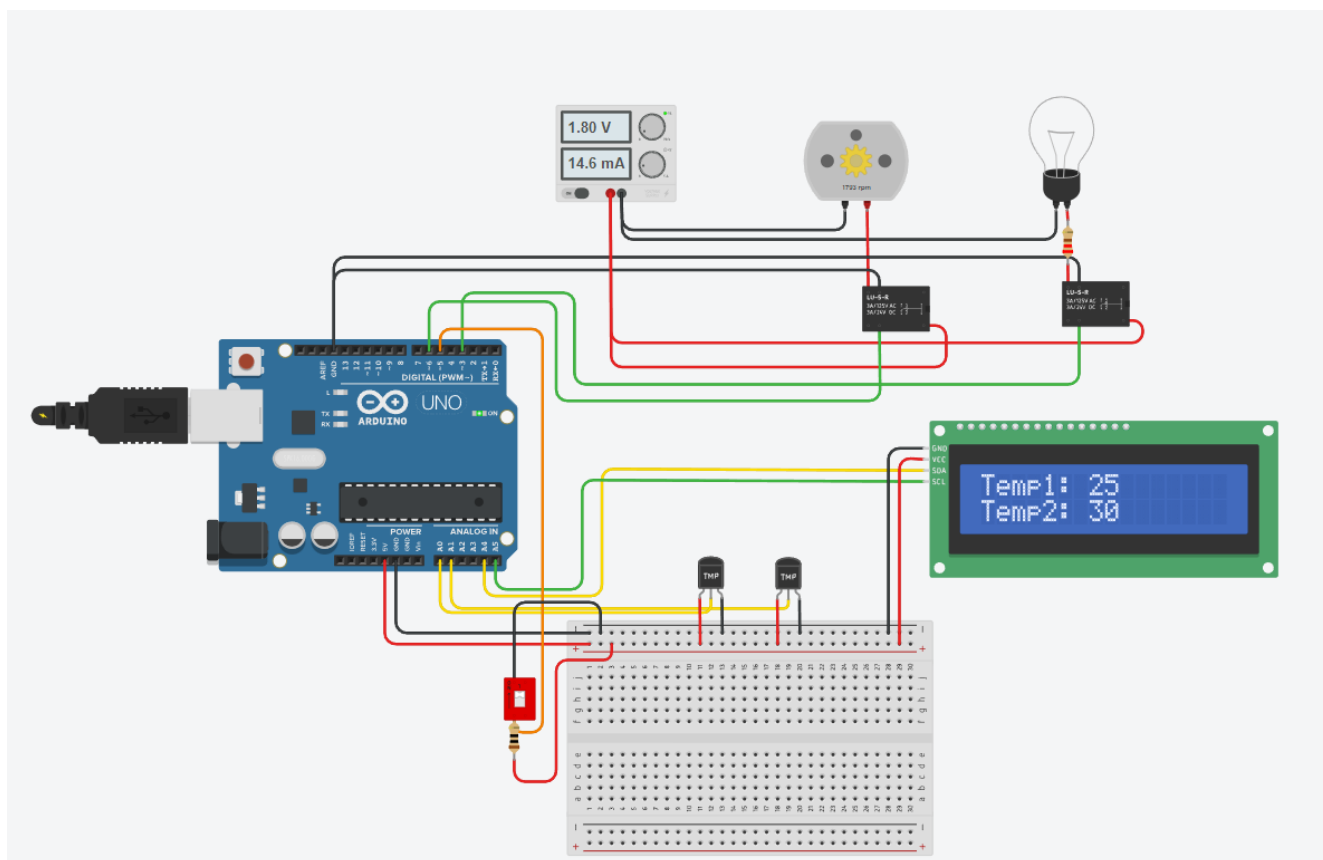


Рисунок 2.12 – Вид схеми при запуску програми та зчитуванні температури


```

2
3 void loop() {
4   // Считывание температуры
5   int temp1Raw = analogRead(A0);
6   int temp2Raw = analogRead(A1);
7   temperature1 = map(((temp1Raw - 20) * 3.04), 0, 1023, -40, 125);
8   temperature2 = map(((temp2Raw - 20) * 3.04), 0, 1023, -40, 125);
9   averageTemperature = (temperature1 + temperature2) / 2.0;
0
1   VB4 = digitalRead(SwB4);
2   if (VB4 == 0) {
3     // Проверка ошибок компонентов
4     checkErrors(temp1Raw, temp2Raw);
5

```

Рисунок 2.13 – Фрагмент коду для перевірки температури з датчиків

За умови, якщо показник температури з датчика менший ніж 25 градусів, то програма запускає роботу ТЕНу (рис. 2.14). Код представлений на рисунку 2.15.

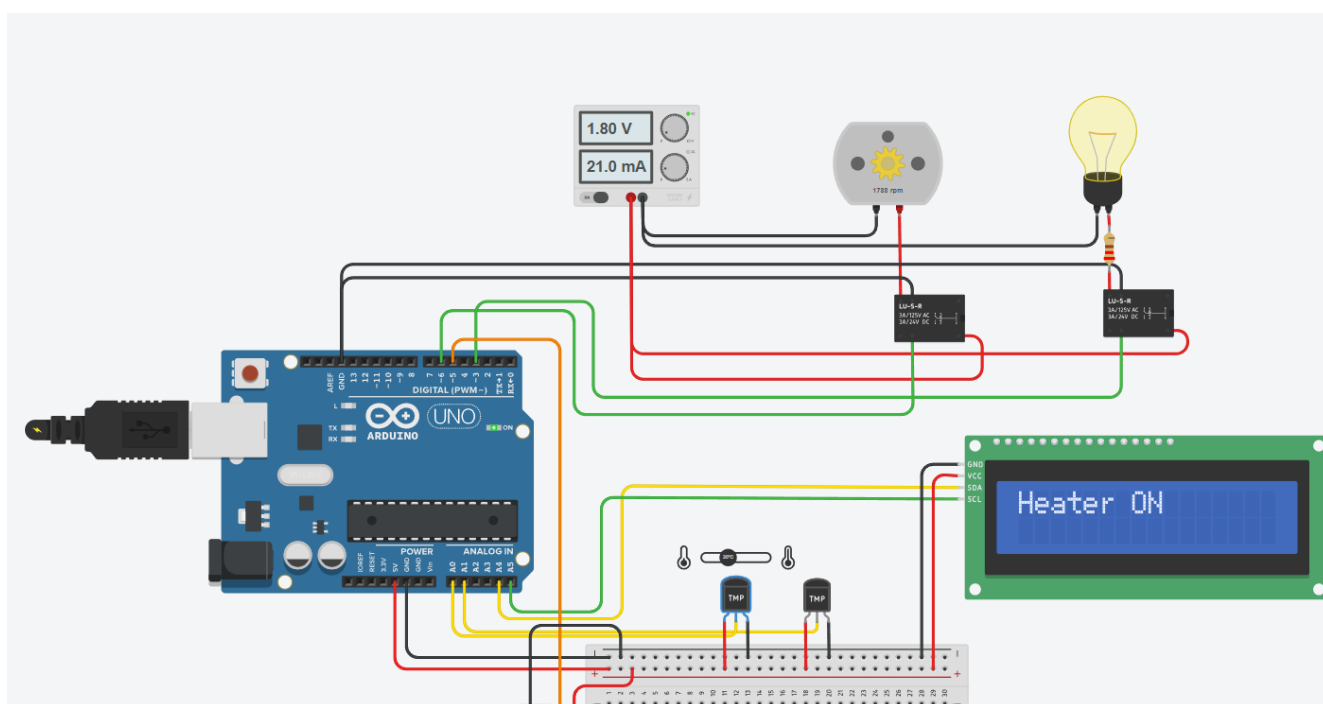


Рисунок 2.14 – Вигляд схеми при включенні ТЕНу

```

// Управление нагревателем
if (averageTemperature < 25) {
  digitalWrite(relayHeater, HIGH);
  LCD.clear();
  LCD.setCursor(0, 0);
  LCD.print("Heater ON");
} else {
  digitalWrite(relayHeater, LOW);
  LCD.setCursor(0, 2);
  LCD.print("Heater OFF");
}
// Возвращаем скорость мотора

```

Рисунок 2.15 – Частина коду для запуску ТЕНу

Якщо температура нормалізувалась до 25 градусів, то програма виводить що ТЕН вимкнено (рис. 2.16).

