

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка автоматизованої системи керування процесом
пастеризації молока

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Смолій І.-М. С.

Керівник

(підпис)

Шовкун О.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Золотий Р.З.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Смолю Івану-Мар'яну Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматизованої системи керування процесом пастеризації молока

Керівник роботи Шовкун Олександр Павлович, ст. викладач кафедри АВ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «28» травня 2024 року № 4/7-552

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо параметрів пастеризації молока

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Проектна частина

Спеціальна частина

Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2024	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2024-24.05.2024	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2024-27.05.2024	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2024-29.05.2024	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2024-31.05.2024	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2024-11.06.2024	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2024-13.06.2024	Виконано
8.	Підготовка презентації	14.06.2024-15.06.2024	Виконано
9.	Підготовка доповіді	16.06.2024-17.06.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2024-19.06.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.06.2024-20.06.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Смолій І.- М. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Шовкун О. П.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить 10 арк.

Об'єм пояснювальної записки складає 69 друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано 26 літературних джерел.

В роботі було проведено аналіз роботи системи керування процесом пастеризації молока з метою оптимізації процесу та економії енерггоресурсів.

Було проаналізовано процес ПД регулювання температурними режимами пастеризації. В результаті було розраховано параметри регулювання за змодельовано процес.

В подальшому було розроблено систему керування процесом пастеризації на базі однокристальної ЕОМ Разбері 3. Розроблено систему відображення параметрів.

Також додатково було розглянуто можливість застосування такої системи для надвисокотемпературного нагрівання молока з метою пастеризації. Змодельовано процес і обрано параметри регулювання в пакеті Matlab.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ПАСТЕРИЗАЦІЯ, НАГРІВ, РАЗБЕРІ, АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Характеристика процесу пастеризації та дослідження методів регулювання параметрів	6
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	17
2.1 Методи пастеризації молока індукційним методом	17
2.2 Установка для індукційної пастеризації молока	18
2.3 Автоматизація процесу пастеризації	23
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	34
3.1 Розробка контролера для надвисокотемпературної обробки молока	34
3.2 Методика аналізу процесу	38
3.3 Конструкція контролера прямого зв'язку	43
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	51
4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням	51
4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт	56
4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування	58
4.4 Розрахунок захисного заземлення	59
ВИСНОВКИ	66
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Традиційні методи, які використовуються для стерилізації рідких харчових продуктів, включають термічну пастеризацію, технологію, яка розроблялася протягом десятиліть і є ефективним і економічно вигідним методом обробки в харчовій промисловості. Ці методи в основному базуються на конвективному та кондуктивному теплообміні, при якому теплова енергія передається від гарячого середовища до більш холодного продукту, що призводить до великих температурних градієнтів.

Альтернативним методом термічної пастеризації є магнітно-індукційне нагрівання, яке широко використовується в промисловості, побуті та медицині і демонструє переваги високої енергоефективності, швидкого нагріву, безпеки, чистоти та точного контролю температури нагрітої сировини.

Як безконтактний спосіб прямого нагріву матеріалу, він заснований на джоулевому нагріванні та магнітному гістерезисі. Ці два механізми викликають нагрівання через нерівномірний розподіл струму в області провідного матеріалу внаслідок утворення змінного магнітного поля.

Індукційне нагрівання нещодавно стало популярним у промислових, медичних і побутових системах завдяки своїм перевагам над традиційними методами нагрівання. Ключ до розробки енергоефективної методології термічної обробки харчової сировини з використанням пастеризаційного бака з індукційним нагріванням полягає в ефективності системи автоматизації процесу. Звертаючись до проблеми автоматизації індукційної установки пастеризації, важливим аспектом є дослідження можливості мікроконтролерів AVR і ARM. Вони використовуються для створення комплексного середовища розробки для керування, конструювання, тестування та розгортання вбудованої програми мікроконтролера.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика процесу пастеризації та дослідження методів регулювання параметрів

Молоко є інгредієнтом напоїв, які мають високий вміст поживних речовин, але є вразливими до бактерій, тому вони не довговічні та легко розбиваються (несвіжі). Таким чином, потреба в обробці молока для оптимізації якості та довговічності молока, що може врешті-решт зменшити кількість фермерів, які страждають від нежиті. у розповсюдженні молока та скороченні робочої сили на переробці молока. Одним із прикладів є пастеризація переробки молока.

Пастеризація - це процес нагрівання свіжого молока, щоб воно стало продуктом із довшим терміном придатності. Процес пастеризації може здійснюватися при високих або низьких температурах, які можуть застосовуватися. Очікується, що в процесі нагрівання шляхом контролю температури можна вбивати патогенні бактерії, які загрожують здоров'ю людини, і мінімізувати розвиток інших бактерій, як для нагрівання, так і під час зберігання.

Тому для подолання цих проблем потрібен інструмент для пастеризації молока з системою контролю для автоматичного отримання потрібної стабільної температури. Таким чином, це буде ефективна та стабільна температура, яка відповідає вимогам пастеризованого молока.

У цій роботі було протестовано за допомогою методики LTLT (Low Temperature Long Time) процес пастеризації, яка полягає в нагріванні молока до температури 63-65 °C і витримці при цій температурі протягом 30 хвилин. Щоб процес пастеризації молока відбувався автоматично, процес нагрівання здійснюється за допомогою контролера з ПД-контролем. Р (пропорційний), І (інтегральний) і D (похідний) із загальною метою прискорення реакції системи, усунення зсуву та створення великих початкових змін (коливань). За

допомогою ПІД-регулятора температури можна ефективно та ефективно контролювати час і підтримувати стабільну температуру процесу пастеризації.

