

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: «Автоматизація процесу термообробки
в муфельній печі»

Виконав: студент групи Акт-42сп

Спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
(шифр і назва)

Козик Олександр Андрійович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доц. Шеремета Р.Б.
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
«_____» _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу

Козику Олександрю Андрійовичу

1. Тема роботи: **«Автоматизація процесу термообробки в муфельній печі»**

Керівник роботи к.т.н., в.о. доц. Шеремета Роман Богданович
затверджені наказом по університету від 27.11.2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання здобувачем роботи 10.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: довідкова література, технічні характеристики та муфельних печей та терморегуляторів, методики і технології термообробки, методики визначення економічної ефективності впровадження нового технічного рішення, інструкції з охорони праці.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

1. Аналіз методів та обладнання для термообробки.

2. Розробка апаратної компоновки елементів.

3. Розробка програмного алгоритму роботи.

4. Охорона праці та безпека виробництва.

5. Економічна частина.

Висновки.

Бібліографічний список

5. Перелік графічно-ілюстраційного матеріалу:
Аналіз методів та обладнання для термообробки.
Вибір компонентів для системи автоматизації
Схема з'єднання вибраних компонентів.
Алгоритм роботи програми.
Результати розрахунку економічної ефективності.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	Шеремета Р. Б., в.о. доц. каф. машинобудування		
4	Городецький І. М. доц. каф. фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

7. Дата видачі завдання 27.11.2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>27.01.24-17.02.24</i>	
2	<i>Написання другого розділу</i>	<i>20.02.24-17.03.24</i>	
3.	<i>Написання третього розділу</i>	<i>20.03.24-26.04.24</i>	
4.	<i>Написання четвертого розділу</i>	<i>27.04.24-02.05.24</i>	
5.	<i>Написання п'ятого розділу</i>	<i>03.04.24-16.05.24</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>17.05.24-10.06.24</i>	

Здобувач _____.(Олександр КОЗИК)
 (підпис)

Керівник роботи _____ (Роман ШЕРЕМЕТА)
 (підпис)

УДК: 666.3/.7

Кваліфікаційна робота: с. 65 текст. част., 32 рис., 3 табл., 17 джерел.

Автоматизація процесу термообробки в муфельній печі. Козик О.А.
Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Дана дипломна робота присвячена проектуванню системи для автоматизації процесу термічної обробки у муфельній печі. Здійснено підбір необхідних електронних компонентів та складено схему їх з'єднання. Запроектовано схему електричної взаємодії всіх компонентів. Створено програмний код для роботи запроектованої системи автоматизації.

У даній роботі розглянуто питання охорони праці та безпеки виробництва при роботі з обладнанням для термічної обробки. Здійснені розрахунки економічної ефективності виготовлення розробленої системи.

ЗМІСТ

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	42
1.1. Напрямки використання термообробки металів	42
1.2. Обладнання для термообробки	46
1.3. Використання муфельних печей в інших галузях виробництва.....	52
1.4. Контроль за температурою в печі	54
2. АПАРАТНА ЧАСТИНА	58
2.1. Розробка структурної схеми	58
2.2. Муфельна піч для модернізації	59
2.3. Вибір електронних компонентів	61
2.4. Схема з'єднання компонентів	67
3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА	70
3.1. Керуючий код.....	70
3.2. Алгоритм роботи	73
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	77
4.1. Структурно-функціональний аналіз виробничого процесу та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій	77
5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	84
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	88

ВСТУП

Термообробка має велике значення у металургії та машинобудуванні, оскільки дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики матеріалів, таких як міцність, твердість, пластичність, зносостійкість, корозійна стійкість та втомна міцність. Ці поліпшення можуть бути критичними для ефективності та безпеки кінцевих виробів, що використовуються в різних галузях, включаючи автомобільну, авіаційну, будівельну, енергетичну, оборонну промисловість та багато інших.

Всі ці процеси вимагають забезпечення нагріву а також витримки оброблюваного матеріалу або ж заготовки при певній заданій температурі встановлений час. Для таких операцій використовують муфельні печі.

Муфельні печі також використовують для обпалювання керамічних виробів і термообробці скла, в хімічній промисловості і для лабораторних та наукових досліджень, в ювелірній справі а також медицині та зокрема стоматології, а також для виготовлення різних електронних компонентів, що потребують термообробки.

Муфельні печі є дуже популярними, а завдяки своїй невеликій вартості в порівнянні з іншими печами є доступними для великої кількості споживачів. Недоліком муфельних печей є велике споживання електроенергії та відносно невеликий об'єм камери.

Муфельні печі можуть бути без електронного керування, тоді вона буде постійно працювати коли до неї подається електроенергія. Для забезпечення певного режиму роботи у муфельних печах встановлюють електронний блок керування. Він призначений для обмеження нагріву до певної температури а також задання часу нагріву або витримки при заданій температурі.

Завдяки використанні електронних блоків керування можна автоматизувати роботу муфельної печі оскільки час термообробки може

становити як декілька годин так і декілька днів, що при ручному керування потребує постійного контролю людиною.

Оскільки використання муфельних печей є широко розповсюджене у багатьох галузях виробництва, **метою** роботи є проектування системи для керування нагрівом муфельної печі автоматизації процесу термообробки.

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Напрямки використання термообробки металів

Термообробка — це процес обробки матеріалів, зокрема металів та сплавів, шляхом нагрівання до певної температури, витримки при цій температурі та наступного охолодження з метою зміни їх фізичних та механічних властивостей рис 1.1. Цей процес може включати кілька стадій та має різні цілі в залежності від бажаного результату [1].



Рисунок 1.1. Процес термообробки деталей

Основні види термообробки:

- Відпал: нагрівання до певної температури, витримка при цій температурі та повільне охолодження. Використовується для зняття внутрішніх напружень, покращення оброблюваності, а також для досягнення однорідної структури матеріалу.
- Загартування: нагрівання до високої температури, витримка і швидке охолодження (часто у воді або маслі). Використовується для збільшення твердості та міцності матеріалу. Після загартування матеріал зазвичай стає більш крихким.

- Відпуск: нагрівання загартованого матеріалу до нижчої температури та подальше охолодження. Використовується для зменшення крихкості, збільшення пластичності та покращення ударної в'язкості.
- Нормалізація: нагрівання до температури, вище критичної точки, витримка та охолодження на повітрі. Цей процес сприяє зняттю напружень та покращенню механічних властивостей.

Термообробка має велике значення у металургії та машинобудуванні, оскільки дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики матеріалів, таких як міцність, твердість, пластичність, зносостійкість, корозійна стійкість та втомна міцність [2, 3]. Ці поліпшення можуть бути критичними для ефективності та безпеки кінцевих виробів, що використовуються в різних галузях, включаючи автомобільну, авіаційну, будівельну, енергетичну, оборонну промисловість та багато інших.

Загартування та цементація дозволяють значно підвищити міцність та твердість матеріалів, що є особливо важливим для інструментів, ріжучих поверхонь та деталей, що піддаються високим навантаженням.

Відпуск і нормалізація допомагають збалансувати твердість і пластичність матеріалів, забезпечуючи кращу здатність до поглинання ударних навантажень без руйнування.

Процеси, такі як цементація та нітрація, створюють на поверхні матеріалів тверді шари, що значно підвищують зносостійкість, збільшуючи термін служби деталей, що піддаються тертю.

Деякі методи термообробки, як-от нітрація, можуть покращити стійкість до корозії, що є важливим для експлуатації матеріалів у агресивних середовищах, таких як морська вода або хімічно активні середовища.

Термообробка допомагає знімати внутрішні напруження та удосконалювати мікроструктуру матеріалів, що покращує їх втомну міцність — здатність витримувати циклічні навантаження без руйнування. Це критично для деталей, що працюють у умовах змінних навантажень, наприклад, у машинних та авіаційних компонентах.

Завдяки покращенню експлуатаційних характеристик, термообробка зменшує витрати на обслуговування та заміну деталей, підвищує продуктивність та надійність машин і механізмів. Це призводить до зниження загальних витрат та підвищення економічної ефективності виробництва.

Різні методи термообробки дозволяють адаптувати матеріали до специфічних вимог кожного застосування, забезпечуючи високу технологічну гнучкість. Це дозволяє виробникам створювати продукцію з оптимальними характеристиками для кожного конкретного випадку [4].

Таким чином, термообробка є важливим інструментом для забезпечення високих стандартів якості та надійності в багатьох галузях промисловості, сприяючи створенню більш ефективних і довговічних виробів.

Також для виготовлення деталей ливарним способом заготовки металу необхідно нагріти до температури, що відповідає температурі правлення його металу рис. 1.2. Форми в які заливають розплавлений метал необхідно повністю висушити, оскільки при залишок вологи підчас заливання металу миттєво закипить, що може призвести до руйнування форми і травматизму працівників.



Рисунок 1.2. Виготовлення деталей ливарним способом

Спосіб плавлення металу вибирають за температурою, при якій плавиться метал, його хімічним складом, фізико-хімічними властивостями розплаву, обсягом виробництва. При виплавці чорних металів (чавун, сталь) у ливарних

цехах застосовують вагранку (чавун), електродугову піч (чавун, сталь), мартенівську піч (сталь), при виплавці сталі застосовують також кисневі перетворювачі.

Паливні та електричні печі використовують для плавки кольорових сплавів і металів. Принцип роботи: нафтогазові печі, печі опору, індукційні печі та печі спеціального призначення – електродугові, електронно-променеві, плазмові, вакуумні. Вхідними металевими матеріалами для отримання сплавів при всіх способах виплавки є злитки і феросплави (продукція металургійного виробництва), металобрухт, дефектування власного виробництва, виливки, металева стружка в металообробних цехів.

Термообробка кераміки є важливим етапом у виробництві керамічних виробів, оскільки від цього залежить їх кінцева міцність, структура і властивості. Процес термообробки кераміки включає кілька ключових етапів, таких як сушка, випал і охолодження.

Сушка. Перед випалом, вологу сиру кераміку потрібно висушити, щоб уникнути утворення тріщин і деформацій. Сушку проводять поступово, спочатку при кімнатній температурі, а потім при підвищеній температурі в сушильних камерах. Цей процес дозволяє рівномірно видалити воду з матеріалу.

Випал. Основним етапом термообробки є випал, який зазвичай проводять у два етапи: низькотемпературний (бісквітний) випал і високотемпературний (глазурований) випал.

Низькотемпературний випал (бісквітний). Цей етап проводиться при температурі близько 800-1000°C. Метою є видалення органічних речовин і забезпечення початкової міцності виробу. Бісквітна кераміка після цього етапу стає твердою, але ще пористою і легко вбирає глазур.

Високотемпературний випал (глазурований). Після нанесення глазури виробу піддаються повторному випалу при більш високих температурах (1100-1400°C). Цей етап забезпечує плавлення глазури, яка утворює захисний та декоративний шар на поверхні виробу. Високотемпературний випал також сприяє зміцненню структури кераміки.

Охолодження. Після випалу кераміку поступово охолоджують. Швидке охолодження може призвести до виникнення тріщин через термічні напруження. Охолодження проводять поступово, щоб забезпечити рівномірне зниження температури і збереження цілісності виробів.

Контроль температури. У процесі термообробки кераміки важливу роль відіграє точний контроль температури. Використовуються різні типи терморегуляторів, такі як програмовані, ПІД-регулятори та інші, щоб забезпечити необхідні температурні режими на кожному етапі випалу.

Термообробка кераміки дозволяє досягти оптимальних фізичних і хімічних властивостей, таких як міцність, твердості, стійкість до впливу хімічних речовин і температурних коливань. Цей процес є важливою складовою виробництва керамічних виробів, від якої залежить їх якість і довговічність.