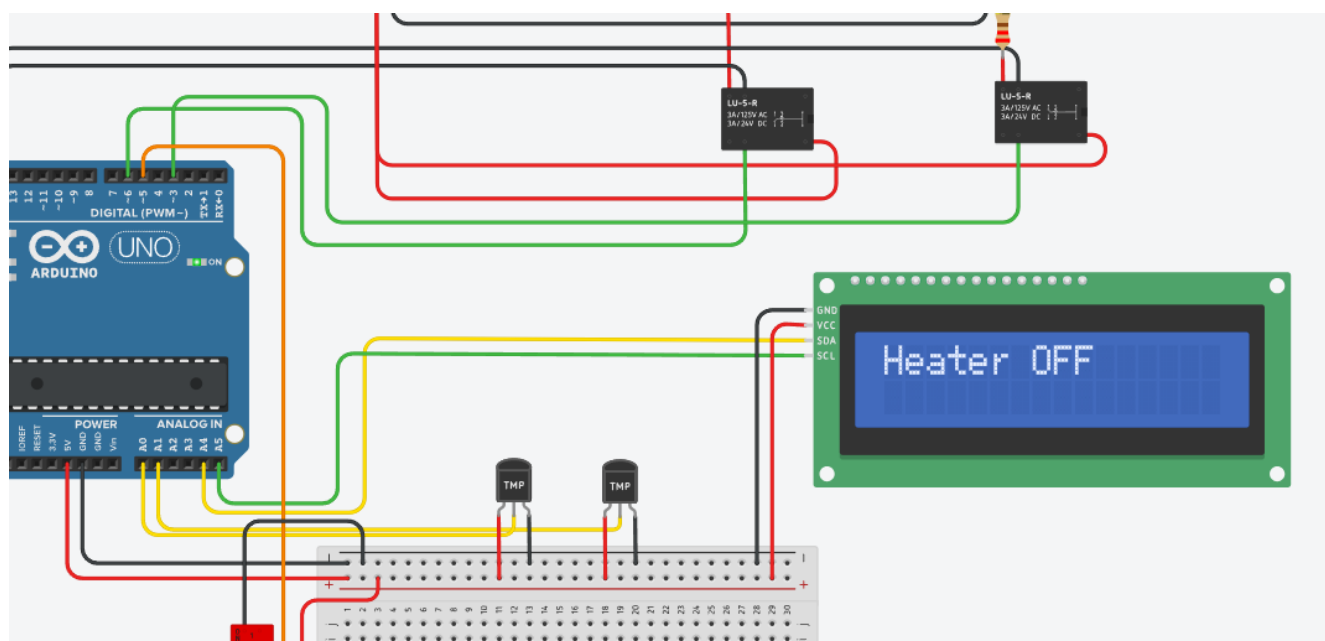


Рисунок 2.16 – Вигляд схеми при вимкнені ТЕНу

Якщо температура перевищує 25 градусів, то буде прискорено обертання вентилятора щоб знизити температуру до необхідної. Код представлений на рисунку 2.17.

```

}

// Регулировка скорости мотора
int motorSpeed;
if (averageTemperature > 25) {
    // Увеличение скорости мотора, если температура выше 25
    motorSpeed = map(averageTemperature, 25, 125, 128, 255); // Map temperature to PWM value (128-255)
} else {
    // Установка исходной скорости мотора, если температура ниже или равна 25
    motorSpeed = 128; // Средняя скорость
}

motorSpeed = constrain(motorSpeed, 0, 255); // Ensure PWM value is within 0-255
analogWrite(relayFan, motorSpeed);

```

Рисунок 2.17 – Фрагмент коду регулювання обертання вентилятора

У кінці йде перевірка на відповідність роботи датчиків та ТЕНу. Код представлений на рисунку 2.18.

```

void checkErrors(int temp1Raw, int temp2Raw) {

    unsigned long currentMillis = millis();

    // Проверка датчика температуры 1
    if (temp1Raw <= 0 || temp1Raw >= 1023) {
        if (currentMillis - lastErrorDisplayTime >= errorDisplayInterval) {
            lastErrorDisplayTime = currentMillis;
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0, 0);
            LCD.print("Temp1 Sens Error");
            Serial.println("Temp1 Sensor Error");
        }
    }

    // Проверка датчика температуры 2
    if (temp2Raw <= 0 || temp2Raw >= 1023) {
        if (currentMillis - lastErrorDisplayTime >= errorDisplayInterval) {
            lastErrorDisplayTime = currentMillis;
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0, 1);
            LCD.print("Temp2 Sens Error");
            Serial.println("Temp2 Sensor Error");
        }
    }

    if (digitalRead(relayHeater) == HIGH && averageTemperature >= 25) {
        if (currentMillis - lastErrorDisplayTime >= errorDisplayInterval) {
            lastErrorDisplayTime = currentMillis;
            LCD.clear();
            LCD.setCursor(0, 2);
            LCD.print("Heater Relay Error");
            Serial.println("Heater Relay Error");
        }
    }
}

```

Рисунок 2.18 – Частина коду перевірки датчиків та ТЕНу

3 РОЗРОБКА ТЕРМОШАФИ

3.1 Розробка конструкції термошафи, що відповідає вимогам

Розробка конструкції термошафи вимагає комплексного підходу та уважного врахування різноманітних факторів. Перш за все, потрібно визначити матеріали, які забезпечать ефективну термоізоляцію й стійкість до теплового переносу. Зазвичай це включає в себе використання спеціальних утеплювачів, таких як пінополістирол, мінеральна вата або пінопласт, а також можливе застосування металевих або інших теплопровідних шарів для зменшення втрат.

Далі необхідно розробити ефективну конструкцію самого корпусу термошафи, забезпечуючи не лише термоізоляцію, але й міцність, легкість та зручність в експлуатації. Це може включати в себе вибір кращої форми корпусу, розмірів та матеріалу для забезпечення найкращих властивостей [23].

Крім того, слід уважно розглянути додаткові функціональні вимоги, такі як можливість встановлення дверей або кришки для зручного доступу, наявність вентиляційних отворів для регулювання температури в середині, а також додаткові елементи для забезпечення захисту від вологи, ударів чи інших механічних впливів.

Загалом, успішна розробка конструкції термошафи вимагає інженерного та дизайнерського таланту, а також уважного врахування всіх вимог щодо функціональності, міцності і ефективності теплоізоляції.