Молоко пастеризоване

Пастеризація молока – це нагрівання молока при температурах нижче точки кипіння з метою знищення мікробів або хвороботворних мікроорганізмів, поки спори ще живі. Крім того, процес пастеризації є корисним для подовження терміну зберігання матеріалів або продуктів, може покращити смак продукту та може вбити ферменти фосфатазу та каталазу, ферменти, які швидко розщеплюють молоко. У процесі пастеризації молока використовуються два методи, а саме:

1. LTLT (тривалий час при низькій температурі). Метод LTLT в основному здійснюється шляхом нагрівання молока до температури 63-65 °C і витримування при цій температурі протягом 30 хвилин.

2. HTST (високотемпературний короткий час). Метод середньої HTST - це процес нагрівання до високої температури за короткий час, здійснюється шляхом нагрівання молока протягом 15-16 секунд при температурі 73-75 °C і більше.

PID (пропозиційна інтегральна похідна).

ПІД-регулятор для визначення точності системи контрольно-вимірювальних приладів із характеристиками їх зворотного зв'язку щодо системи рівня кваліфікації. Компонент ПІД-регулювання складається з трьох типів: пропорційний, інтегративний і похідний. Усі три можна використовувати разом або окремо залежно від бажаної реакції пристрою. Пропорційне керування має переваги під час швидкої та стабільної їзди, інтегральне керування завдяки своїй здатності мінімізувати помилки, а диференціальне керування має переваги послаблення недостатньої або надлишкової реакції.

У безперервному часі вихідний сигнал ПІД-регулятора визначається як:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1.1)$$

де,

$u(t)$ = Вихідний сигнал ПІД-регулятора;

K_p = пропорційна константа;

T_i = інтегральний час;

T_d = Час рису;

K_i = інтегральні константи;

K_d = постійне падіння;

$e(t)$ = сигнал помилки;

Таблиця 1.1 - Відповіді на систему ПІД-регулювання

Відповідь замкнутого циклу	Час підйому	Овершот	Осінній час	Стаціонарна помилка
Пропозиція (K_p)	Зменшився	Збільшений	Невеликі зміни	Зменшився
Інтеграл (K_i)	Зменшився	Збільшений	Збільшений	Загублений
Похідна (K_d)	Невеликі зміни	Зменшився	Зменшився	Невеликі зміни

Таким чином, передавальна функція ПІД-регулятора (в області s) може бути виражена рівнянням на рис. 1.1.

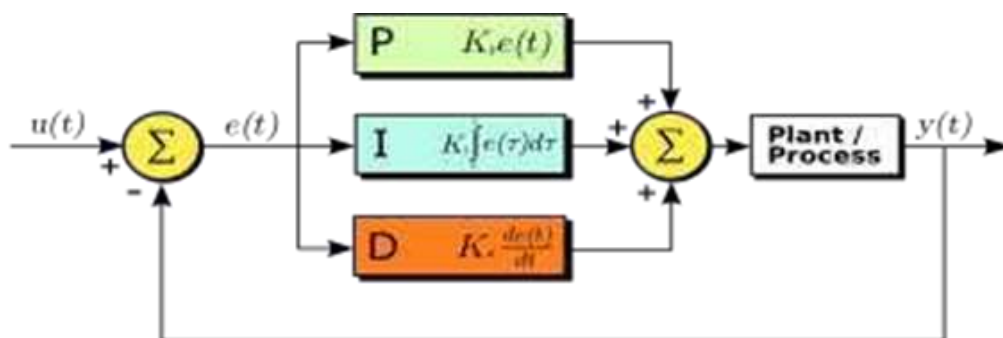


Рисунок 1.1 - Блок-схема системи PID.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1.2)$$

Датчик температури (PT 100)

Датчик PT100 (рис. 1.2) є типом датчика RTD. Датчик RTD (детектор температури опору) визначає температуру на основі значення опору або зміни значення в металевому компоненті. PT100 RTD використовується в нержавіючої сталі. Кабель PT100 RTD складається з 3 частин, які складаються з двох типів: А і В. Кабель В має дві гілки, які мають однакову функцію, оскільки кінці двопаралельні. Зміна середнього опору - Середній опір $0,39 \text{ Ом} / ^\circ\text{C}$.



Рисунок 1.2 - Датчик температури PT100.

Огляд пастеризатора для молока.

Для дослідження було використано пастеризатор молока, представлений на рис. 1.3. Основний контейнер виготовлено з використанням конструкційних матеріалів з нержавіючої сталі. Максимальна місткість матеріалу обмежена 20 літрами молока.

Створена такої блок-схема системи пастеризація з ПІД регулюванням приведена на рис. 1.3. Управління системами обігрівача використовує замкнуту систему керування з зворотним зв'язком для зменшення помилок і отримання бажаного результату. На рис. 1.7 показана схема контролера системи.



Рисунок 1.3 - Механічна конструкція системи для пастеризації молока.