1.2. Обладнання для термообробки

Методи нагріву матеріалів можуть бути різноманітними і залежать від конкретних потреб та застосувань. Конвекційний нагрів може відбуватися як природним шляхом, коли нагріте повітря або рідина рухаються самостійно, так і примусовим шляхом за допомогою вентиляторів або насосів, що забезпечують циркуляцію повітря або рідини. Провідниковий нагрів здійснюється через безпосередній контакт нагрітого предмета з матеріалом, що нагрівається, і часто використовується в гарячих плитах і калориферах [5].

Індукційний нагрів використовує змінне магнітне поле, яке індукує вихрові струми в матеріалі, що викликають його нагрівання рис. 1.3. Цей метод широко застосовується в металургії, ковальстві та термічній обробці. Інфрачервоний (ІЧ) нагрів здійснюється за допомогою інфрачервоного випромінювання, яке поглинається поверхнею матеріалу і перетворюється на тепло, і використовується в ІЧ-лампах і ІЧ-нагрівачах [6].



Рис. 1.3. Індукційна термічна обробка поверхні деталі

Діелектричний нагрів полягає в нагріванні матеріалів з високою діелектричною проникністю за допомогою високочастотного електромагнітного поля, що застосовується у мікрохвильових печах і для сушіння деревини, паперу та харчових продуктів. Плазмовий нагрів, який використовує плазмову дугу для створення високої температури, знаходить своє застосування в плазмових різьбах і плазмовому напиленні покриттів.

Дуговий нагрів здійснюється за допомогою електричної дуги між двома електродами і широко використовується в дуговому зварюванні та плавці металів. Лазерний нагрів використовує лазерне випромінювання для концентрування великої кількості енергії на невеликій площі, що застосовується в лазерній обробці матеріалів, мікроелектроніці та медицині.

Хімічний нагрів відбувається внаслідок екзотермічних хімічних реакцій, таких як горіння або окислення, і використовується в пальниках та термітних реакціях. Сонячний нагрів, що використовує енергію сонця для нагріву матеріалів, застосовується в сонячних колекторах та теплих. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки і вибирається залежно від конкретних вимог до процесу нагріву, матеріалів та умов експлуатації.

Найбільш розповсюдженим та простим є використання електроенергії для непрямого нагріву деталей з використанням муфельної печі.

Електрична муфельна піч (рис. 1.4) являє собою піч з нагрівальним боксом 6, муфельну камеру 8, всередині камера виготовлена з жаростійкого матеріалу (кераміка, шамотна цегла, азбестові плити, корунд) та електронагрівальним елементом всередині 9. Корпус печі 7 багатошаровий і має ізоляційний шар для підтримки високої температури в печі. Дверцята печі 12 повинні бути щільно закриті, забороняється використання печі без дверцят [7]. Піч має широкий діапазон робочих температур від 100°C до 2000°C. За допомогою програмованого контролера 1 можна точно вибрати необхідну температуру, час витримки, відкрити вентиляцію, вмикання та вимикання печі. У більшості випадків ці печі використовуються для термічного випалу кераміки та термічної обробки металів. За допомогою муфельної печі можна плавити метал, гартувати та відпускати метал, зварювати кольорові метали. Вони також використовуються для аналізу та досліджень, а також для вирощування монокристалів.

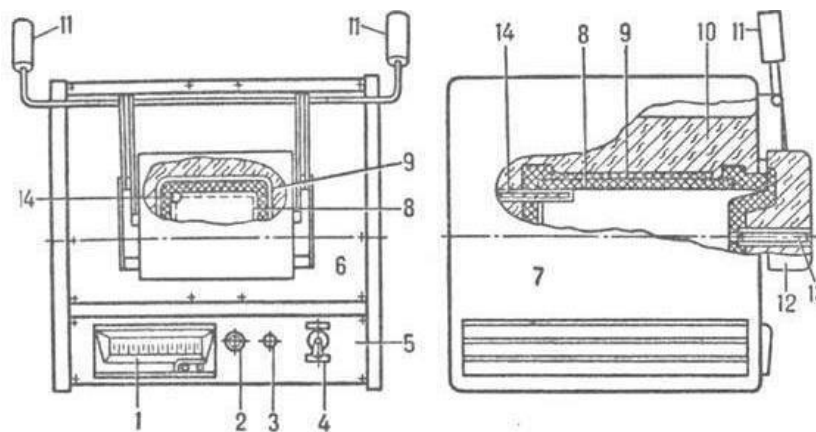


Рисунок 1.4 – Схема муфельної печі

- 1 – контролер; 2 – індикатори; 3 – запобіжник; 4 – вимикач;
 5 -керуючий блок; 6 - нагрівальний бокс; 7 – корпус; 8 - керамічний муфель; 9 –
 нагрівальний елемент; 10 – теплоізоляційний шар; 11 – противаги;
 12 – дверцята; 13 – відсік для контрольної термопар;
 14 – місце для терморегулятора.

Під дією електричного струму спіраль, розташована в середині муфельної печі, нагрівається, тим самим нагріваючи всю піч. Є можливість використовувати термопару та контролер, що містять програми для контролю та регулювання

температури. Для розплавлення металу в муфельній печі необхідний тигель, тобто ємність, щоб запобігти розповсюдженню металу в печі і полегшити операцію під час лиття. Тигель, як правило, повинен бути виготовлений з матеріалу, який не вступатиме в реакцію з розплавленим матеріалом і не буде впливати на його склад. Температура плавлення або руйнування матеріалу, з якого виготовлений тигель, повинна бути вищою за температуру плавлення матеріалу в тиглі [7].

Розглядаючи електричні схеми муфельних печей, можна виділити обладнання двох типів. Основною відмінністю є спосіб впливу на оброблювані зразки: непрямий та прямий.

Непрямий нагрів рис. 1.5 підходять для плавки металів та іншого.

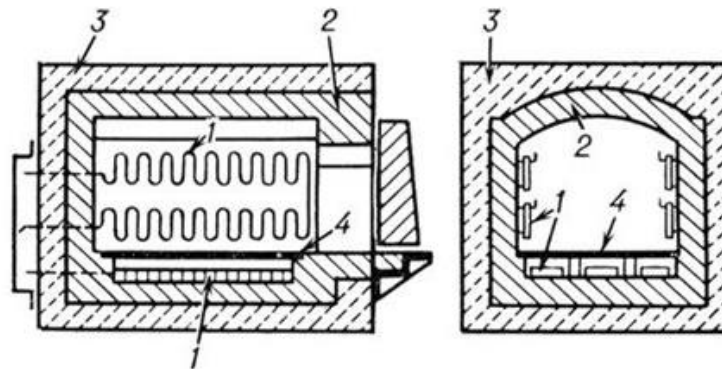


Рисунок. 1.5. Конструкція муфельної печі з непрямим нагріванням

1 – елементи, що нагріваються; 2 – футерівка; 3 – теплоізолюючий шар;
4 - жаростійка основа

При прямому нагріванні рис. 1.6 електроенергія перетворюється в тепло безпосередньо в виробі, що нагрівається. Це дозволяє досягати потрібної температури протягом короткого часу. Конструкцію такого обладнання ви можете бачити нижче, де:

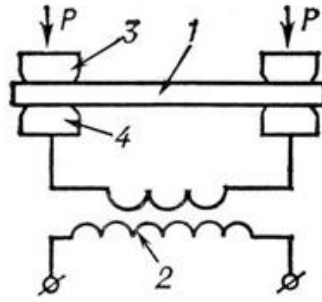


Рисунок. 1.6. Конструкція печі опору прямого нагріву

1 – оброблений зразок; 2 – знижувальний трансформатор; 3, 4 – контакти.

Електрична муфельна піч, має такі переваги:

- малі розміри та вага;
- наявність матеріалів при використанні;
- низька вартість комплектуючих;
- легкий та зрозумілий принцип роботи;
- високий ресурс;
- легка в обслуговуванні;
- тиха робота;
- робочі температури з широким діапазоном;
- можливість використовувати у лабораторії.

За способом укладання заготовок муфельні печі поділяють на вертикальні завантажувальні (рис. 1.7 а) і горизонтальні завантажувальні (рис. 1.7 б). Їх принципи роботи схожі, але вертикальнозавантажувальна піч легша для обробки кераміки, тому вона дуже популярна серед художників-керамістів. Використання муфельної печі з горизонтальним завантаженням зручніше для роботи з металами та для дослідницьких робіт. При роботі з розплавленими металами робити завантаження та вивантаження тиглів є зручнішим [8].



Рисунок 1.7 – Печі з різними типами завантаження

а) муфельна піч з вертикальним завантаженням; б) муфельна піч з горизонтальним завантаженням.

Розглянемо муфельні печі подібної конструкції. На рис. 1.8 показано два типи муфельних печей. Нагрівальний елемент може бути розташований всередині муфеля (рис. 1.8 а) або на зовнішніх стінках муфельної печі (рис. 1.8 б). На рис. 1.8 а представлена лабораторна муфельна піч ЛФ-7/11-В2 з керамічною муфельною камерою та нагрівальним елементом на зовнішній стінці, виготовленим із фехралі марки Х23Ю5Т. Об'єм камери становить 7 л, вона витримує температуру до 1100 °С, а потужність складає 3,3 кВт. Піч оснащена терморегулятором, кнопками керування температурою та дисплеєм з підсвіткою.

На рис. 1.8 б показана муфельна піч МПК-27-1300, призначена для термічної обробки керамічних та порцелянових виробів. Муфельна камера виготовлена з ШВП плит, а нагрівальний елемент розташований всередині та також виготовлений з фехралі марки Х23Ю5Т. Об'єм муфельної камери становить 27 л. Піч здатна працювати при температурі до 1300 °С і управляється терморегулятором ОВЕНТРМ251. Вона також має кнопки керування температурним режимом та дисплей з підсвіткою. Номінальна потужність печі складає 3,5 кВт.

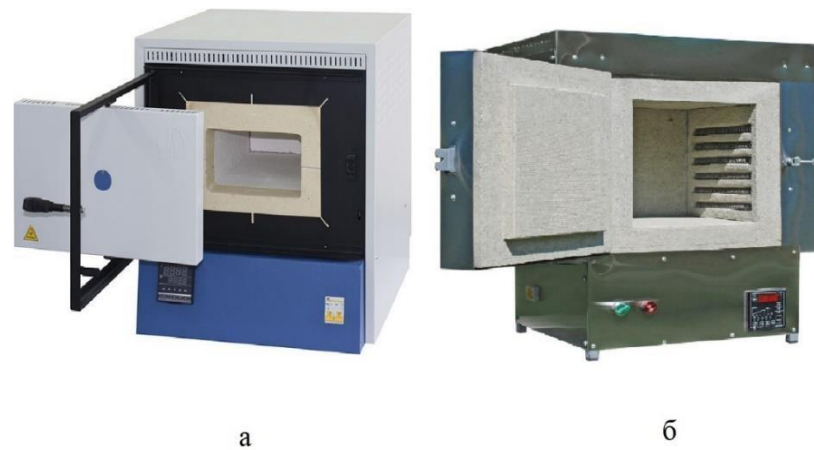


Рисунок 1.8 – Розташування нагрівальних елементів
 а) розташування нагрівальних елементів на зовнішніх стінках муфелю; б) розташування нагрівальних елементів всередині муфелю.

Приведені муфельні печі суттєво відрізняються своєю конструкцією, зокрема розташуванням нагрівального елемента. Це розташування відіграє важливу роль у функціонуванні печі. Якщо нагрівальна спіраль розміщена всередині муфеля, контроль температури стає складним завданням. Термопара нагрівається від спіралі, що спричиняє різкі коливання температури, ускладнюючи точне вимірювання поточної температури в камері.