Крім перерахованих аспектів, також важливо враховувати ефективність і економічність обраного матеріалу. Наприклад, бажано, щоб обраний матеріал був відносно доступним за ціною та наявним на ринку будівельних матеріалів. Це дозволить зменшити витрати на будівництво термошафи і забезпечить економічність проекту в цілому.

Також важливо враховувати екологічні аспекти обраного матеріалу. Використання екологічно чистих та відновлюваних матеріалів може сприяти зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище і забезпечити більш

стале та стійке будівництво. Крім того, важливо враховувати акустичні властивості обраних матеріалів. Термошафа повинна не лише ефективно утримувати тепло, але й забезпечувати звукоізоляцію, щоб зменшити рівень зовнішнього шуму та створити комфортні умови в середині.

Отже, враховуючи всі ці аспекти, можна зробити найкращий вибір матеріалів для конструкції термошафи, який буде відповідати всім вимогам ефективності, економічності, екологічності та зручності в експлуатації.

3.2 Вибір матеріалів для конструкції термошафи

Вибір матеріалів для конструкції термошафи є критично важливим етапом, що впливає на її функціональність, надійність та довговічність. Основними факторами, які слід враховувати під час вибору матеріалів, є термічна стійкість, теплоізоляційні властивості, механічна міцність, хімічна стійкість та вартість.

Основним матеріалом для зовнішньої оболонки термошафи часто обирають метал. Найбільш популярними металами є сталь та алюміній. Сталь забезпечує високу механічну міцність та стійкість до механічних пошкоджень, що робить її ідеальним вибором для застосувань, де термошафа піддається фізичному навантаженню або можливим ударам. Оцинкована або нержавіюча сталь також має високу стійкість до корозії, що важливо при експлуатації у вологих або агресивних середовищах [24].

Алюміній є легшим матеріалом, ніж сталь, що робить його зручнішим для переміщення та монтажу термошаф. Він також має хорошу корозійну стійкість і теплопровідність. Проте алюміній є менш міцним порівняно зі сталлю, тому він використовується в тих випадках, коли вага конструкції має критичне значення.

Внутрішня частина термошафи повинна бути виготовлена з матеріалів із високими теплоізоляційними властивостями для збереження стабільної температури всередині. Найпоширенішими теплоізоляційними матеріалами є мінеральна вата, скловата та поліуретанова піна. Мінеральна вата та скловата забезпечують хорошу теплоізоляцію та стійкість до високих температур, але

можуть бути менш ефективними у вологих умовах, оскільки можуть поглинати вологу. Поліуретанова піна має низьку теплопровідність, що робить її відмінним ізолятором, і водночас вона є вологостійкою, але може бути менш стійкою до дуже високих температур.

Ще одним важливим аспектом є вибір ущільнювальних матеріалів для дверей термошафи, щоб забезпечити герметичність та мінімізувати тепловтрати. Для цієї мети зазвичай використовують силіконові або гумові ущільнювачі, які витримують високі температури і мають тривалий термін служби [25].

Крім основних матеріалів, слід також враховувати вибір покриття для внутрішніх і зовнішніх поверхонь термошафи. Внутрішні поверхні можуть бути покриті теплоізоляційними фарбами або спеціальними покриттями, що відбивають тепло, щоб додатково зменшити тепловтрати. Зовнішні поверхні можуть бути покриті порошковою фарбою або іншими антикорозійними матеріалами, щоб збільшити стійкість до зовнішніх впливів і продовжити термін експлуатації.

З огляду на всі ці фактори, вибір матеріалів для конструкції термошафи повинен бути ретельно продуманим, із урахуванням специфіки умов експлуатації, вимог до теплових характеристик, міцності та довговічності. Тільки комплексний підхід до вибору матеріалів може забезпечити найкращу роботу термошафи та її довготривалу надійність.

Додатково до основних матеріалів конструкції термошафи, варто розглянути деякі додаткові аспекти, що можуть вплинути на її ефективність та функціональність.

Один із таких аспектів – це захист від атмосферних впливів. Термошафа повинна бути здатна витримувати екстремальні погодні умови, такі як дощ, сніг, вітер та висока вологість повітря. Тому важливо вибрати матеріали, які не тільки мають високу стійкість до корозії, але й вологостійкі [26].

Для забезпечення додаткового захисту від вологи та впливу агресивних середовищ можна застосовувати спеціальні покриття або обробку матеріалів. Наприклад, герметизуючі просочення або покриття, що відштовхує вологу, можуть допомогти зберегти цілісність та ефективність термошафи в умовах високої

вологості.

Крім того, важливо враховувати можливість монтажу та обслуговування термошафи. Матеріали повинні бути зручними для транспортування та монтажу, а також забезпечувати легкий доступ для технічного обслуговування та ремонту. Це може включати наявність відкритих панелей або дверей, що дають зручний доступ до внутрішніх компонентів та елементів [27].

Отже, при виборі матеріалів для конструкції термошафи важливо враховувати не лише їх теплоізоляційні властивості, але й стійкість до атмосферних впливів, зручність у монтажі та обслуговуванні. Тільки цілісний підхід до вибору матеріалів може забезпечити максимальну ефективність та довговічність термошафи в умовах експлуатації.

3.3 Побудова 3D моделі термошафи

Побудова прототипу термошафи є захоплюючим процесом, який поєднує в собі наукові знання, інженерію та креативність. Термошафи – це важливі пристрої, які забезпечують стабільну температуру для зберігання різних філаментів для 3D друку, зберігаючи його якість. У цьому підрозділі ми розглянемо важливі етапи побудови прототипу термошафи.

Почнемо з планування і дизайну. Перш ніж приступити до будь-яких конструкційних або інженерних робіт, важливо ретельно продумати кожен аспект термошафи. Це включає визначення розмірів, обсягу та цілей щодо температурного режиму. Каркас моделі представлений на рисунку 3.1.

Пропонована нами термошафа має такі розміри:

- довжина 700 мм;
- ширина 600 мм;
- висота 400 мм;
- товщина стінок 25 мм;
- діаметер труби для розташування філаменту 60 мм;
- діаметер труби ТЕНу 18 мм;

- довжина труби для розміщення філаменту 310 мм;
- відстань між трубами для розміщення філаменту 240 мм.