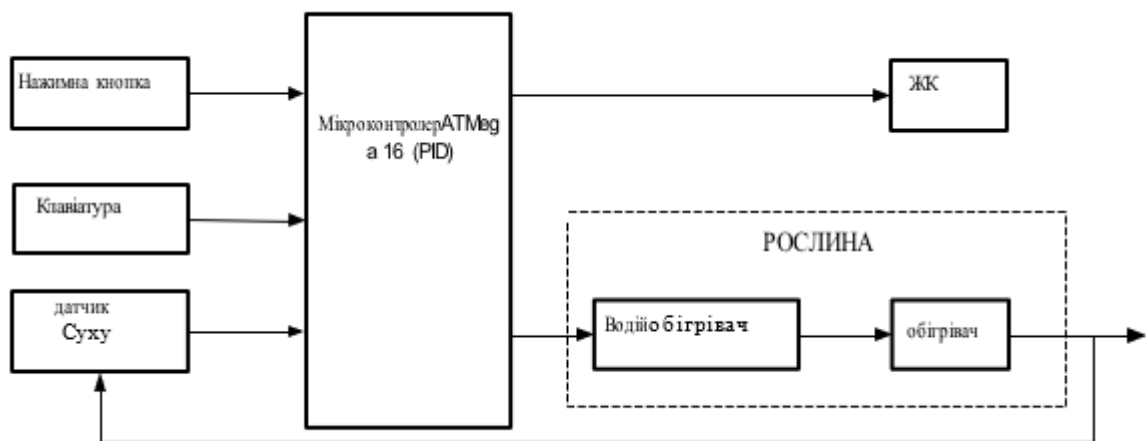


Рисунок 1.4 - Блок-схема системи.



Рисунок 1.5 - Блок-схема контролера установки.

Система моделювання

Розробка ПД-регулювання в процесі з використанням формули, яка потребує зворотного зв'язку показань датчиків температури РТ 100. Формула використовується для розрахунку коливань у програмі. Блок-схема ПД-регулятора показана на рис. 1.6. Перший крок, який потрібно зробити, це взяти відповідь плану, отриману експериментально з кроком вхідного блоку, щоб отримати значення t_u і t_a , як показано на рис. 1.7. і в таблиці 1.2. значення моделювання Strejc.

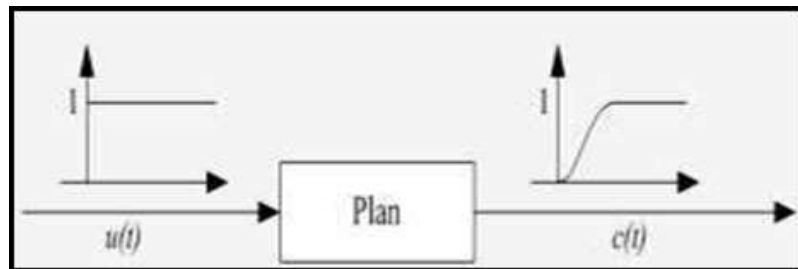


Рисунок 1.6 - Реакція системи на вихідний крок.

Таблиця 1.2 - Modeling Strejc

N	T_u/T	T_v/T	T_v/T_u
1	1	0	0
2	2.718	0.282	0.104
3	3.695	0.805	0.218
4	4.463	1.425	0.319
5	5.119	2.100	0.410

Використовуючи ряд Тейлора, корені характеристик можна обчислити таким чином:

1. Для порядку $n = 1$ максимальний ступінь чисельника має нульовий порядок:

$$G(s) = K \frac{e^{-\tau s}}{(Ts + 1)^1} \quad (1.3)$$

2. Для порядку $n = 2$ ступінь чисельника є максимальним порядком 1:

$$G(s) = K \frac{\tau e^{-\tau s} S + e^{-\tau s}}{(Ts + 1)^2} \quad (1.4)$$

3. Для порядку $n = 3$ ступінь чисельника є профузним. Порядок II:

$$G(s) = K \frac{\frac{\tau}{2} e^{-\tau s} S^2 + \tau e^{-\tau s} S + e^{-\tau s}}{(Ts + 1)^3} \quad (1.5)$$

Отримавши передаточну функцію за допомогою `sterjs` моделювання, результати розрахунку отримано передаточну функцію за допомогою ряду Тейлора. Крім того, процес було змодельовано за допомогою прикладної програми `matlab`. (рис. 1.7). За результатами моделювання отримана модель системи, яка була спроектована, можна визначити значення L і T кривої відгуку.

Таблиця 1.3 - Параметри ФІД за допомогою методу кривої реакції Циглера-Ніколса.

Тип контролеру	K_p	T_i	T_d
П	T/L	~	0
ПІ	0,9 т/л	L/0,3	0
ПІД	1,2 т/л	2л	0,5л

Отримавши передаточну функцію одиничного кроку, наступним кроком є обчислення значення K_p , T_i і T_d відповідно до правил Циглера-Ніколса.

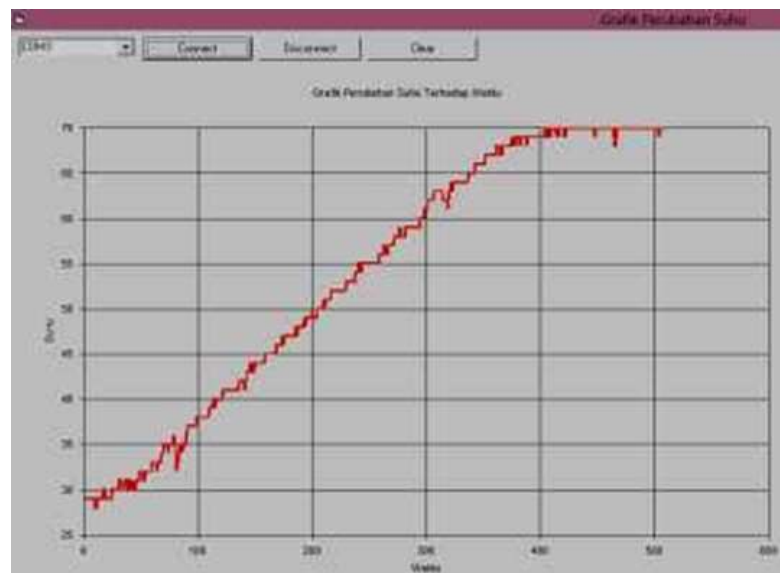


Рисунок 1.7 - Результати початкового відгуку нагрівача.