Коли ж спіраль розташована по зовнішній стороні муфеля, футеровка печі та муфель нагріваються рівномірно. Це забезпечує стабільний і рівномірний нагрів, що дозволяє точно вимірювати температуру всередині камери. Такий спосіб розміщення нагрівального елемента дозволяє досягти рівномірного розподілу тепла і точного контролю температури, що є критично важливим для проведення точних і надійних експериментів.

1.3. Використання муфельних печей в інших галузях виробництва

Муфельна піч, має широке застосування в різних галузях промисловості та наукових дослідженнях завдяки своїм унікальним характеристикам. Основні застосування муфельних печей в таких напрямках включають:

- Кераміка та скло (рисунок 1.9):
 - Обпалювання керамічних виробів.

- Випалювання емалі на металі.
- Термобробка скла.
- Хімічна промисловість:
 - Випалювання хімічних зразків.
 - Синтез хімічних речовин при високих температурах.
 - Термодеградація органічних матеріалів.
- Лабораторні дослідження:
 - Проведення аналітичних хімічних досліджень.
 - Випалювання зразків для аналізу складу.
 - Термогравіметричний аналіз.
- Ювелірна справа:
 - Лиття та обробка дорогоцінних металів.
 - Випалювання емалі та інших декоративних покриттів.
- Медицина та стоматологія:
 - Випалювання керамічних зубних коронок.
 - Стерилізація інструментів та матеріалів.



Рисунок. 1.9. Муфельна піч для обпалювання кераміки

Для обпалювання керамічних виробів необхідно витримати три етапи нагріву. У першому етапі відбувається нагрів до температури 100 °С та витримати при цій температурі 30 хв, щоб вода, яка зарипіла, не розірвала виріб. Наступний етап – це температура перекристалізації кремнію 573 °С, на ній також витримуємо кераміку за постійної температури. Ну і остання "полиця" – коли ми досягли найвищої температури і повинні рівномірно прогріти всю піч. Тривалість останньої витримки залежить кількості керамічних виробів у печі [9, 10].

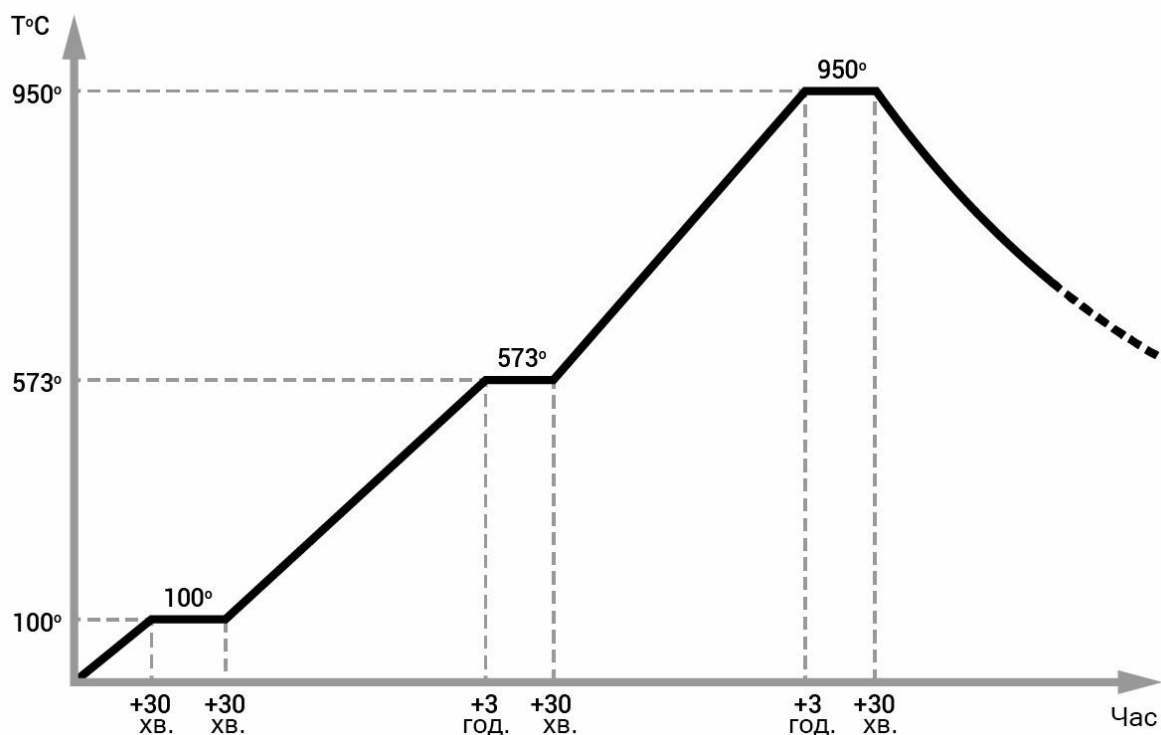


Рисунок. 1.10. Графік термообробки

Муфельні печі забезпечують точний контроль температури, рівномірний розподіл тепла та можливість роботи з різними матеріалами при високих температурах, що робить їх незамінними у багатьох технологічних процесах.

1.4. Контроль за температурою в печі

Контроль за температурою в муфельній печі є критично важливим для забезпечення точності процесів, таких як випал кераміки, термічна обробка

металів та інші. Це досягається за допомогою різних засобів і технологій, що дозволяють точно вимірювати, регулювати і підтримувати необхідні температурні режими.

Основним інструментом для вимірювання температури в муфельній печі є термопари рис. 1.11. Вони складаються з двох різнорідних металів, які утворюють електричну напругу залежно від температури. Термопари різних типів (К, J, S, В тощо) вибираються в залежності від діапазону температур і умов експлуатації. Термопара розміщується всередині печі і передає дані про температуру на терморегулятор.

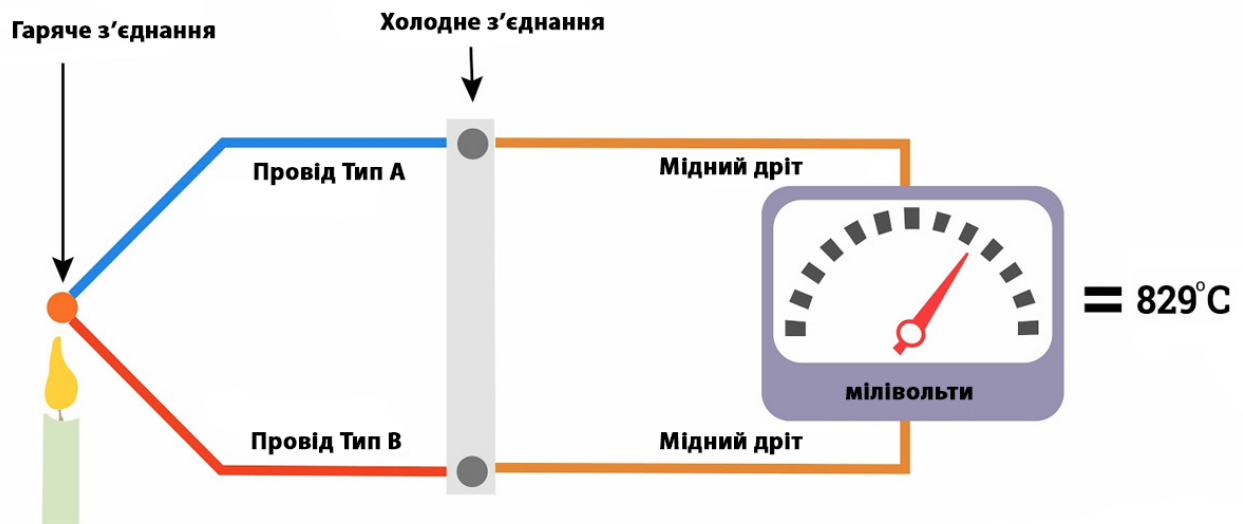


Рисунок 1.11 Термопара

Електронні терморегулятори використовують сигнали від термопари для регулювання температури всередині печі рис. 1.12. Вони можуть мати цифрові дисплеї для відображення поточної температури і налаштувань. Електронні терморегулятори дозволяють точно контролювати процес нагріву та охолодження.

ПІД-регулятори (PID) забезпечують дуже точний контроль температури завдяки використанню складних алгоритмів, які мінімізують коливання температури і забезпечують швидке досягнення встановленої точки. ПІД-

регулятори здатні адаптуватися до змінних умов всередині печі, забезпечуючи стабільну температуру [12].



Рисунок 1.12. Терморегулятор для муфельної печі

Програмовані терморегулятори рис. 1.13 дозволяють користувачам встановлювати різні температурні профілі для автоматичного виконання складних програм нагріву і охолодження. Це особливо корисно при випалі кераміки, коли потрібне поступове підвищення температури, витримка на певному рівні і поступове охолодження [13].



Рис. 1.13. Одноканальний програмний ПІД-регулятор TPM251

Крім термопар, можуть використовуватися й інші датчики, такі як інфрачервоні датчики для безконтактного вимірювання температури поверхні. Системи моніторингу дозволяють віддалено контролювати і регулювати температуру в печі через комп'ютер або мобільний пристрій.

Сучасні муфельні печі оснащені системами захисту, які автоматично відключають нагрів у разі перевищення встановлених температурних меж або в разі інших аварійних ситуацій. Це допомагає запобігти пошкодженню обладнання і забезпечити безпеку.

Забезпечення точного контролю за температурою в муфельній печі є ключовим для успішного проведення термічних процесів. Використання сучасних технологій і пристроїв для вимірювання і регулювання температури дозволяє досягти високої якості обробки матеріалів і підвищити ефективність виробничих процесів.

2. АПАРАТНА ЧАСТИНА

2.1. Розробка структурної схеми

Структурна схема муфельної печі наведена на рис. 2.1, яка складається з плати управління Wemos D1 Mini на базі мікроконтролера ESP8266. Плата Wemos D1 Mini містить прошивку, яка спеціально розроблений для регулювання температури муфельної печі. Структурна схема складається з таких елементів: блок живлення на 5 В, плата управління Wemos D1 Mini, енкодер, LCD-дисплей і модуль I2C для його індикації, світлодіодний індикатор, твердотільне реле і термопара.

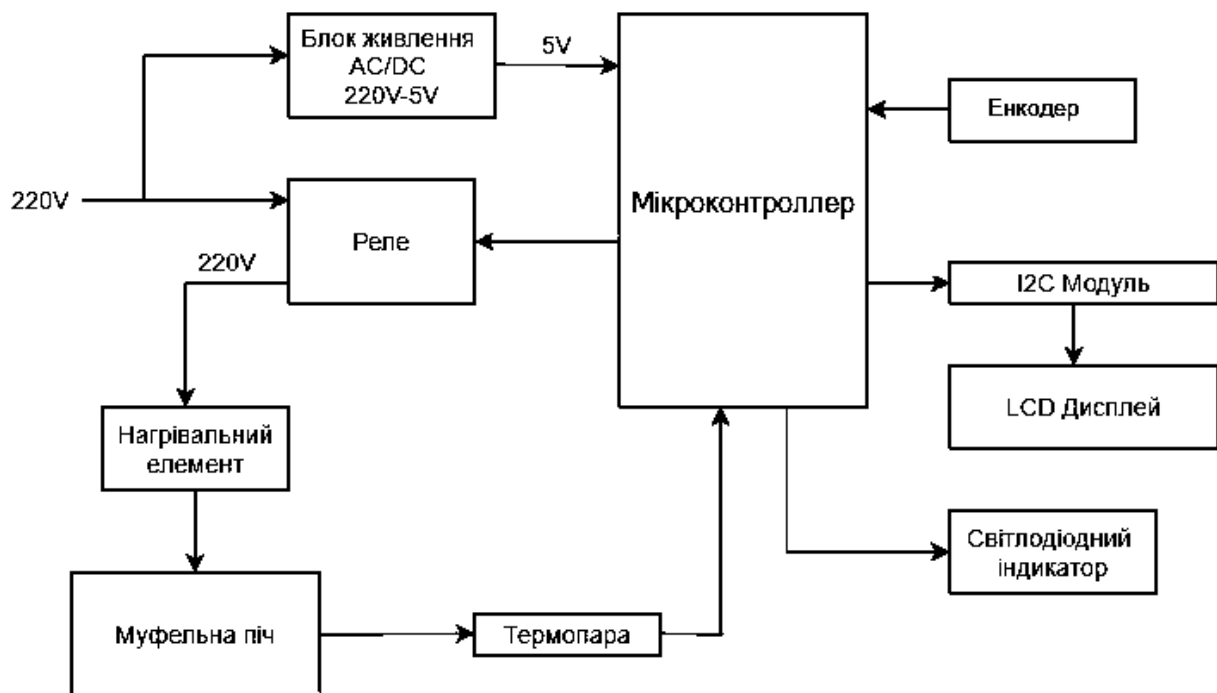


Рисунок 2.1. Структурна схема системи керування муфельної печі

Розроблена система живиться від джерела живлення 220 В. Нагрівальний елемент підключається до джерела живлення через реле. Керування твердотільним реле відбувається сигналом від плати управління Wemos D1 Mini. Для визначення температури в муфельній печі використано термопару, яка

підключається до плати керування за допомогою цифрового підсилювача сигналу на мікросхемі MAX6675. Після підсилення цей сигнал подається на плату керування Wemos D1 Mini.