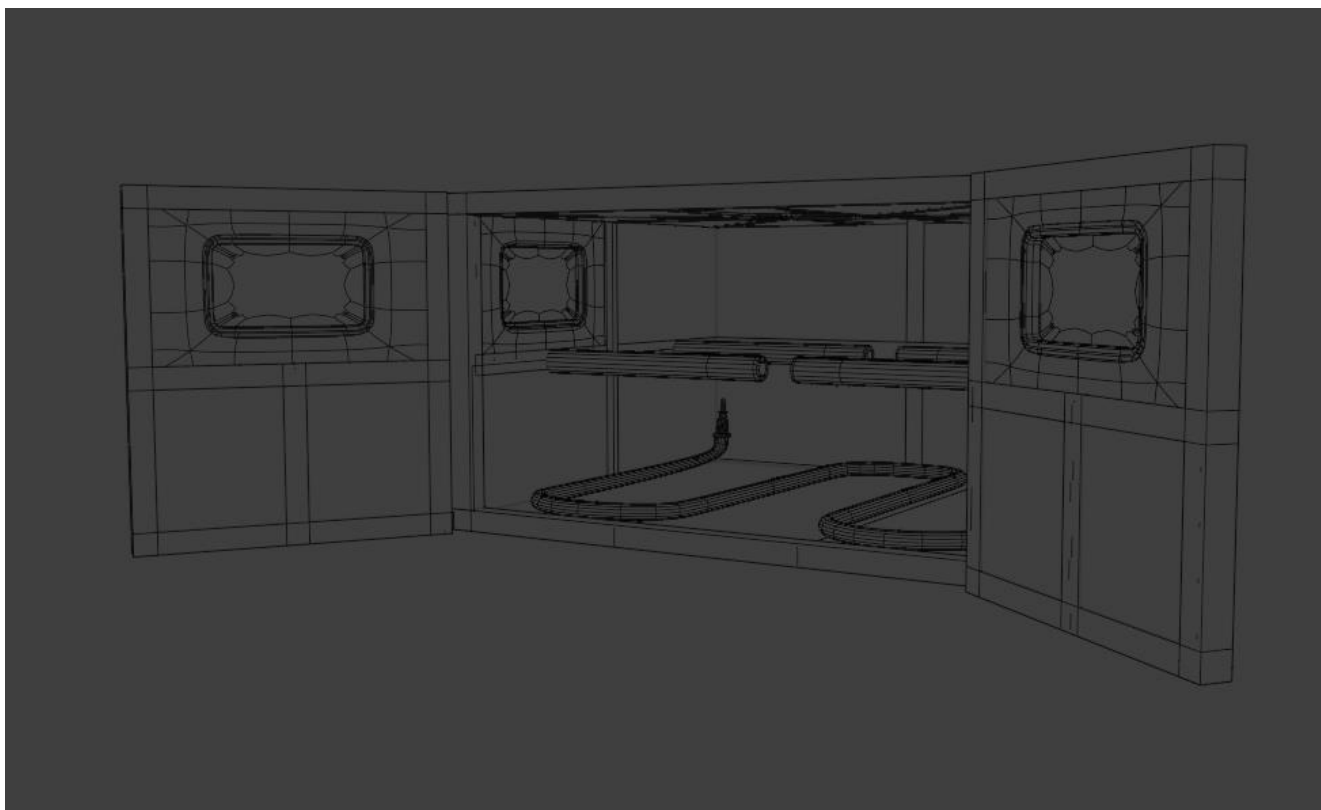


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд моделі термошафи у каркасних гранях

Другий крок – вибір матеріалів. Оскільки термошафи повинні забезпечувати ефективну ізоляцію, важливо обрати правильні матеріали. Найбільш доцільним матеріалом для побудови корпусу термошафи є сталь. Внутрішня частина виготовлена із використанням поліуританової піни, що має забезпечити термоізоляцію. Модель представлена на рисунках 3.2 та 3.3.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд готової термошафи

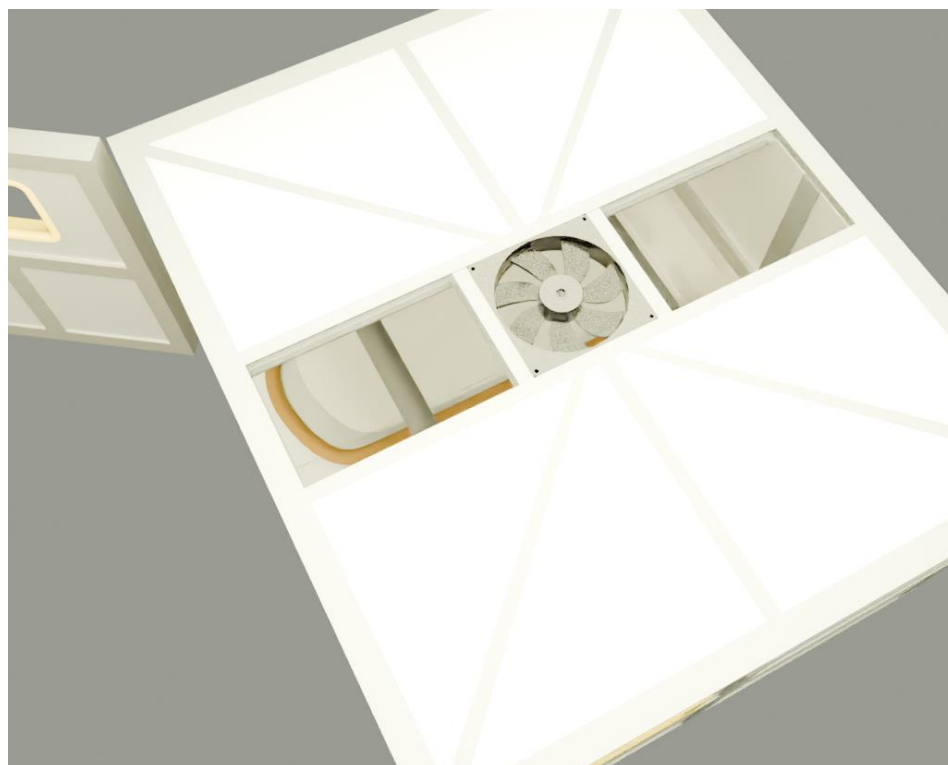


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд термошафи зверху

Третім етапом є електроніка і контроль. Сучасні термошафи можуть бути оснащені різними електронними системами для контролю температури та інших параметрів. Це включає в себе датчики температури, контролери, програмне забезпечення для керування та моніторингу, а також дисплей для відображення поточних значень температури. Електронні компоненти моделі представлені на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд електронних компонентів у моделі

Таким чином, побудова прототипу термошафи – це складний, але захоплюючий процес, який вимагає поєднання знань із різних галузей – від інженерії до електроніки. Вона може призвести до створення ефективних та інноваційних рішень для зберігання філаменту та забезпечення його якості.

3.4 Інтеграція електронної системи управління

Інтеграція електронної системи управління є важливим аспектом будь-якого сучасного технічного пристрою, включаючи термошафи. Електронні системи управління дозволяють автоматизувати процеси регулювання та моніторингу, забезпечуючи точність, ефективність та надійність у роботі. У цьому есе я розгляну деякі ключові аспекти інтеграції електронної системи управління у термошафу.

Почнемо з компонентів електронної системи управління. Вони включають в себе різні датчики, які вимірюють температуру всередині термошафи, контролер, що обробляє отримані дані, та пристрої керування, такі як реле або транзистори, які регулюють роботу системи охолодження. Місце знаходження електронних компонентів на моделі представлено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Розміщення електронних компонентів на моделі

Наступним важливим аспектом є зв'язок між компонентами. Електронна система управління повинна бути здатна збирати дані від датчиків та передавати їх контролеру для аналізу. Контролер у свою чергу приймає рішення щодо необхідних корекцій та керує пристроями керування для забезпечення необхідного температурного режиму [28].

Однак інтеграція електронної системи управління не обмежується лише збором та обробкою даних. Програмне забезпечення також є важливою складовою системи. Воно відповідає за імплементацію алгоритмів керування, моніторингу та відображення даних для користувача. Для термошафи програмне забезпечення може включати в себе інтерфейс користувача, який дозволяє встановлювати та моніторити параметри зберігання.

Нарешті, тестування і вдосконалення є важливою частиною інтеграції електронної системи управління. Після того, як система була побудована та програмне забезпечення розроблене, необхідно провести серію тестів, щоб переконатися у її працездатності та надійності. Такі тести дозволяють виявити потенційні проблеми та недоліки, які потребують виправлення [29].