З графіка на рис. 1.7 отримано T_u і $T_a = 220$ і 3000 . Отже, щоб визначити порядок, який використовується в моделюванні $strejс$, можна зробити за допомогою:

$$T_u/T_a = 0.085$$

При вартості придбання $0,085$ актив вважається близько $0,1036$, що становить близько 2 . Тоді значення T і можна отримати шляхом моделювання таблиці $strejс$.

- $\frac{T_a}{T} = 2.71$
 $T = T_a/2.71$
 $= 300/2.71$
 $= 110.7 \text{ sec}$
- $T_u = T_a \times (T_u/T_a)$
 $= 300 \times 0.085$
 $= 25.5 \text{ sec}$
- $\tau = T_u - T_u'$
 $= 22 - 25.5$
 $= 4.8 \text{ sec}$

де:

$$s = \frac{1}{T} = \frac{1}{110.7} = 0.010$$

Використовуючи ряд Тейлора, корені характеристик можна обчислити таким чином: Для порядку $n = 2$ ступінь чисельника є максимальним порядком Π

$$G(s) = K \frac{e^{-\sigma s} s + e^{-\sigma s}}{(Ts+1)^2} =$$

$$= K \frac{4.8e^{-4.8 \times 0.009} s + e^{-4.8 \times 0.009}}{(110.7s+1)^2}$$

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{61.5}{65} = 0.94$$

Система моделювання

Результати розрахунку передавальної функції потім змодельовані за допомогою прикладної програми Matlab, показані на рис. 1.8, результат передавальної функції показаний на рис. 1.9

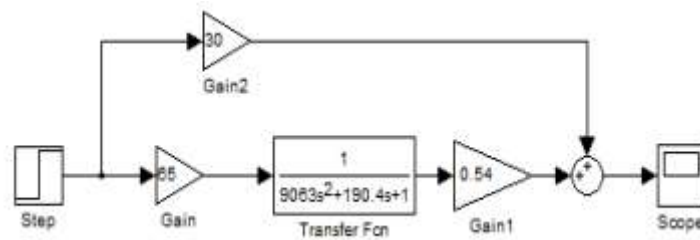


Рисунок 1.8 - Блок-схема методу функції передачі PID із Strejc.

Параметри PID отримують безпосередньо з графіка моделювання:

$$\begin{aligned} L &= 20 \text{ s} \\ T &= 300 \text{ s} \end{aligned}$$

Тоді значення K_p , K_i та K_d можна розрахувати наступним чином:

$$K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{300}{20} = \mathbf{18}$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 20 = 40$$

$$T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 20 = 10$$

Тоді як значення K_i та K_d можна шукати за таким рівнянням:

$$K_i = \mathbf{0.45}$$

$$K_d = K_p \times T_d = 18 \times 10 = \mathbf{180}$$

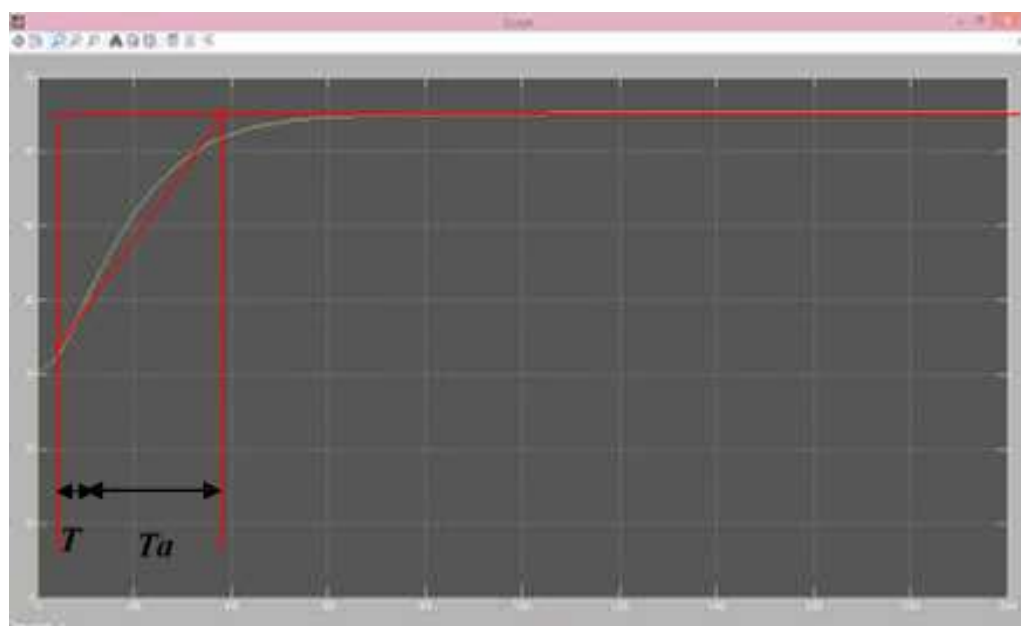


Рисунок 1.9 - Результати моделювання Matlab.