Виведення інформації реалізується на дисплей LCD 1602 через зручний для підключення модуль I2C. Для регулювання температури вибору режиму роботи використано енкодер. Це дозволяє швидко та зручно переміщатися по пунктах меню та налаштовувати необхідні параметри.

Після встановлення заданої температури плата Wemos D1 Mini визначає поточну температуру в муфельній печі і якщо вона нижча від заданої замикається реле і тим самим вмикається нагрів. Коли температура досягне заданого значення реле розімкнеться і нагрів зупиниться. Для візуалізації процесу роботи реле, при його замиканні загорається світлодіодний індикатор.

2.2. Муфельна піч для модернізації

Для автоматизації вибрано невелику лабораторну муфельну піч ПМ-0 з максимальною потужністю нагріву 1,6 кВт рис. 2.2. Дана муфельна піч має розмір муфеля 135x85x235 мм і здатна нагріватися до температури 1000 °С. В ній нагрівальний елемент виконаний з фехралевого дроту Х25Ю5 намотаного ззовні на шамотний прямокутний муфель який вставлений в інший шамотний муфель. Простір між цими муфелями заповнено шамотною крихтою. Зовнішньою термоізоляцією слугує азбестове волокно. Час нагріву складає 90 хв. Вага печі складає близько 30 кг.

Для контролю температури муфельна піч ПМ-0 обладнана реостатом який обмежує максимальну робочу потужність, тим самим зменшуючи її максимальну температуру нагріву рис. 2.3. Однак, оскільки муфельні печі – це інертні системи, то при зниженні потужності також буде зростати і час нагріву.



Рисунок 2.2. Муфельна піч ПМ-0



Рисунок 2.2. Реостат муфельної печі ПМ-0

Для вимірювання температури використовується зовнішня термопара, котра вставляється у спеціально призначений для цього отвір у дверцятах. Відображення значення температури в печі здійснюється за допомогою мілівольтметра рис. 2.3.



Рисунок 2.3. Мілівольтметр.

Помноживши значення верхньої шкали на 10 отримаємо температуру.

2.3. Вибір електронних компонентів

Для керування роботою муфельної печі було обрано плату WEMOS D1 Mini на базі мікроконтролера ESP8266 версії ESP-12F рис. 2.4 [14]. Це компактний і потужний модуль який має на борту WIFI та програмується як звичайна плата Arduino в середовищі Arduino IDE, що робить його доступним і зрозумілим для великої кількості розробників.

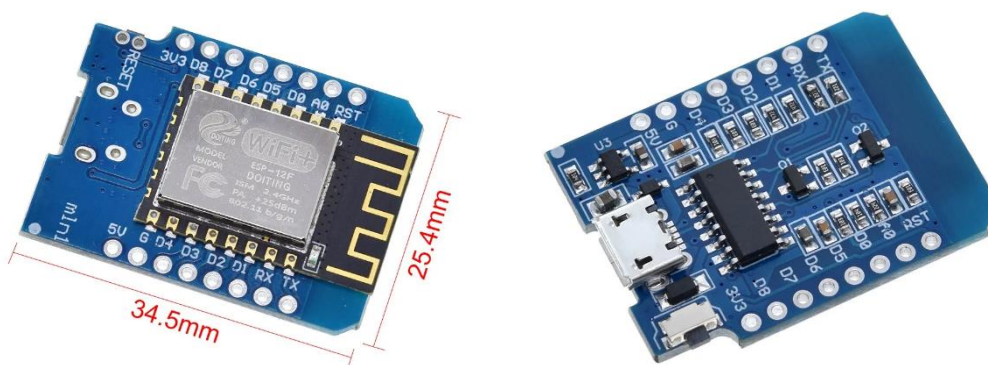


Рисунок 2.4. Плата WEMOS D1 Mini

Внутрішня схема модуля WEMOS D1 Mini зображена на рис. 2.5.

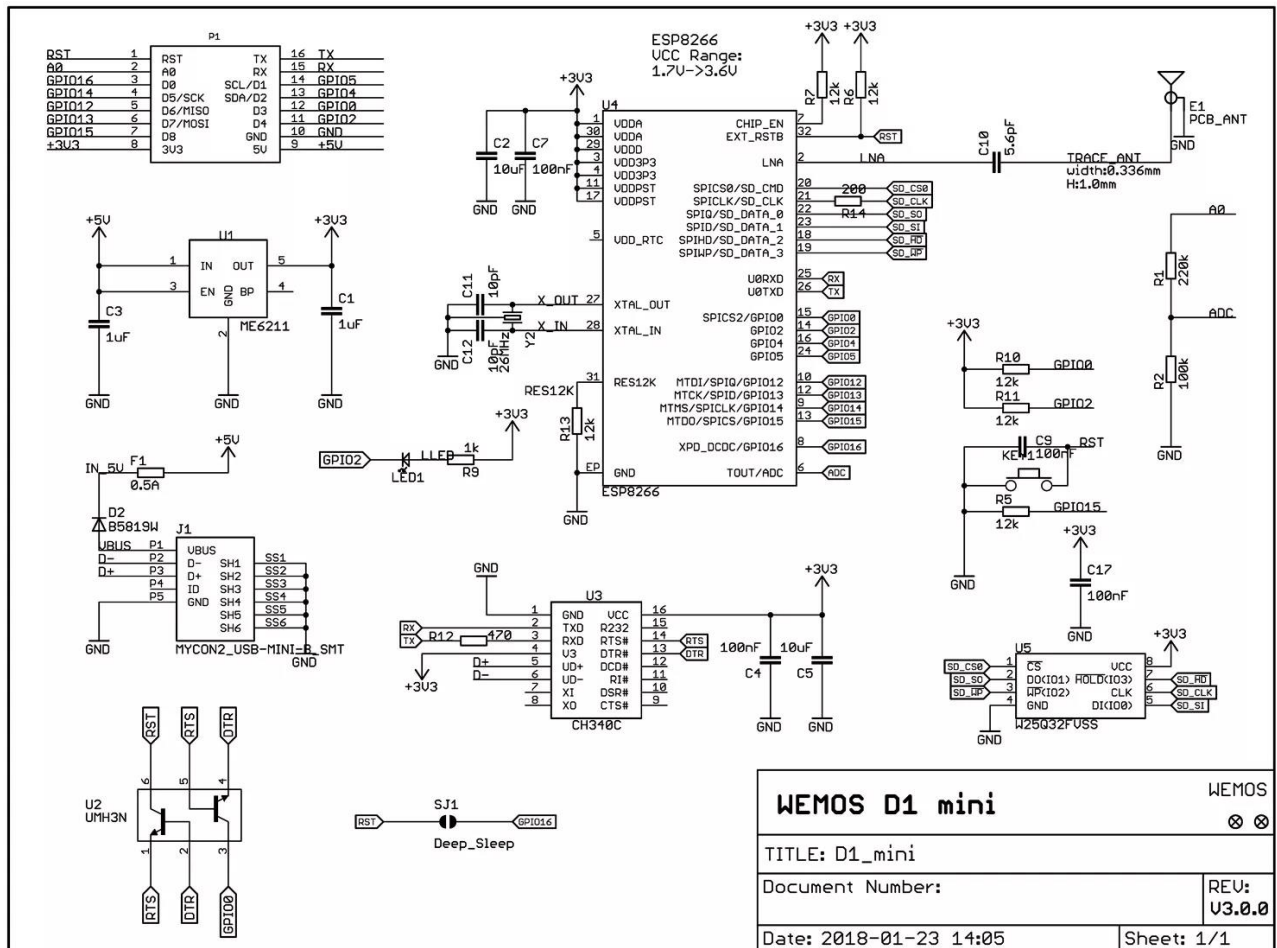


Рисунок 2.5. Внутрішня схема модуля WEMOS D1 Mini

Основні характеристики:

- 11 цифрових I/O пінів: Дозволяє підключати різні периферійні пристрої та сенсори.
- 1 аналоговий пін ADC: Підтримує вхідний діапазон від 0 до 3.3V, що дозволяє знімати аналогові сигнали.
- Підтримка OTA (Over-the-Air) оновлень: Дає можливість оновлювати прошивку без фізичного підключення до комп'ютера.
- Вбудований 5V 1A блок живлення: Може працювати від вхідної напруги до 24V, що забезпечує стабільне живлення для різних проєктів.

Інтерфейси:

- MicroUSB порт із чіпом CH340: Для зручного підключення до комп'ютера та програмування. Чіп CH340 забезпечує стабільний зв'язок і підтримку різних операційних систем.
- GPIO, ADC, I2C, SPI роз'єми: Дозволяють підключати та керувати різними периферійними пристроями та сенсорами.

Модуль має невеликі габарити, що дозволяє використовувати його в проєктах з обмеженим простором. Підтримка Lua-скриптів і програмування через Arduino IDE робить модуль надзвичайно універсальним. Ідеально підходить для IoT проєктів, домашньої автоматизації, контролерів освітлення, моніторингу стану та багато іншого.

Модуль сумісний з платформою Arduino, що спрощує процес розробки і дозволяє використовувати велику кількість доступних бібліотек і прикладів коду.

В якості реле, було обрано напівпровідникове твердотіле реле Fotek SSR – 25 DA (рис 2.5), у порівнянні зі звичайними електромагнітними, воно є безшумним. В електромагнітному реле в процесі подачі струму керуючим засобом на котушку, з'являється електромагнітне поле, і контактна рейка притягується, тим самим утворюючи іскри під час контакту. Це унеможлиблює використання електромагнітних реле у вибухонебезпечних середовищах. В твердотілих реле іскри не виникають, тому що воно працює на транзисторах, симисторах, тиристорах та внаслідок чого під час перемикання іскри не виникають. Твердотіле реле не має механічного зносу і як наслідок, має більший термін експлуатації.



Рисунок 2.5. Твердотіле реле Fotek SSR – 25 DA

FOTEK SSR – 25 DA це однофазне реле з діапазоном робочої напруги від 24 до 380 Вольт і змінним струмом до 40 А. Сигнал управління подається від 3 до 32 Вольт, а постійний струм становить 7,5 мА, що дає можливість керувати ним за допомогою WEMOS D1 Mini, оскільки в нього рівень високого рівня сигналу становить 3,3 В.