Отже, інтеграція електронної системи управління у термошафу вимагає комплексного підходу, який охоплює вибір та збірку компонентів, розробку програмного забезпечення та проведення тестів. Ефективна інтеграція дозволяє створити продукт, який відповідає вимогам ефективності, надійності та зручності в користуванні.

3.5 Теорія автоматичного управління для двигуна постійного струму

3.5.1 Частотні критерії стійкості

Частотні критерії стійкості дозволяють судити про стійкість САУ за виглядом їх частотних характеристик. Ці критерії є графоаналітичними та отримали широке розповсюдження, оскільки вони дозволяють порівняно легко досліджувати стійкість САУ високого порядку, а також мають наочність та просту

геометричну інтерпретацію [30].

Частотними критеріями називаються критерії стійкості, засновані, побудові частотних характеристик і кривої Михайлова. До частотних критеріїв відносять критерій Михайлова, критерій Найквіста та логарифмічний частотний критерій стійкості. Розглянемо критерій Михайлова. Нехай характеристичний поліном системи дорівнює:

$$G(\tau) = a_0\tau^n + a_1\tau^{n-1} + \dots + a_n. \quad (3.1)$$

Зробимо підстановку: $\tau = j\omega$:

$$G(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_n. \quad (3.2)$$

Крива Михайлова – це крива, яку описує кінець вектору $G(j\omega)$ на комплексній площині при змін ω от 0 до ∞ .

Частотний критерій стійкості Михайлова: для того, щоб система автоматичного управління була стійкою, необхідно та достатньо, щоб крива Михайлова при зміні частоти ω від 0 до $+\infty$, починаючись при $\omega = 0$ на дійсній додатній півосі, обходила тільки проти годинникової стрілки послідовно n квадрантів (чвертей) координатної площини, де n – порядок характеристичного рівняння, ніде не перетворюючись у нуль.

Крива Михайлова для стійких систем має плавну спіралеподібну форму, та кінець її прямує до нескінченності у квадранті, номер якого дорівнює ступеню характеристичного рівняння (рис. 3.6).

Розглянуті алгебраїчні критерії і критерій Михайлова застосовуються для дослідження стійкості як розімкнених так і замкнених систем. Критерій Найквіста призначений для дослідження тільки замкнутих систем. Він дозволяє по вигляду амплітудно-фазової частотної характеристики розімкненої системи судити про стійкість замкнутої системи.

Частотний критерій Найквіста: припустимо, що l коренів характеристичного

рівняння розімкнутої системи знаходяться у правій напівплощині, а останні $n-1$ коренів – у лівій напівплощині. Тоді для того, щоб замкнута система була стійкою, необхідно та достатньо, щоб амплітудно-фазова частотна характеристика її розімкнутої системи із зростанням ω від 0 до ∞ охоплювала точку $(-1;j0)$ в додатному напрямку, тобто проти руху годинникової стрілки, $1/2$ разів.

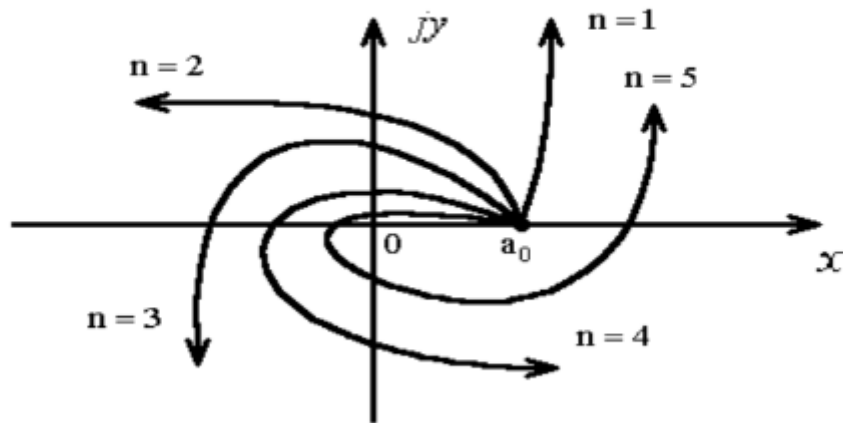


Рисунок 3.6 – Приклади кривих Михайлова для стійких САУ

Зокрема, якщо розімкнута система стійка ($l = 0$), то для того, аби замкнута система була стійкою, необхідно та достатньо, щоб амплітудно-фазова частотна характеристика її розімкнутої системи не охоплювала точку.

Якщо характеристичне рівняння розімкнутої системи має v ($v \geq 1$) нульових коренів або, що те саме, передатна функція розімкнутої системи має вид:

$$W(s) = \frac{k w_0(s)}{s^v}, \quad (3.3)$$

де $W_0(0) = 1$, то система називається астатичною за статизмом v -го порядку.

Як впливає з критерію Найквіста, на стійкість замкнутої системи впливає не конкретний вид амплітудно-фазової частотної характеристики її розімкненої системи, а тільки те, скільки разів вона охоплює крапку $(-1, j0)$. Це можна встановити

по числу переходів (перетинів) амплітудно-фазової частотної характеристики відрізка $(-\infty, -1)$ дійсної осі (зліва від крапки $(-1; j0)$).

Позитивний перехід (зростання частоти) – перехід АФЧХ відрізка $(-\infty, -1)$ зверху вниз.

Негативний перехід – це перехід АФЧХ відрізка $(-\infty, -1)$ від низу до верху.

Те, скільки разів АФЧХ охоплює крапку $(-1, j0)$ в позитивному напрямі, рівне різниці між числами позитивних і негативних переходів на відрізку $(-\infty, -1)$.

Тому критерій Найквіста можна сформулювати також таким чином: для того, щоб замкнута система була стійка, необхідно і достатньо, щоб різниця між числами позитивних і негативних переходів амплітудно-фазової частотної характеристики розімкненої системи відрізка $(-\infty, -1)$ була рівна $1/2$ (1 – число правого коріння характеристичного рівняння розімкненої системи).

Використовуючи зв'язок між амплітудно-фазовою частотною характеристикою і логарифмічними частотними характеристиками, на осно вікритерію Найквіста неважко сформулювати логарифмічний частотний критерій стійкості.

Логарифмічний частотний критерій: для того, щоб замкнута система була стійка, необхідно і достатньо, щоб різниця між числами позитивних і негативних переходів логарифмічної фазової частотної характеристики розімкненої системи прямих $\varphi(\omega) = -(2i + 1)\pi$, ($i = 0, 1, \dots$) при частотах, при яких $L(\omega) > 0$ (логарифмічна амплітудна частотна характеристика позитивна), була рівна $1/2$ (1- число правого коріння характеристичного рівняння розімкненої системи).

Позитивний перехід ЛФЧХ – це перетин ЛФЧХ прямої $\varphi = -(2i + 1)\pi$ від низу до верху, негативний – зверху вниз. Випадок наявності нульових коренів. Якщо характеристичне рівняння розімкненої системи має нульові корені, т. е. її передатна функція може бути представлена у вигляді:

$$W(p) = \frac{k}{p^v} W_0(p), \quad (3.4)$$

$$W_0(0) = 1, v \geq 1, \quad (3.5)$$

то АФЧХ при $\omega \rightarrow 0$ йде в нескінченність (рис. 3.7). В цьому випадку АФЧХ доповнюються дугою $-\nu$ ($\pi / 2$) окружності великого радіуса. І для стійкості замкнутої системи повинна охоплювати $l / 2$ раз або при $l = 0$ перестав охоплювати точку $(-1, j0)$ доповнена АФЧХ.