Проектування схеми

Проектний датчик температури

Серія датчиків температури PT 100. Використовується пристрій, який має властивості, чутливі до змін температури на 1°C , зміна діапазону призведе до діапазону опору $0:39\ \Omega$ і має діапазон від -200°C до $+800^{\circ}\text{C}$. Відомий як датчик, калібрований PT100 при 0° до значення опору $100\ \Omega$. На рис. 1.10 показано схему датчика температури. Схема датчика температури PT 100 розроблена на основі комбінації схеми моста Вістона з операційним підсилювачем (підсилювачем).

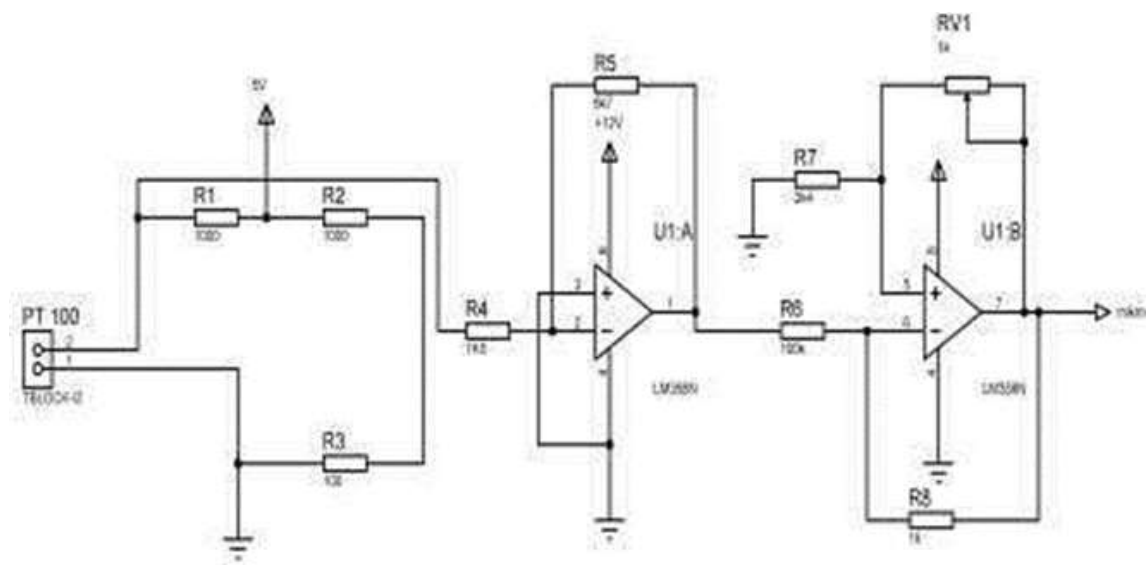


Рисунок 1.10 - Схема схеми датчика PT-100.

З метою відповідності діапазону аналогової вхідної напруги Atmega 16 від 0 до $+5\text{ В}$ постійного струму. Інвертуючий підсилювач складається з двох операційних підсилювачів у конструкції як інвертуючий підсилювач, тоді як $R4$, $R5$, $R6$ і $R8$ як посилення.

Отже, щоб обчислити значення R_{in} і R_f , якщо відоме значення $A_v = 45$ і $V_{out} = 5\text{ В}$. Таким чином, значення $V_{in} = V_{out}$ порівняльне значення R значення 45 . Тоді порівняння має бути посилення першого підсилювача операційного підсилювача, який є опором $4,5x$. А посилення другого операційного підсилювача становить 10-кратний опір.

Проектування вбудованої системи Atmega 16

У цьому дослідженні використовувався мікроконтролер ATmega 16 [19, 24] як основний контролер 16 у програмі Electoral Atmega для налаштування ємності створюваної програми; ємність пам'яті на мікроконтролері Atmega 16 достатньо велика, ніж 16 Кбайт, як зазначено в таблиці даних. Так що в цьому дослідженні мікроконтролер Atmega 16 найбільш підходящий. Зображення схеми для мінімального використання системи Atmega, показано на рис. 1.11.