Для вимірювання температури в муфелі використовується термопара (тип-К) і підсилювача сигналу на мікросхемі MAX6675. Термопара виготовлена з двох дротів хромель – алюмель, що поміщені в керамічний захисний чохол (рис 2.6). Вона здатна витримувати до 800 °С. На одному кінці термопари є металевий спай, що вимірює температуру. Якщо місце спаю нагрівати, то під дією теплової ЕРС по дротах буде протікати струм. Цей струм буде прийматися модулем MAX6675 (рис 2.7 б), який виводить цифровий сигнал, що подається на плату керування. Він здатний читати температуру від -200°С до +700°С.



Рисунок 2.6. Термопара тип К і підсилювач сигналу на мікросхемі MAX6675

Для виводу інформації з плати керування використано РК-дисплею LCD 1602 який підключений до неї за допомогою адаптера I2C рис. 2.7. Дисплей може відображати 16 символів в одному рядку та 2 символи у стовпці. Він має регулювання яскравості підсвічування, що підходить для відображення необхідної інформації, а саме: поточної температури в муфелі, заданої температури, етапу програми та часу роботи печі. I2C адаптер необхідний для зменшення кількості виводів з 16 до 4.

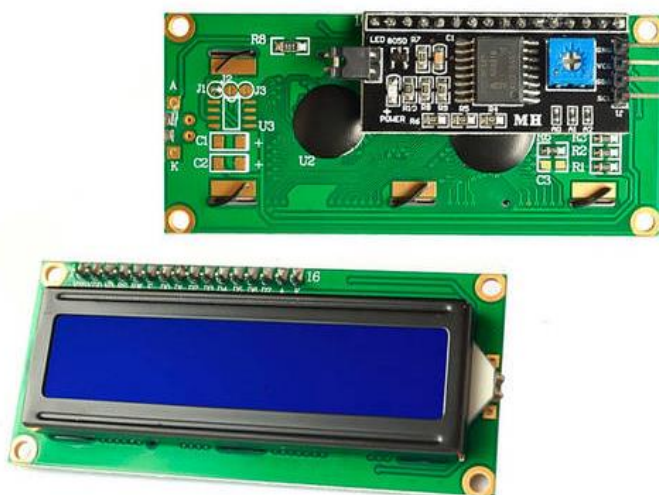


Рисунок 2.7. РК-дисплею LCD 1602 який підключений до неї за допомогою адаптера I2C

Для налаштування температури та інших параметрів а також переміщення по меню використано енкодер рис. 2.8.



Рисунок 2.8. Енкодер EC11

Енкодер EC11 з RC-фільтром від брязкоту контактів дозволяє використовувати як обертання за годинниковою та проти годинникової стрілки так і натискання на нього для налаштування системи. На один оберт енкодера подається 20 імпульсів на плату керування. Формат вихідного сигналу: квадратурний код 2 біт. Ресурс оборотів не менше 30 000. Ресурс натискання кнопки не менше 20 000.

Для живлення модуля WEMOS D1 Mini та інших периферійних пристроїв використано компактний закритий блок живлення HI-LINK на 5В потужністю 2Вт – HLK-5M05.



Рисунок 2.9. Блок живлення HLK-5M05

Блок живлення HLK-5M05 має компактні габарити та повністю закритий герметичний корпус. Вхідна напруга від 90 до 264 В та низький рівень пульсацій а також захист від короткого замикання на виході. Втрати без навантаження не перевищують 0,1 Вт.

2.4. Схема з'єднання компонентів

Для живлення всіх компонентів використовується блок живлення на 5 В. На рис. 2.10 зображено схему з'єднання електронних компонентів. Для її створення використано сервіс EasyEDA. LCD дисплей підключений за допомогою протоколу I2C до контактів D1 та D2. Термопара підключається до підсилювача сигналу Max6675 а він в свою чергу підключений до контактів D3 та D4.

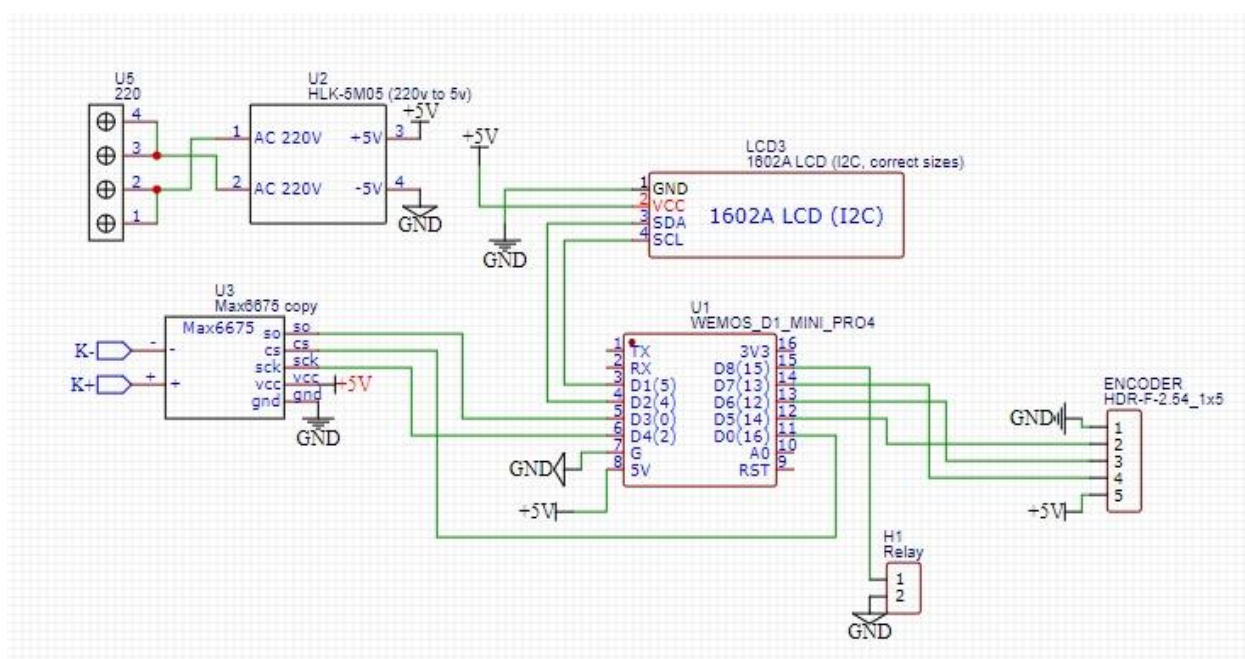


Рисунок. 2.10. Схема приєднання електронних компонентів

Для налаштування параметрів використано енкодер, він підключений до плати керування по трьох проводах до контактів D12, D13 та D14. По них передається інформація про напрямок повороту та кількість “кліків” для зміни параметрів а також обробляється натискання енкодера.

Для розміщення компонентів як корпус обрано розподільчу монтажну коробку розміром 100x100 мм. Щоб розмістити необхідні компоненти в корпусі створено друкуючу плату, 3D модель розміщення цих компонентів показано на рис. 2.11.

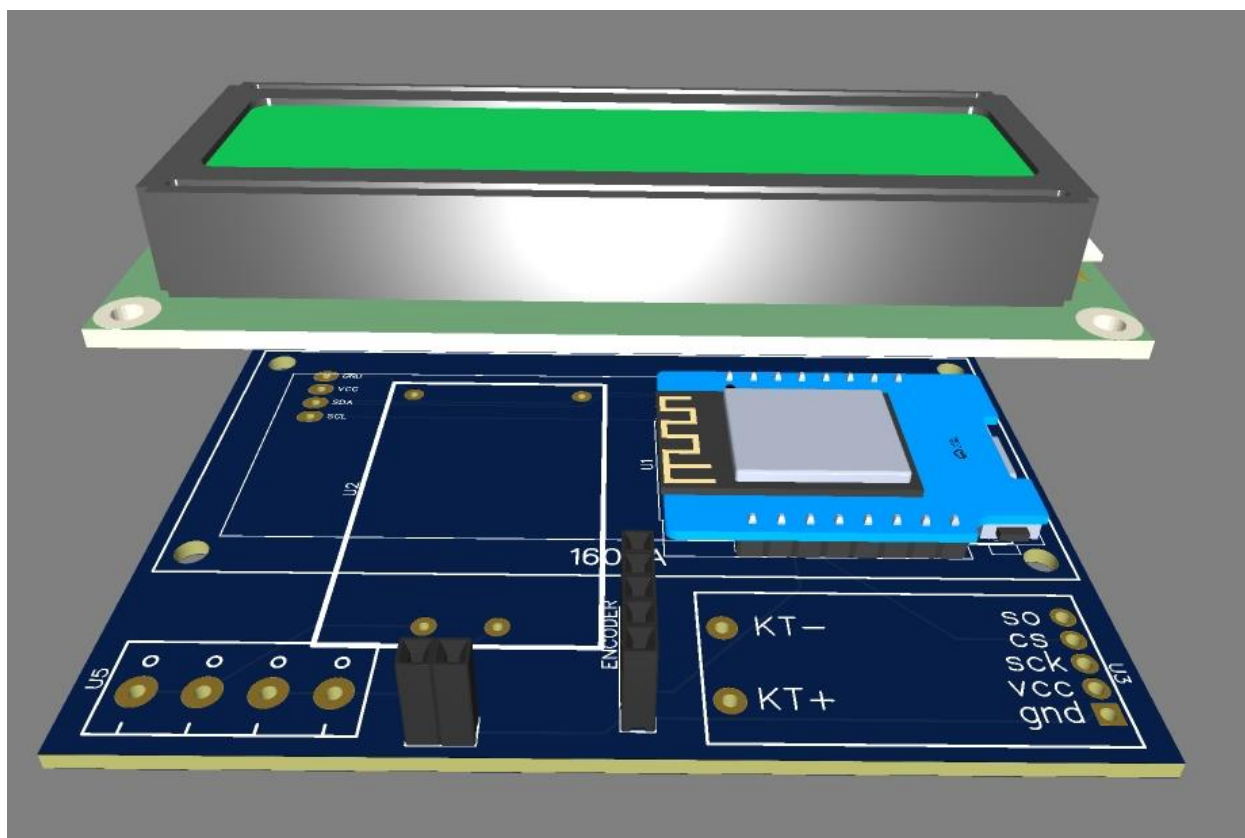


Рисунок 2.11. Схема розміщення електронних компонентів в корпусі

Монтаж та з'єднання всіх елементів виконано з використанням макетної плати. На платі передбачено чотири клеми дві з яких використовуються для входу напруги 220 В. Сюди також приєднано блок живлення HLK-5M05. Інші дві клеми використані для виходу напруги 220 В через твердотільне реле до нагрівального елемента муфельної печі.

На задній стінці також як і на дверцятах є спеціальний отвір із заслінкою для встановлення термомпери рис. 2.12 а.



а

б

Рисунок 2.12. Муфельна піч з системою автоматизації її роботи

На рис. 2.12. б показано встановлення система автоматизації та приєднання термопари до муфельної печі ПМ-0

3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

3.1. Керуючий код

Щоб забезпечити автоматичну роботу муфельної печі розробимо алгоритм налаштування температури та часу нагріву а також часу витримки при заданій температурі для шести циклів (етапів) нагріву. За потреби цю кількість легко можна змінити в коді курування.