Якщо система містить ланку чистого запізнювання, яка включена послідовно з рештою частини, то передатна функція розімкненої системи дорівнює:

$$W(s) = W_0(s)e^{s\tau} = P(s)e^{-s\tau}/Q(s). \quad (3.6)$$

Наявність ланки чистого запізнювання не впливає на характеристичне рівняння і відповідно на стійкість розімкненої системи. Характеристичне рівняння замкнутої системи $Q(\lambda) + P(\lambda)e^{-\lambda\tau} = 0$ стає трансцендентним і до нього безпосередньо не можна застосувати алгебраїчні критерії і критерій Михайлова. Критерій Найквіста (включаючи логарифмічний частотний критерій) залишається справедливим без змін для систем із запізнюванням.

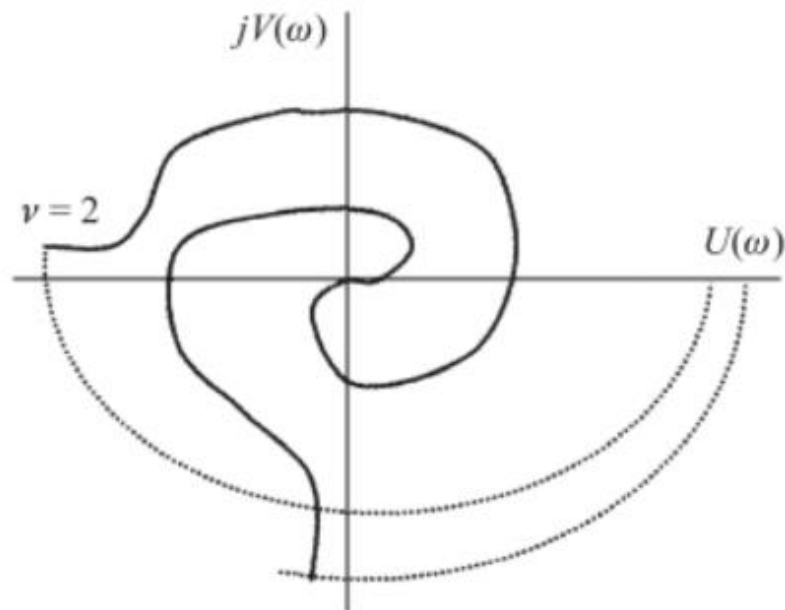


Рисунок 3.7 – Амплітудно-фазова частотна характеристика

Частотна передатна функція системи с чистим запізнюванням:

$$W(j\omega) = W_0(j\omega)/e^{j[\varphi(\omega) - \omega\tau]} \quad (3.7)$$

відрізняється від частотної передатної функції системи без чистого запізнювання:

$$W(j\omega) = W_0(j\omega)/e^{-j\varphi(\omega)} \quad (3.8)$$

тільки додатковим зсувом фази $\theta(\omega) = -\omega\tau$. Запізнювання може зробити стійку систему нестійкою.

Побудова частотних характеристик є більш трудомісткою, ніж обчислення визначників, необхідних для встановлення стійкості. Тому якщо параметри системи фіксовані і потрібно перевірити тільки її стійкість, то, коли це можливо, краще користуватися алгебраїчними критеріями. Якщо система задається тільки частотними характеристиками, знятими експериментально, або вона містить ланку чистого запізнювання, то слід скористатися частотними критеріями, оскільки в цьому випадку алгебраїчні критерії непридатні.

3.5.2 Рішення задачі

Сучасні виробники електромеханічного обладнання характеризуються політикою виробництва комплектних електроприводів без надання повної інформації про їх параметри. Експериментально визначені параметри можуть бути не точними або змінюватись в наслідок нагрівання електродвигунів, що ставить технологічні задачі без точних знань щодо об'єкту керування. Для вирішення цієї задачі застосовуються робастні регулятори [31].

Суть робастного керування полягає у тому, що регулятор забезпечує стійкість замкнутої системи, не тільки при чітких номінальних параметрах об'єкта, але й при їх наближених значеннях.

Зробимо підвищення якості керування швидкістю двигуна постійного струму шляхом розробки законів керування на основі концепції зворотних задач динаміки,

що забезпечує слабку чутливість до зміни параметрів електропривода.

У нас є функціональна схема двоконтурної системи керування швидкістю двигуна постійного струму представлена на рис. 3.8, де позначено: РШ – регулятор швидкості, РС – регулятор струму якоря, КВ – керований випрямляч. Структурні схеми стандартних ПІ-регуляторів швидкості та струму представлені на рис. 3.9 та рис. 3.10.

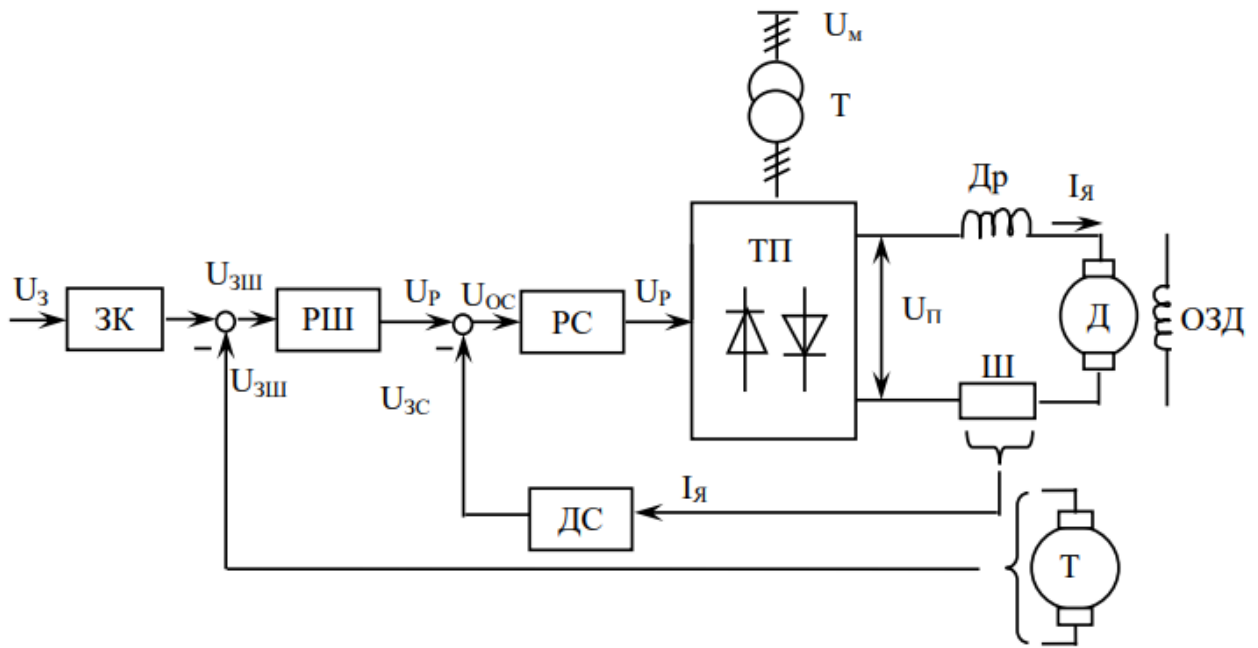


Рисунок 3.8 – Модель двоконтурної системи керування швидкістю двигуна постійного струму