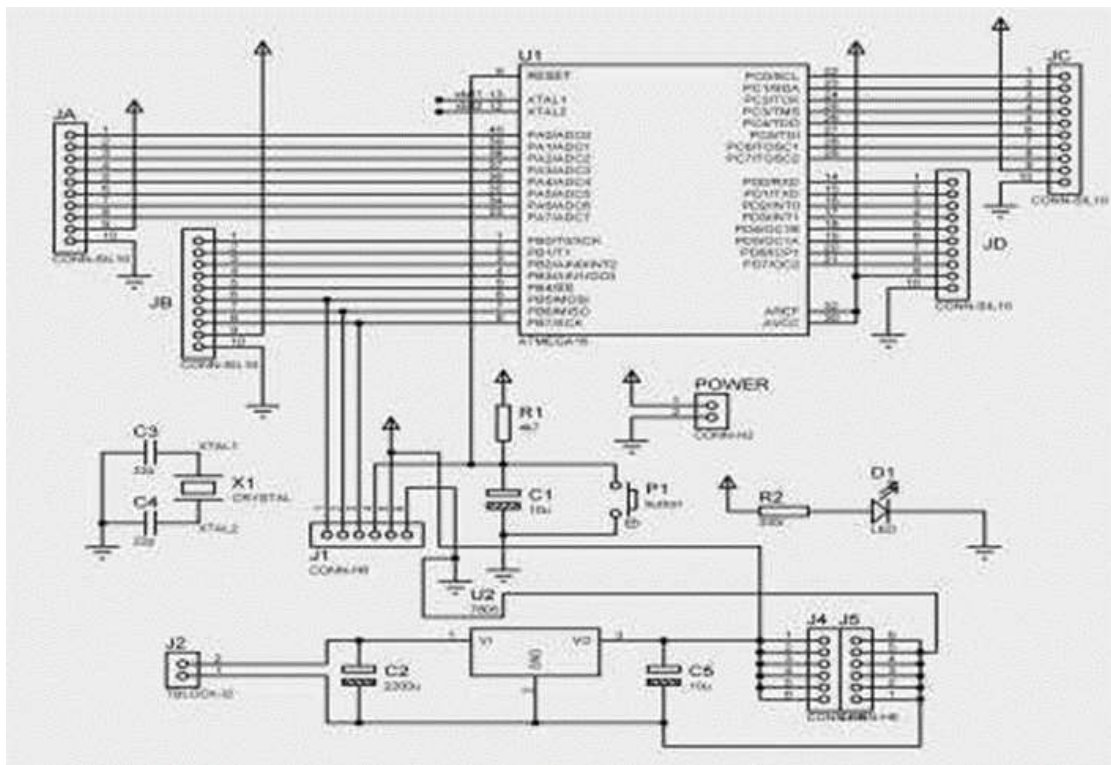


Рисунок 1.11 - Мінімальна схема системи Atmega 16

Конструкція нагрівача драйвера схеми

Відповідно до таблиці даних, тоді умова, що MOC ON, $V_F > 1,2 \text{ V}$ при $I_F = 100 \text{ мкА}$. (Рис. 1.12) Крім того, мікроконтролер $V_{OH} = 5 \text{ V}$ і $I_{i/O} = 40 \text{ мА}$. Можна розрахувати мінімальне значення і максимальне R_1 .

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Методи пастеризації молока індукційним методом

Використовуючи середовище розробки Thonny, мову програмування Python можна реалізувати багато ефективних проєктів для написання та виконання програм на мікрокомп'ютері Raspberry Pi.

У багатьох наукових працях описано універсальні індукційні системи, застосовні в харчовій промисловості та побутовому застосуванні. У таких системах основними елементами є індукційні котушки, джерело живлення генератора високої напруги, мікроконтролер (МК) і коливальний контур.

Автоматизація має велике значення в різних технологічних процесах. Зокрема, це звільняє людей від рутинних завдань, підвищуючи їх продуктивність. Крім того, автомат пристрої зменшують участь людини в тому чи іншому процесі, зменшуючи ймовірність помилки при визначенні різних значень. Автоматичні системи набагато точніше і оперативніше реагують на зміни певних параметрів, ніж люди. Автоматизація технологічних процесів з використанням ПІД-регулятора на базі мікрокомп'ютера може бути не просто корисною, але незамінною у випадках, коли необхідно виконати велику кількість розрахунків за короткий час. Іншою розробкою є використання ПІД-контролера для управління процесом пастеризації молока.

Пастеризація молока передбачає його нагрівання до заданої температури протягом певного часу, щоб позбутися хвороботворних мікроорганізмів і запобігти їх розмноженню. Тому необхідний високоточний контроль температури. Стаття [1] присвячена використанню регуляторів PID (Proportional-Integral-Derivative) і MPC (Model Predictive Control) для керування процесами пастеризації молока та їх порівняння. Автори встановили, що для керування складними технологічними процесами більше підходять регулятори MPC, ніж ПІД.

У статті [2] розроблено систему керування пастеризатором, що представляє собою ПІД-регулятор на базі Atmega16, для керування приводами електронагрівальних елементів, які отримують вхідні дані від датчиків температури ПТ 100. Результати випробувань були отримані при нагріванні 10 л молока від 30 °С до 65 °С, використовуючи метод налаштування Циглера Ніколса, $K_p = 18$, $K_i = 0,45$ і $K_d = 180$. На графіку показано час наростання (T_r) = 2400 с, час затримки (T_d) = 140 с, піковий час (T_p) = 2700 с, мертвий час (T_s) = 3700 с, максимальний підйом (M_p) = 2 °С і похибка стаціонарного стану 1,5%.

На основі описаних статей було розроблено програмне забезпечення та апаратний комплекс на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 B+ та установки індукційного нагріву, що дозволяє пастеризувати різні продукти в автоматичному режимі.

На відміну від ручного чи автоматичного керування, ПІД-регулювання дозволяє з більшою ймовірністю підвищити якість пастеризованого молока та знищити бактерії в сирому молоці.

Метою дослідження є розробка системи автоматизації термічної обробки харчової сировини з використанням пастеризаційної ємності з індукційним нагріванням.

У цій роботі першим завданням дослідження є розробка програми у формі віконного інтерфейсу для керування індукційним блоком під керуванням мікрокомп'ютера Raspberry Pi та у виборі периферійних пристроїв для керування блоком, включаючи виконавчі механізми, датчики та бібліотеки для них. в середовищі мови програмування Python [10–13].