Для написання коду керування для плати WEMOS D1 Mini використано програму Arduino IDE. Щоб полегшити взаємодію із вибраними електронними компонентами використано спеціалізовані бібліотеки для роботи з ними:

```
#include <MAX6675.h> // Бібліотека для роботи з модулем MAX6675
#include <EncButton.h> // Бібліотека для обробки сигналів від енкодера
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Бібліотека для роботи з LCD дисплеєм
```

Далі необхідно вказати контакти модуля WEMOS D1 Mini до яких підключено зовнішні модулі:

```
// Контакти модуля MAX6675
#define CLK_PIN D0 // Сигнал SCK
#define CS_PIN D4 // Сигнал CS
#define DATA_PIN D3 // Сигнал SO
EncButton eb(D5, D6, D7); // Піни підключення енкодера
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, D2, D1); // Адреса та контакти LCD дисплея
Наступним кроком потрібно здійснити ініціалізацію числових змінних:
int cycleMax = 6; // максимальна кількість циклів
int cycleNumber = 0; // поточний цикл - від 0 до 5
int cyclWork = 0; // поточний робочий цикл
int cyclStartNew = 1; // індикатор початку нового циклу 0/1
int sensorReadOld = 0;
int setTemp = 0;
int setTimeUp = 0;
int setTimeHold = 0;
```

```

int setTempNow = 0;
int flag = 0;           // 0 - пункт меню / 1 - значення
// int setCycle = 6;   // 6 екранів від 0 до 5
int stage = 0;        // етап роботи і відображення на екрані / 0 1 2
int sessorRead = 0;   // для поточного значення температури
int etap = 0;
int kkk = 1;          // для виводу таймера
int8_t arrowPos = 0;  // позиція стрілки
uint32_t starttime = 0;
uint32_t sec = 1;
static uint32_t timerCycleUp = 0;    // таймер нагріву
static uint32_t timerCycleHold = 0;  // таймер витримки

```

Далі створюємо масив для збереження налаштованих параметрів роботи

```

int vals[][3] = { { 25, 1, 1 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 } };

```

А також необхідно задати коефіцієнти для PID регулятора температури:

```

int kp = 15;
int ki = 0,2;
int kd = 1,0;

```

Підбір параметрів ПІД-регулятора (PID-регулятора) для муфельної печі є важливим завданням, щоб забезпечити стабільне та точне регулювання температури. Ці параметри визначають, як регулятор буде реагувати на зміни температури та керувати нагрівальним елементом. Параметри PID-регулятора включають пропорційний коефіцієнт (P), інтегральний коефіцієнт (I) та диференціальний коефіцієнт (D).

Пропорційний коефіцієнт (P) визначає ступінь реагування регулятора на помилку (різницю між заданою і реальною температурами). Високе значення P призводить до швидкої реакції, але може викликати коливання.

Інтегральний коефіцієнт (I) враховує сумарну помилку з часом. Високе значення I зменшує постійну помилку, але може призвести до перенавантаження і повільної реакції.

Диференціальний коефіцієнт (D) враховує швидкість зміни помилки. Високе значення D допомагає зменшити коливання, але може викликати нестабільність при надто великій чутливості.

У першому випадку (рис. 3.1) спостерігається сильне перерегулювання: температура надто довго «скаче» щодо встановленого значення, перш ніж досягти її. У другому випадку регулювання відбувається плавно, але надто повільно.

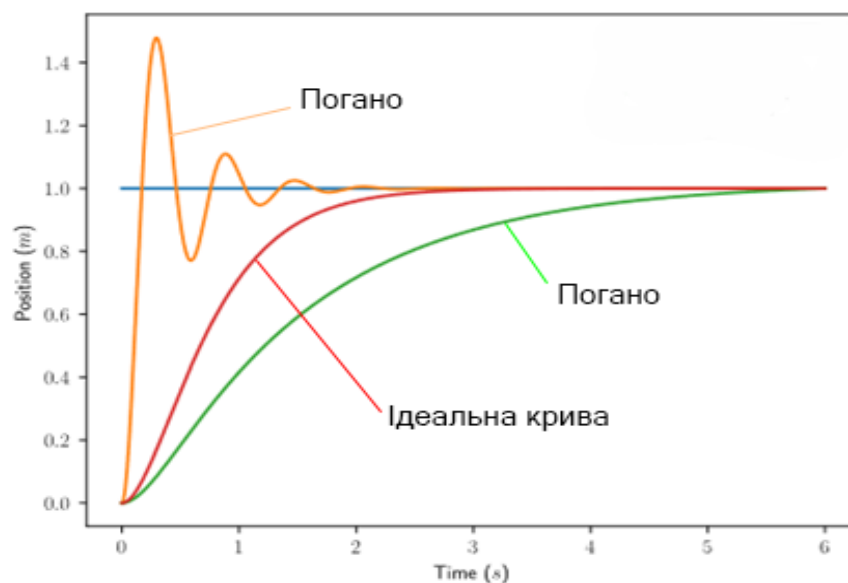


Рисунок 3.1. Графіки регулювання

Робота PID регулювання температури винесено в окрему функцію:

```
int pid(float input, float setpoint, float kp, float ki, float kd, float dt, int minOut, int maxOut) {
    float err = setpoint - input;
    static float integral = 0, prevErr = 0;
```

```

integral = constrain(integral + (float)err * dt * ki, minOut, maxOut);
float D = (err - prevErr) / dt;
prevErr = err;
return constrain(err * kp + integral + D * kd, minOut, maxOut);
}

```

В блоці *setup()* здійснено ініціалізацію швидкості послідовного порту та налаштування параметрів ШІМ (широко імпульсної модуляції) для керування твердотілим реле: величина ШІМ – 8 bit, а частота 100 Hz. Також налаштовуються параметри роботи енкодера та LCD екрану.

В головному циклі *loop()* постійно перевіряється чи те було повороту або натискання енкодера. При обертанні енкодера відбувається переміщення по сторінках різних етапів нагрівання, вибір пункту для встановлення необхідних параметрів. При будь-якій дії з енкодером відбувається оновлення інформації на LCD екрані, тому наді оновлюються миттєво.

Оновлення інформації на екрані винесено в окрему функцію *printGUI()* яка викликається і виводить ту інформацію яка вибрана відносно етапу налаштування або безпосередньо роботи муфельної печі.

3.2. Алгоритм роботи

При завантаженні на 1 с появляється заставка та відбувається температури, якщо читання успішне то на екрані виведеться поточна температура, коли зчитування температури невдале – то повідомлення про помилку рис. 3.2.

Щоб продовжити роботу необхідно покрутити енкодер в будь-яку сторону і тоді на екрані з'явиться меню налаштування параметрів роботи муфельної печі.



Рисунок 3.2. Початковий екран

В налаштуваннях обертаючи енкодер можна переміщати стрілку для вибору параметра для зміни рис. 3.3. Після кліку буде вибраний цей параметр і в подальшому обертання будуть змінювати його. Для налаштувань доступно такі параметри:

Сycl – вибір циклу (етапу) нагріву для налаштування (їх є 6);

Temp – необхідна температура до якої потрібно нагріти, °C;

t_up – час нагріву муфельної печі, хв;

t_hd – час витримки при заданій температурі, хв.



Рисунок 3.3. Меню налаштування параметрів

Таким чином можна налаштувати необхідну температуру та час витримки при цій температурі для матеріалу, що обробляється рис. 3.4.

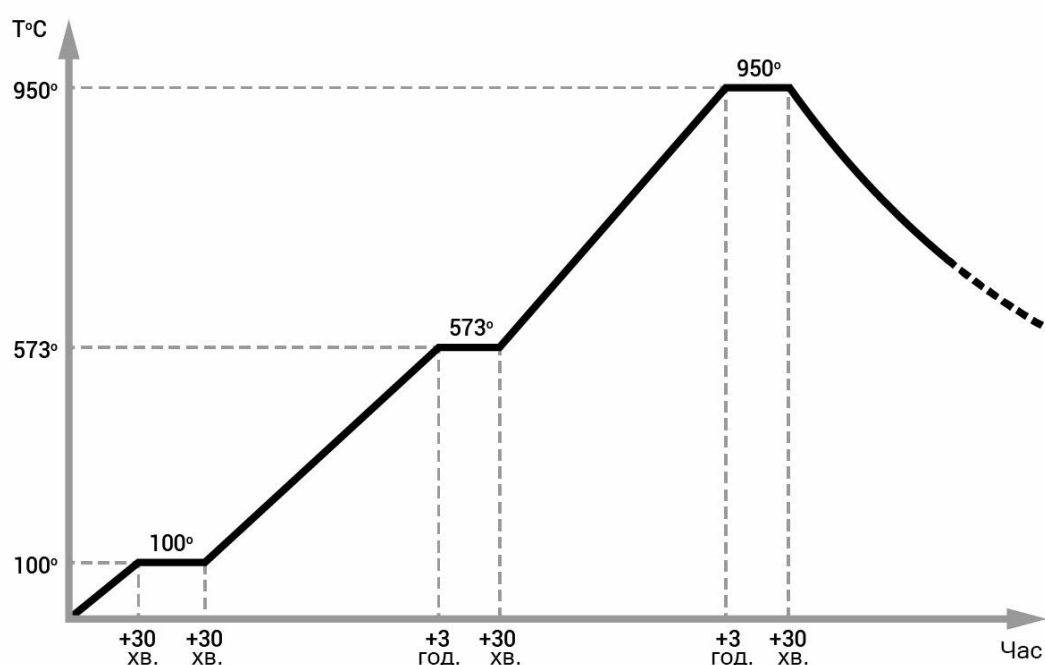


Рис. 3.4. Графік термообробки

Після завершення налаштування довгим “кліком” (тривалістю 2 с) можна запустити муфельну піч в роботу рис. 3.4. Також під час роботи довгим кліком можна зупинити виконання програми. Після завершення циклу 1 автоматично починається цикл 2 і так далі. Коди тривалість задана 0, то такий цикл буде пропущений.

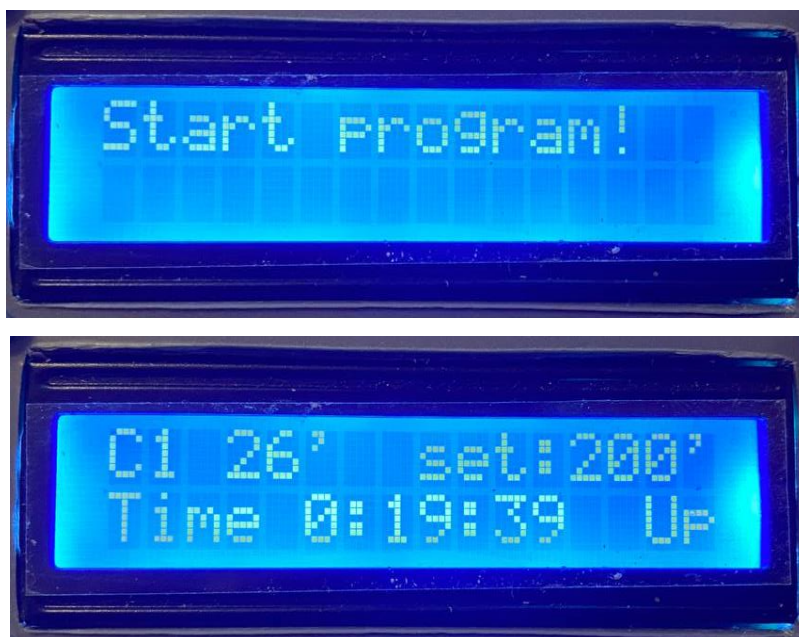


Рисунок 3.4. Екран системи в роботі

На екрані в процесі роботи відображається номер поточного циклу (рис. 3.4.), поточна температура, задана температура та зворотній відлік таймера.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

Муфельна піч встановлена в лабораторному приміщенні, з площею $\approx 40 \text{ м}^2$, об'ємом $\approx 240 \text{ м}^3$. Приміщення має двері, великі вікна, та штучне освітлення, якого достатньо для нормальних умов роботи

Розрахуємо параметри вентиляції [15], які є необхідними для приведеного приміщення. Відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 опалення, вентиляція та кондиціонування для механічної майстерні, необхідна швидкість повітрообміну складає 3-5 $\text{м}^3/\text{ч}$ [16]. Використаємо формулу для розрахунку мінімально необхідного повітрообміну для механічної майстерні, взявши коефіцієнт 3, об'єм приміщення 130 м^3 .

$$L = n \cdot V, \quad (4.1)$$

де L – необхідний повітрообмін в приміщенні; n – кратність повітрообміну;

V – об'єм приміщення.