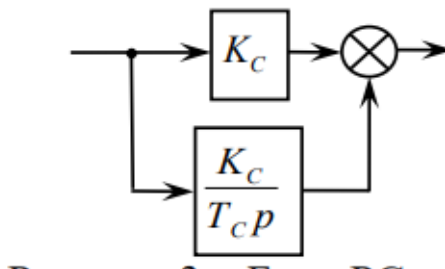


Рисунок 3.9 – Блок РС

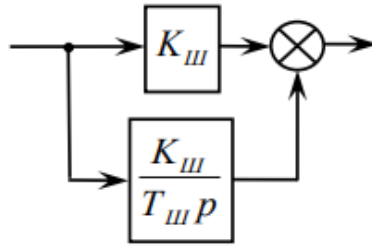
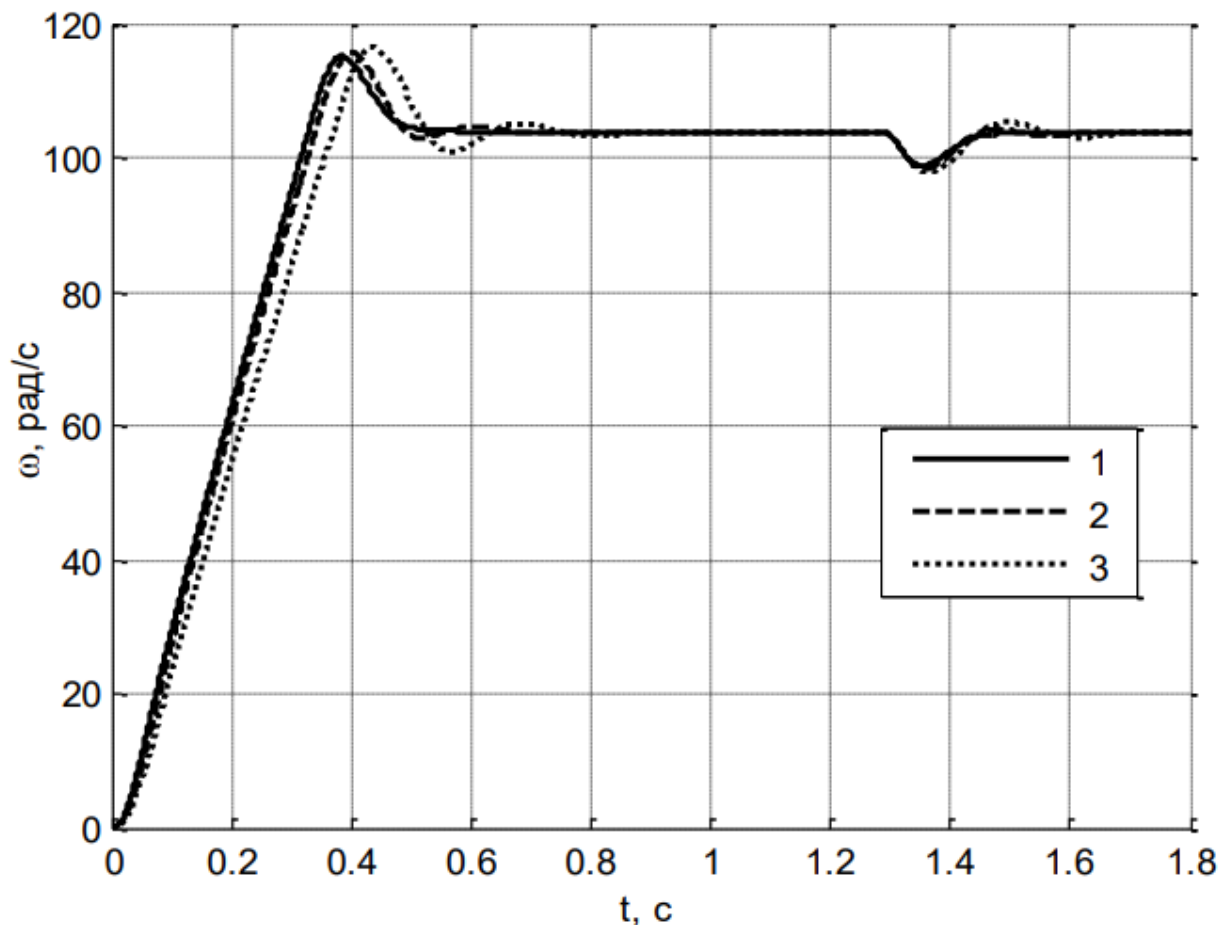


Рисунок 3.10 – Блок РШ

Варто звернути увагу, що застосування ІІІ-регулятора дозволяє отримати астатичну за швидкістю систему. Дана система була промодельована для декількох випадків зміни значень параметрів об'єкта регулювання відносно його розрахованих значень. На рис. 3.11 представлені характеристики при різних значеннях коефіцієнта передачі керованого випрямляча K_{rg} та електричного опору кола якоря R .

Рисунок 3.11 – Перехідні характеристики при зміні K_{rg} та R

Як бачимо, зміна параметрів пливає на якість перехідних процесів. В таблиці 3.1 представлені показники якості перехідних процесів при зміні коефіцієнта $K_{рг}$ та опору кола якоря R , де: $t_{пн}$ – час перехідного процесу, Δ – перерегулювання.

Таблиця 3.1 – Потрібні параметри

№	Параметр		$t_{пн}, c$	$\Delta, \%$
	K	R		
1	50,6	2,56	0,44	11,1
2	38,7	2,61	0,455	11,6
3	29,82	5,16	0,496	12,33

З викладеного вище можна зробити висновок, що для отримання бажаних показників перехідних процесів потрібно синтезувати такий регулятор, який забезпечує бажані показники якості при параметричних збуреннях. Регулятори синтезовані на основі концепції зворотних задач динаміки та мають нетрадиційну структуру. Структурна схема робастних регуляторів РШ та РС представлена на рис. 3.12.

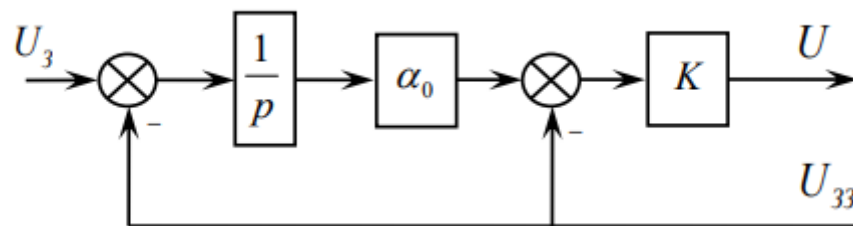


Рисунок 3.12 – Схема робастних регуляторів РШ та РС

На рис. 3.13 представлені перехідні характеристики при моделюванні аналогічному до системи з ПІ-регуляторами (змінюються $K_{рг}$ та R).