2.2 Установка для індукційної пастеризації молока

Зовнішній вигляд відокремленої схеми розробленого прототипу пристрою індукційного нагріву наведено на рисунку 2.1. Алгоритм роботи пристрою наступний: з панелі керування значення температури пастеризації, швидкості обертання мішалки, потужності індукційного нагріву та її встановлюється

тривалість; напруга, необхідна для живлення основних елементів установки і електродвигуна, встановлюється регулятором напруги.



Рисунок 2.1 - Розподілена схема прототипу пастеризатора: 1. Бак; 2. Кришки бака; 3. Опорний стіл; 4. Корпус; 5. Верхня частина корпусу; 6. Кришка; 7. Рама індуктора; 8. Кріплення рами індуктора; 9. Корпус блоку живлення; 10. Монтажна стійка; 11. Мішалка; 12. Електродвигун.

При вирішенні задачі автоматизації установки індукційної пастеризації ми проаналізували можливості МК AVR та ARM, оскільки завдяки своїй універсальності, широкій функціональності та високим технічним характеристикам вони широко використовуються у створенні електроніки. З використанням цих МК вирішувалася задача автоматизації роботи пастеризатора.

Першим рішенням було використання AVR Atmega2560 MC. Цей контролер керував платою Arduino Mega 2560, що дозволило йому автоматизувати процес пастеризації.

Другим рішенням було використання STM32F429 MC, ядром якого є ARM Cortex-M4. STM32F429 було обрано замість його попередника AVR Atmega2560 через його значні переваги в функціях, таких як вища частота контролера (180 МГц проти 16 МГц), більше програм (2048 КБ vs 256 КБ), і RAM (256 КБ vs 4 КБ), і можливість вибору напруги живлення. Цей контролер керує платою налагодження STM32F429I-DISCOVERY.

AVR MC містить процесор, програмовані периферійні пристрої вводу/виводу та пам'ять. AVR MC використовуються для цифрового керування будь-якими електричними, автомобільними чи механічними системами, промисловими установками, різними електронними пристроями тощо. Ці MC доступні у вигляді 8-, 16- та 32-розрядних інтегральних схем. Найбільш поширеними AVR MC є ATmega8, ATmega16, ATmega32 і Atmega328.

AVR Atmega32 MC має EEPROM-1 КБ, SRAM-2 КБ, 32 регістри загального призначення, 23 входи/виходи загального призначення, гнучкий таймер або лічильник 3, включаючи режими порівняння, послідовний програмований USART, внутрішні та зовнішні переривання, послідовний порт SPI, двопровідний послідовний інтерфейс, 10-розрядний 6-канальний аналого-цифровий перетворювач і програмований таймер, включаючи внутрішній генератор і п'ять програмованих режимів енергозбереження.

У цій роботі ми використовували AVR Studio 4 – інтегроване середовище розробки (IDE), призначене для написання та налагодження програм для AVR MC. AVR Studio 4 містить асемблер і симулятор. Крім того, це середовище розробки підтримує такі інструменти для AVR, як ICE50, ICE40, JTAGICE, ICE200, STK500/501/502 і AVRISP.

AVR Studio підтримує COFF як вихідний формат для символічного налагодження. Інші сторонні програмні засоби також можна налаштувати для роботи з AVR Studio.

Цей процесор (рис. 2.2) має архітектуру комп'ютера зі скороченим набором інструкцій (RISC). RISC призначений для обробки простих інструкцій із обмеженого набору команд. Простота інструкцій обмежує кількість завдань, які може виконувати процесор, але підвищує його продуктивність. Одна команда в таких процесорах виконується за один машинний цикл. Крім того, процесори такої архітектури містять порівняно невелику кількість транзисторів, за рахунок чого процесор споживає менше енергії.

Простота інструкцій і їх обмежена кількість є причиною деяких недоліків RISC-архітектури. Обмежена кількість інструкцій призводить до їх більшої кількості, тобто програма для виконання того ж завдання в архітектурі RISC на 30% довша, ніж аналогічна програма в архітектурі Complex Instruction Set Computer (CISC). Довший програмний код призводить до більшого часу завантаження пам'яті.

ISOC SEGGER Embedded Studio — це повнофункціональне середовище розробки для керування, створення, тестування та розгортання вбудованої програми ARM MC на всіх етапах розробки: від генератора проектів, який створить проект для більшості ARM MC, потужного менеджера проектів і редактор вихідного коду, включаючи компілятор C/C++ і вбудований налагоджувач із вікном розширеної інформації про налагодження та прямою інтеграцією апаратного налагоджувача J-LINK, до функцій керування версіями для автоматичного розгортання програми.

Середовище розробки SEGGER Embedded Studio доступне для операційних систем Windows, Linux і MacOSX. SEGGER Embedded Studio має крос-компілятор для ARM MC. Інтерфейс середовища розробки однаковий на всіх платформах, щоб забезпечити найвищу продуктивність незалежно від уподобань операційної системи [16–19].

Редактор вихідного коду не тільки підтримує визначене користувачем підсвічування синтаксису, автоматичне відступи коду та підсвічування дужок, але також забезпечує автоматичне завершення коду для символів, функцій і ключових слів у програмі, а також настроювані шаблони коментарів до коду.