Тоді отримаємо:

$$L = 240 \cdot 3 = 720 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для людини, яка постійно перебуває в приміщенні достатній норматив – 60 $\text{м}^3/\text{ч}$, тобто у лабораторії постійно можуть перебувати 12 чоловік.

4.1. Структурно-функціональний аналіз виробничого процесу та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій

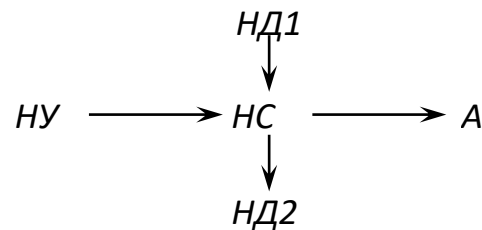
У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події, що утворюють конкретну аварійну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм та катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління охороною праці на виробництві. Ця система базується на оперативному виявленні виробничих небезпек, їх глибокому аналізі та негайному прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій. У таблиці 4.1 представлено деякі небезпечні ситуації.

Таблиця 4.1. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій

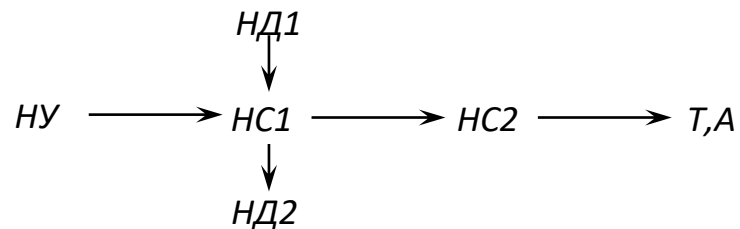
Вид робіт	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Використання механічної вентиляції	Оператор не перевіряв обладнання НУ	Пошкоджений трубопровід мережі НД1 Закупорений трубопровід шланга НД2	Відмова вентиляційної системи (двигуна) НС	Аварія	Розвісити плакати, провести інструктажі із експлуатації обладнання системи

Модель процесу:



Використання електронних пристроїв регулювання	Пошкоджена ізоляція провідників з'єднання НУ	Пробій на корпус НД1 Коротке замикання НД2	Ураження людини електричним струмом НС1 Виведення обладнання із ладу НС2	Травма Аварія	Заміна провідників, установлення захисного обладнання (запобіжників, захист від ураження людини струмом) тощо
--	--	---	---	---------------	---

Модель процесу:



Працівники, які обслуговують електрообладнання вентиляційної системи, зобов'язані знати Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів відповідно до займаної посади або виконуваних робіт і мати відповідну групу з електробезпеки [16,17].

Працівники, які порушили вимоги Правил безпечної експлуатації електроустановок, усуваються від роботи та несуть відповідальність (дисциплінарну, адміністративну, кримінальну) згідно з чинним законодавством. Вони не допускаються до робіт в електроустановках без позачергової перевірки знань вимог правил безпечної експлуатації електроустановок.

Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок, видається посвідчення встановленої форми.

Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом.

4.2. Вимоги техніки безпеки під час роботи обладнання та протипожежні заходи

Вимоги правил техніки безпеки перед початком роботи. Перед початком роботи, пов'язаної з вентиляцією, вимикають рубильники або автоматичні вимикачі щита низької напруги, зачиняють шафу та вивішують попереджувальні плакати. Необхідно використовувати основні захисні засоби, до яких належать такі засоби, ізоляція яких надійно захищає від робочої напруги мережі. Вони дозволяють торкатися до струмопровідних частин, що

перебувають під напругою, без ризику ураження електричним струмом, наприклад, інструменти з ізольованими ручками, ізолюючі струмовимірвальні кліщі та діелектричні рукавиці.

Вимоги правил техніки безпеки під час роботи. Після виконання цих операцій, одягають діелектричні рукавиці і за допомогою покажчика напруги перевіряють відсутність напруги на всіх фазах. Потім, приєднавши один кінець переносного заземлення до заземлюючого пристрою, накладають його на струмоведучі частини. Після цього можна остаточно приступати до роботи.

Вимоги правил техніки після закінчення роботи. Після закінчення роботи системи перед її вимиканням необхідно виконати такі технічні операції: перевірити надійність кріплення, зняти переносні тимчасові заземлення, відімкнути щит низької напруги і зняти плакати з техніки безпеки; якщо тимчасове переносне заземлення встановлене на лінії, його також треба зняти тощо.

Протипожежні заходи на об'єкті. Для запобігання пожеж на об'єкті розроблено організаційні, експлуатаційні, технічні режимного характеру, пожежно-евакуаційні, профілактичні заходи. До організаційних заходів відносяться правила розміщення машин, що обслуговують приміщення, обладнання, матеріалів з дотримання певних проходів, не допускається захаращення приміщень, проходів і т.д.

4.3. Розрахунок штучного заземлення

Вибір штучного заземлення проводиться в залежності від характеру ґрунту і способу забивання стержнів. Розраховуємо заземлюючий контур підстанції напругою 10/0,4 кВ з глухозаземленою нейтраллю. Характер ґрунту – чорнозем з $\rho = 2 \cdot 10^4$ Ом·см. Кліматична зона – IV ($K_c = 1,2$, $K_n = 1,5$). Струм замикання на землю в мережі становить 50 А.

В відповідності з діючими правилами, опір заземлюючого пристрою повинен становити

$$R = \frac{125}{I_3} = \frac{125}{50} = 2,5 \text{ Ом} \quad (4.2)$$

де I_3 – струм замикання на землю, А.

Приймаємо 3 Ом. Контур заземлення розміщуємо в ряд з $a = 5$ м, $l = 2,5$ м. В якості стержневого заземлювача приймаємо кутникові сталь 50x50x5 мм, а протяжного – пластинчасту сталь 40x4 мм.

Опір одиночного стержня становить:

$$R_o = 0.00318 \rho \cdot K_c, \text{ Ом} \quad (4.3)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності для стержневого заземлювача ($K_c = 1,2$).

$$R_o = 0.00318 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 1.2 = 76.32 \text{ Ом}$$

Число стержнів приймаємо 15. При цьому коефіцієнт використання стержневих заземлювачів становить $\eta_c = 0,7$. Опір всіх стержнів розтікання струму становить:

$$R_c = \frac{R_o}{n \cdot \eta_c}, \text{ Ом} \quad (4.4)$$

де n – число стержнів, шт.

$$R_c = \frac{76.32}{15 \cdot 0.7} = 7.3 \text{ Ом}$$

Довжина протяжного заземлювача становить $l = 35$ м (3500 см); приймаємо $t = 50$ см, $b = 0,4$ см. Опір протяжного заземлювача становить:

$$R_{np} = \frac{0,366}{l} \cdot \rho \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot l^2}{t \cdot b}, \text{ Ом} \quad (4.5)$$

$$R_{np} = \frac{0,366}{3500} \cdot 1,2 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot 3500^2}{0,4 \cdot 50} = 3,2 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт використання протяжного заземлювача $\eta_n = 0,71$. Дійсний опір протяжного заземлення становить:

$$R_n = \frac{R_{np}}{\eta_n} = \frac{3,2}{0,71} = 4,50 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Опір всього заземлюючого пристрою становить:

$$R_u = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n} = \frac{4,5 \cdot 7,3}{4,5 + 7,3} = 2,78 < 30 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

Отже, число стержнів вибрано вірно.

4.4. Захист цивільного населення

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Для розрахунків економічної ефективності розробленої системи автоматизації роботи муфельної печі за базовий терморегулятор приймемо одноканальний програмний ПІД-регулятор українського виробництва (м. Харків) ТРМ251 від компанії АКУТЕК. Його вартість становить 6 168 грн.

Визначимо вартість комплектуючих для збору системи автоматизації муфельної печі, ціна вказані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Вартість комплектуючих

№	Назва елемента	Вартість, грн
1	WEMOS D1 Mini	135,00
2	LCD екран 1602 з I2C адаптером	145,00
3	Термопара типу К	80,00
4	Модуль MAX6675	75,00
5	Енкодер EC11	40,00
6	Твердотіле реле Fotek SSR – 25 DA	180,00
7	Блок живлення HI-LINK HLK-5M05	150,00
8	Корпус	50,00
Разом:		855,00

Ціни вказані за компоненти для замовлення їх в офлайн магазинах з радіо-компонентами. Додамо до цієї суми 15% на допоміжні витратні матеріали такі як макетна плата, клеми, дроти ті інше. А також 10% на транспортні витрати. Тоді загальна сума складе 1068,75 грн.

Для збирання такої системи може знадобитися кваліфікований інженер або технік. Вартість роботи таких спеціалістів в Україні може варіюватися.

Прийmemo для розрахунків вартість оплати праці 125 грн. / год. (20 тис. грн з місяць).

Орієнтовний час, необхідний для збирання системи, можна оцінити наступним чином:

Розробка схеми та планування: 2-4 години

Збирання та монтаж компонентів: 4-6 годин

Програмування та налаштування: 2-4 години

Тестування та відлагодження: 2-4 години

Разом: 10-18 годин

Виходячи з вищенаведених ставок та часу мінімальна вартість при 10 годинах роботи складе 1250 грн; при максимальна вартість при 18 годинах роботи – 2250 грн. візьmemo середнє значення – 1750 грн на один пристрій.

Отже вартість виготовлення однієї системи автоматизації складе:

$$E = 1068,75 + 1750 = 2818,75 \text{ грн.}$$

Однак при виготовлення більшої кількості систем автоматизації затрати на розробку, програмування та налаштування виконуються лише один раз, тому вартість буде зменшуватися рис. 5.1.

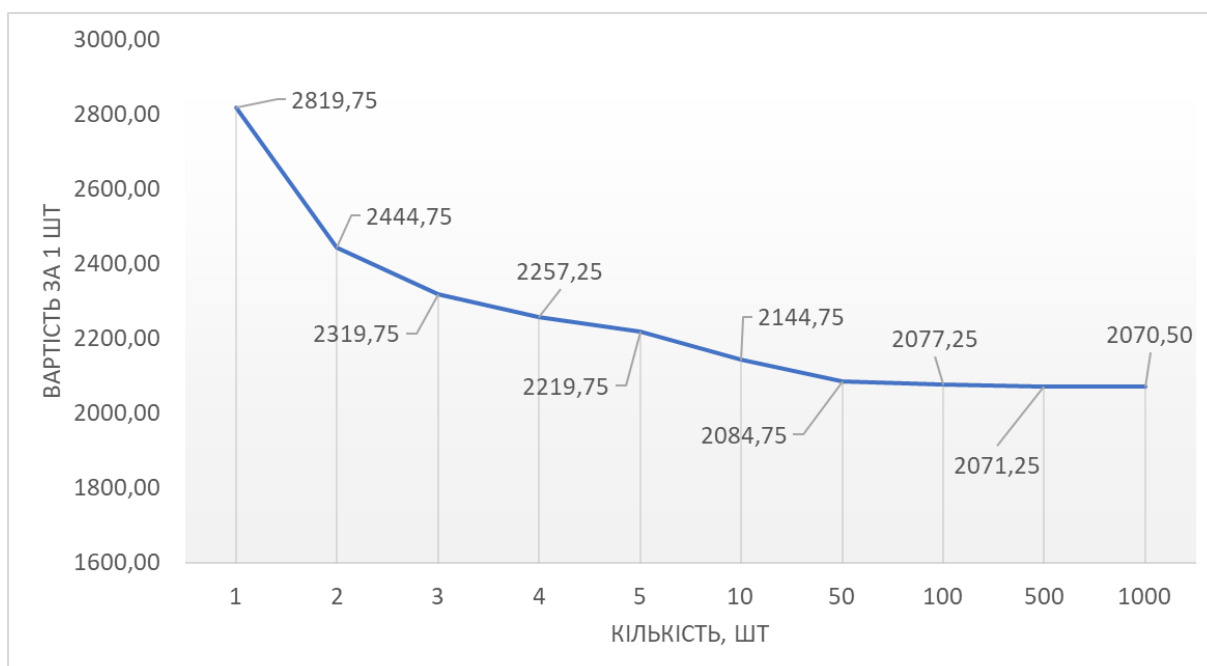


Рисунок. 5.1. вартість виготовлення

Отже при виготовленні однієї системи автоматизації її вартість складе 2819,75 грн, а це на 54,3% менше від базової моделі. Для десяти штук собівартість на одиницю складе 2144,75 грн і це на 65,2% дешевше базової моделі. Результати Розрахунків приведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Вартість виготовлення.