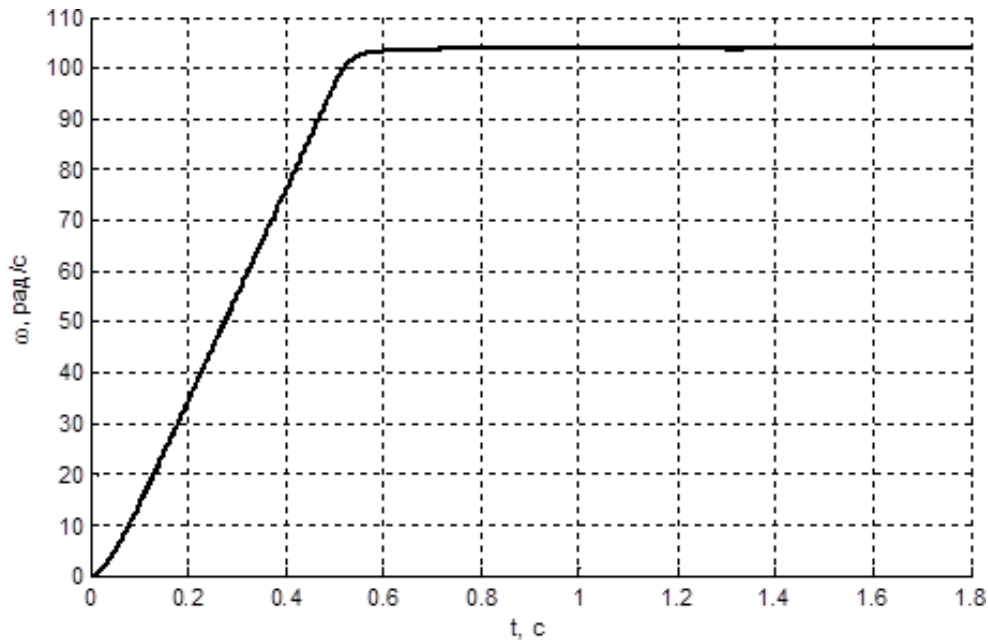


Рисунок 3.13 – Характеристики системи з робастними регуляторами

Отримані характеристики практично не відрізняються одна від одної, тобто на відміну від попереднього випадку, система з робастними регуляторами забезпечує слабку чутливість до зміни параметрів об'єкта регулювання і бажаний вид і якість перехідних процесів.

Результати досліджень показують, що побудована система керування швидкості двигуна постійного струму дозволяє виконувати точне і якісне керування навіть при неповноті відомій моделі об'єкта регулювання.

ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи було проведено дослідження та розроблено прототип термошафи для зберігання філаменту для 3D друку. Прототип був розроблений з урахуванням вимог щодо стабільності температури та вологостійкості для забезпечення найкращих умов зберігання філаменту. Під час дослідження було виявлено, що температурна та вологість впливають на якість філаменту для 3D друку. Термошафа дозволяє підтримувати стабільні умови збереження, що сприяє запобіганню деградації матеріалу та покращує якість друку. Отримані результати свідчать про ефективність та корисність термошафи для зберігання філаменту для 3D друку. Розроблений прототип може бути використаний у промислових умовах або для особистого використання в лабораторіях або виробництвах, де важлива точність та стабільність умов зберігання матеріалу. Зазначений досвід та отримані результати можуть бути корисними для подальших досліджень у галузі зберігання філаменту для 3D друку або для розробки покращених версій термошафи з урахуванням додаткових функцій та можливостей.

Таким чином, розроблений прототип термошафи відповідає поставленим завданням та дозволяє забезпечити кращі умови збереження філаменту для 3D друку, що робить його важливим інструментом у сфері аддитивного виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» /Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипченко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – 64 с.
3. Петрова, О.М. "Технології 3D друку та їх вплив на сучасне виробництво". Видавництво Київського Політехнічного Університету, 2018.
4. Іванов, В.П. "Термодинамічні процеси у технології виробництва матеріалів". Наукове Видавництво "Академперіодика", 2019.
5. Сидоренко, В.М. "Електронні системи керування в промислових процесах." Київський Національний Університет, 2020.
6. Іваненко, Л.С. "Основи полімерної науки та технології". Видавництво Київського Університету, 2017.
7. "Документація Raspberry Pi". Фонд Raspberry Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>.(дата звернення: 02.06.2024).
8. "Стандартизація в аддитивному виробництві: прогрес та виклики." Інститут Стандартів України. URL: <http://www.ukrstandart.org/>.(дата звернення: 02.06.2024).
9. "Ресурси та посібники з 3D друку від Ultimaker". Ultimaker. URL: <https://ultimaker.com/learn>. (дата звернення: 02.06.2024).
10. Ковальчук І.М. "Управління середовищем у 3D друку". Журнал Аддитивного Виробництва, том 15, № 2, 2019, с. 123-135.
11. "Бібліотека документації Adafruit DHT." Adafruit Industries. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT. (дата звернення: 02.06.2024).

12. "Матеріали для 3D друку та їх характеристики." Науково-Дослідний Інститут Аддитивного Виробництва. URL: <https://www.additivematerials.org/>.(дата звернення: 02.06.2024).
13. Smith, John. "Introduction to 3D Printing: Principles and Applications". Springer, 2019.
14. Jones, Sarah. "Advanced Materials for 3D Printing: Technologies, Applications, and Challenges". Wiley, 2020.
15. Brown, Michael. "Principles of Thermodynamics for Engineering Applications". Cambridge University Press, 2018.
16. ARDUINO UNO (atmega328). DIYShop.com. URL: <https://diyshop.com.ua/ua/arduino-uno-r3-atmega328p-ch340g> (дата звернення: 02.06.2024).
17. Вентилятор 120 мм x 120 мм x 25 мм. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ua/prod4189-ventilyator-korpysnii-12v-2pin-razmeri-120x120x25mm> (дата звернення: 08.06.2024).
18. Повітряний ТЕН. Electronagrev.ua. URL: https://electronagrev.ua/catalog/promyshlennye_na (дата звернення: 02.06.2024).
19. LCD дисплей. Ardushop.in.ua. URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/lcd-display-1602-hd44780-with-blue-backlight> (дата звернення: 02.06.2024).
20. Датчик температури LM35DZ. Arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ua/prod933-datchik-temperatyri-lm35dz> (дата звернення: 02.06.2024).
21. Блок питания. Cenoval.com. URL: <https://cenoval.com/p1381688099-blok-pitaniya-adapter> (дата звернення: 02.06.2024).
22. Реле 5В 1 канал. 1Wire. URL: <https://1wire.com.ua/relejnij-modul-5-volt-1-kanal-opto.html> (дата звернення: 02.06.2024).
23. Patel, Rajesh. "Design and Analysis of Electronic Control Systems". McGraw-Hill Education, 2017.
24. Zhang, Wei. "Fundamentals of Polymer Science for 3D Printing". CRC Press, 2021.

25. "Adafruit DHT Library Documentation". Adafruit Industries. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT. (дата звернення: 02.06.2024).
26. "Raspberry Pi Documentation." Raspberry Pi Foundation. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>.(дата звернення: 02.06.2024).
27. Doe, Jane. "Environmental Control in 3D Printing". Additive Manufacturing Journal, vol. 15, no. 2, 2019, pp. 123-135.
28. "ASTM International Standards for Additive Manufacturing". ASTM International. URL: <https://www.astm.org/standardization-news/?q=additive-manufacturing>. (дата звернення: 02.06.2024).
29. "Ultimaker: 3D Printing Resources and Guides". Ultimaker, URL: <https://ultimaker.com/learn>. (дата звернення: 02.06.2024).
30. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навч. посіб. Для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.
31. Островерхов М.Я. “Дослідження системи керування швидкістю двигуна постійного струму”. URL: <https://epa.kpi.ua/science/publications/spea-2012/doslidzhennya-sistemi-keruvannya-shvidkisty-dviguna> (дата звернення: 02.06.2024).
32. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / упоряд.: Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стищенко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с