Кількість, шт	Вартість комплектуючих, грн	Оплата праці, грн	Затрати на одиницю, грн	Різниця відносно базової моделі, %
1	1068,75	1751	2819,75	54,28
2	2137,5	2752	2444,75	60,36
3	3206,25	3753	2319,75	62,39
4	4275	4754	2257,25	63,40
5	5343,75	5755	2219,75	64,01
10	10687,5	10760	2144,75	65,23
50	53437,5	50800	2084,75	66,20
100	106875	100850	2077,25	66,32
500	534375	501250	2071,25	66,42
1000	1068750	1001750	2070,50	66,43

Також при використанні системи автоматизації на виробництві оскільки час термообробки може займати декілька годин, а для обпалювання кераміки може коливатися від 6 до 16 годин, то в цей час працівник може займатися іншою роботою а не слідкувати за часом і температурними режимами.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Термообробка є важливим інструментом для забезпечення високих стандартів якості та надійності в багатьох галузях промисловості, сприяючи створенню більш ефективних і довговічних виробів.
2. Найбільш розповсюдженим та простим методом термообробки є використання електроенергії для непрямого нагріву деталей з використанням муфельної печі.
3. Для автоматизації роботи складних графіків термообробки у муфельної печі необхідно використовувати спеціальні терморегулятори які слідкують за температурою та регулюють нагрів.
4. Для встановлення системи автоматизації термообробки обрано муфельну піч ПМ-0. Вибрано набір електронних компонентів необхідних для побудови системи автоматизації та розроблено схему їх підключення.
5. Розроблено програмну частину та алгоритм роботи системи для обробки даних з термопари, керування роботою нагрівального елемента муфельної печі та можливості налаштування необхідних параметрів та графіку роботи за допомогою енкодера а також вивід необхідної інформації на екран.
6. Розглянуто аспекти охорони праці при використанні муфельної печі.
7. Вартість виготовлення однієї системи автоматизації роботи муфельної печі складе 2819,75 грн, з них 1068,75 грн. – вартість комплектуючих і 1751 грн. – оплата праці, це на 54,3% менше від базової моделі. Зі збільшенням кількості систем собівартість зменшується, так для виготовлення 1000 шт. вартість виготовлення складе 2070,50 грн і це на 66,43% менше від базової моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. К.: Либідь, 2002. — 328 с.
2. Афтанділянц Є. Г. Матеріалознавство: підручник / Є. Г. Афтанділянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатьмо. – Херсон : ОЛДІ-плюс; Київ : Ліра-К, 2013. – 612 с.
3. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков ; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. – 440 с.
4. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. – Львів: Світ, 2016. – 624 с.
5. Ярушин С.Г. Технологічні процеси в машинобудуванні. Електронний підручник:
https://stud.com.ua/36285/tovaroznavstvo/tehnologichni_protsezi_v_mashinobuduvanni
6. Електронний ресурс: <https://uk.dw-inductionheater.com/induction-heat-treating-surface-process.html>
7. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник. - Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 212 с.
8. Електронний ресурс: <https://ventalab.ua/mufelni-pechi/>
9. Тихи О. Обпалювання кераміки. Стройддат. 1988. – 344.
10. Серих Л.В. Особливості кераміки Слобожанщини: Посібник для вчителя. – Суми: РВВ СОППО, 2009. – 94 с.
11. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: Навчальний посібник. –Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 212 с.
12. Електронний ресурс: https://chemtest.com.ua/termoregulyatori_sistemi_kontrolya_omron_e5cn

13. Електронний ресурс: <https://aqteck.com.ua/ru/izmeriteli-regulyatory/programmnyj-pid-reguljator-oven-trm251>
14. Електронний ресурс: <https://www.wemos.cc/en/latest/d1/index.html>
15. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. – Л.: Афіша, 2002.
16. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 4-е. вид / За редакцією М.П. Гандзюка – К.: Каравела – 2008, – 384 с.
17. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев В.І. – К. : Урожай, 2013. – 270 с.

ДОДАТОК

Код керуючої програми для прошивки модуля WEMOS D1 Mini

Ось код без коментарів та пустих абзаців:

```
#include <MAX6675.h>
#define CLK_PIN D0
#define CS_PIN D4
#define DATA_PIN D3
MAX6675<CLK_PIN, DATA_PIN, CS_PIN> sens;
#include <Arduino.h>
#include <EncButton.h>
EncButton eb(D5, D6, D7);
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, D2, D1);

int cycleMax = 6;
int cycleNumber = 0;
int cyclWork = 0;
int cyclStartNew = 1;
int sessorReadOld = 0;
int setTemp = 0;
int setTimeUp = 0;
int setTimeHold = 0;
int setTempNow = 0;
int flag = 0;
int stage = 0;
```



```
int sessorRead = 0;
int etap = 0;
int kkk = 1;
int8_t arrowPos = 0;
uint32_t starttime = 0;
uint32_t sec = 1;
static uint32_t timerCycleUp = 0;
static uint32_t timerCycleHold = 0;
int vals[][3] = { { 25, 1, 1 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 },
                  { 0, 0, 0 } };

int kp = 15;
int ki = 0,2;
int kd = 1;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  analogWriteResolution(8);
  analogWriteFreq(100);
  pinMode(D8, OUTPUT);
  eb.setEncType(EB_STEP4_LOW);
  eb.setFastTimeout(100);
  eb.counter = 0;
```

```
lcd.init();  
lcd.backlight();  
  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("Muffle furnace.");  
lcd.setCursor(3, 1);  
lcd.print("LNUP 2024");  
delay(2000);  
lcd.clear();  
printGUI();  
}  
  
void loop() {  
  eb.tick();  
  
  if (stage == 0) {  
    if (eb.turn()) {  
      stage = 1;  
      printGUI();  
    }  
    static uint32_t timer1 = millis();  
    if (millis() - timer1 >= 1000) {  
      timer1 = millis();  
      printGUI();  
    }  
  }  
}
```

```
else if (stage == 1) {
  if (eb.click()) {
    if (flag == 0) flag = 1;
    else flag = 0;
  } else if (eb.hold()) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Start program!");
    delay(1500);
    stage = 2;
    starttime = millis();
    printGUI();
  } else {
    if (eb.timeout(30000)) {
      stage = 0;
    }
    if (flag == 0) {
      int increment = 0;
      if (eb.right()) increment = 1;
      if (eb.left()) increment = -1;
      arrowPos += increment;
      arrowPos = constrain(arrowPos, 0, 3);
    } else if (flag == 1) {
      int increment = 0;
      if (eb.right()) increment = 1;
      if (eb.left()) increment = -1;
      if (eb.fast()) increment = increment * 10;
      if (eb.rightH()) increment = 100;
```

```
if (eb.leftH()) increment = -100;

if (arrowPos == 0) {
    cycleNumber += increment;
    cycleNumber = constrain(cycleNumber, 0, cycleMax - 1);
} else {
    vals[cycleNumber][arrowPos - 1] += increment;
    if (vals[cycleNumber][arrowPos - 1] < 0) vals[cycleNumber][arrowPos - 1] =
0;
    }
}
}

if (eb.turn()) {
    printGUI();
}
}

else if (stage == 2) {
    if (eb.hold()) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Stop program!");
        delay(1500);
        stage = 1;
        printGUI();
    }
}
```

```
static uint32_t timer2 = millis();
if (millis() - timer2 >= 1000) {
    timer2 = millis();

    if (cyclStartNew == 1) {
        setTemp = vals[cyclWork][0];
        setTimeUp = vals[cyclWork][1];
        setTimeHold = vals[cyclWork][2];
        cyclStartNew = 0;
        kkk = 1;
        timerCycleUp = millis();
    }

    Serial.print("C:");
    Serial.print(cyclWork + 1);
    Serial.print(" setTemp:");
    Serial.print(setTemp);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(etap);
    Serial.print(" ");

    if (sens.readTemp()) sensorRead = sens.getTempInt();

    if (etap == 0 and setTimeUp == 0) {
        etap = 1;
    }

    if (etap == 0) {
```

```

sec = kkk * (setTimeUp * 60000 + timerCycleUp - millis()) / 1000ul;
if (sec == 0) kkk = -1;
setTempNow = setTemp;
if ((millis() - timerCycleUp) >= (setTimeUp * 60000)) {
    setTempNow = setTemp;
    Serial.println("час циклу для нагріву минув");
    if (constrainIn(sensorRead, setTemp, 10)) {
        timerCycleHold = millis();
        Serial.println("температура відповідає заданій");
        Serial.println(constrainIn(sensorRead, setTemp, 2));
        etap = 1;
    }
}

if (etap == 1) {
    sec = (setTimeHold * 60000 + timerCycleHold - millis()) / 1000ul;
    if ((millis() - timerCycleHold) >= (setTimeHold * 60000)) {
        cyclStartNew = 1;
        cyclWork += 1;
        etap = 0;
        Serial.println("час циклу витримки темп. минув");
    }
}

if (cyclWork >= cycleMax) {
    cyclWork = 0;
    setTemp = 0;
}

```

```

    setTimeUp = 0;
    setTimeHold = 0;
    analogWrite(D8, 0);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" The program");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" is complete.");
    delay(1500);
    stage = 1;
    printGUI();
}

```

```

int out = pid(sensorRead, setTempNow, kp, ki, kd, 1, 0, 255);
Serial.print(" out:");
Serial.print(out);
analogWrite(D8, out);
printGUI();
}}}

```

```

void printGUI() {
  if (stage == 0) {
    if (sens.readTemp()) {
      sensorRead = sens.getTempInt();
      if (sensorReadOld != sensorRead) {
        sensorReadOld = sensorRead;
        Serial.print("Temp: ");
        Serial.print(sensorRead);

```

```
    Serial.println(" *C");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(sensorRead);
    lcd.print(" *C");
  }
} else {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp: ");
  Serial.println("Error");
  lcd.print("Error");
}
} else if (stage == 1) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Cycl:");
  lcd.print(cycleNumber + 1);
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print("Temp:");
  lcd.print(vals[cycleNumber][0]);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("t_up:");
  lcd.print(vals[cycleNumber][1]);
  lcd.setCursor(8, 1);
  lcd.print("t_hd:");
  lcd.print(vals[cycleNumber][2]);
```



```
switch (arrowPos) {
  case 0:
    lcd.setCursor(4, 0);
    break;
  case 1:
    lcd.setCursor(12, 0);
    break;
  case 2:
    lcd.setCursor(4, 1);
    break;
  case 3:
    lcd.setCursor(12, 1);
    break;
}
lcd.write(126);
} else if (stage == 2) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("C");
  lcd.print(cyclWork + 1);
  lcd.print(" ");
  if (sens.readTemp()) {
    Serial.print("Temp: ");
    Serial.print(sensorRead);
    Serial.println(" *C");
    lcd.print(int(sensorRead));
    lcd.write(39);
  }
}
```