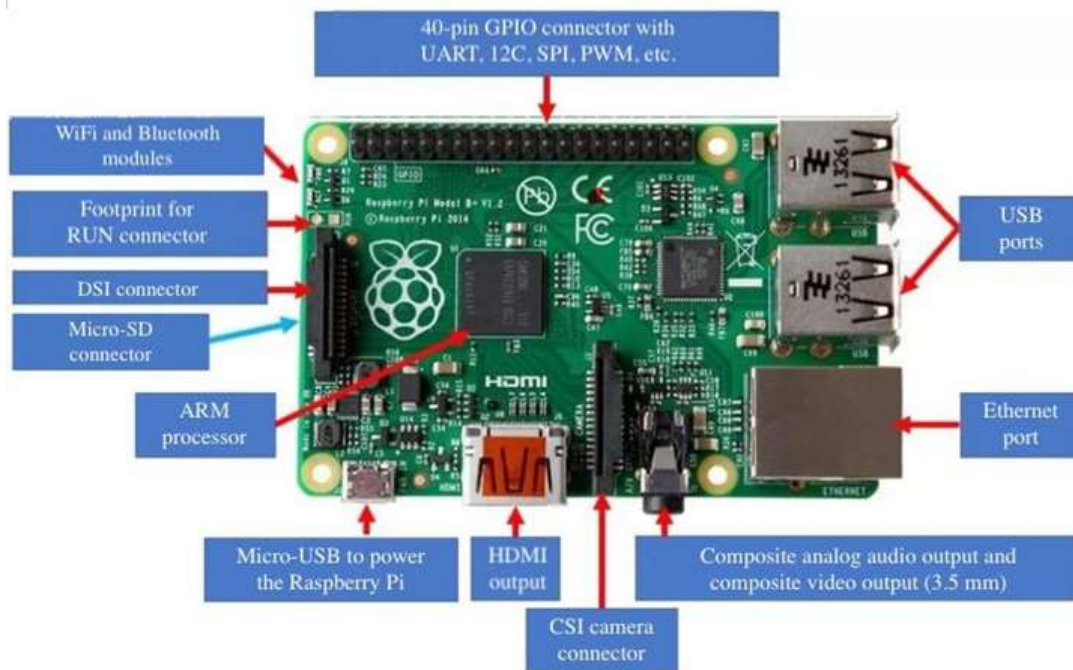


Рисунок 2.2 - Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4B+

Raspberry Pi 4 Model B — мініатюрний одноплатний комп'ютер. Ця платформа має доступ до Інтернету (не потребує додаткових пристроїв) і власну операційну систему, що дозволяє розробляти програми. Таким чином, даний мікрокомп'ютер може стати елементом управління різними пристроями. Нижче ми представляємо зображення Raspberry Pi 4B (рис. 3) із його складовими частинами.

Raspberry Pi 4 зчитує параметри пастеризації (продукт термічної обробки, об'єм, потужність індуктора) і керує датчиками температури, індуктором і мішалкою. Після запуску процесу нагрівання, на основі значення зчитованої температури продукту пастеризації, мікрокомп'ютер припиняє нагрівання, забезпечуючи постійну температуру (температуру витримки) протягом певного часу (час витримки) для конкретного продукту. Протягом усього процесу пастеризації мікрокомп'ютер зчитує температуру транзистора та індуктора, і якщо допустимі температури перевищуються, Raspberry Pi 4 аварійно зупиняє процес пастеризації. Після завершення процесу пастеризації мікрокомп'ютер автоматично створює звіт про сеанс пастеризації, зберігаючи дані у вигляді

CSV-файлів і графіків і форматуючи отримані дані у вигляді звіту у форматі docx.

Мікрокомп'ютер використовувався для керування роботою прототипу пастеризатора та його різноманітних периферійних пристроїв. Це включає датчики, які вимірюють різні параметри пастеризації молока.

2.3 Автоматизація процесу пастеризації

Першим кроком є розробка алгоритму керування з вимірюванням температури пастеризації. Для цієї оцінки можна використовувати цифровий датчик температури DS18B20 (рис. 2.3).

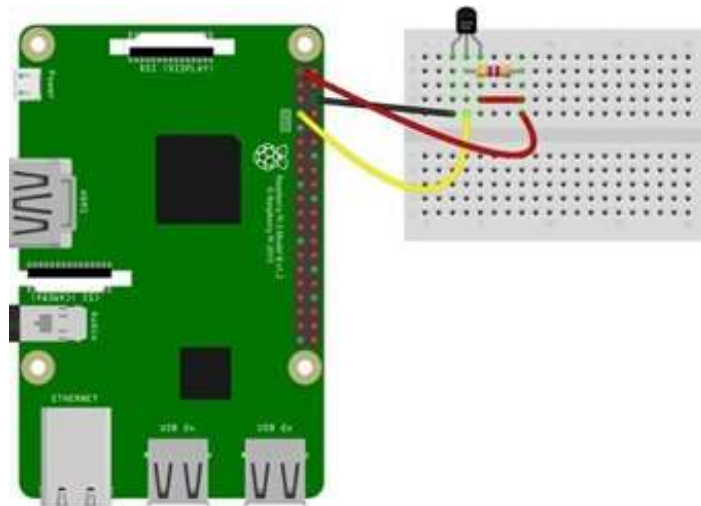


Рисунок 2.3 - Схема підключення DS18B20 до Raspberry Pi 4B

Датчик має такі характеристики:

- Діапазон живлення: 3 В-5,5 В;
- Протокол зв'язку: 1-Wire;
- Спосіб підключення: пряма/однолінійна з паразитним живленням;
- Роздільна здатність перетворення температури: 9 біт – 12 біт;
- Діапазон робочих температур: -55 °С – +125 °С;
- Час вимірювання температури при максимальній роздільній здатності 12 біт: 750 мс;

- Тип індексації на лінії 1-Wire: унікальний 64-бітний ID. Скрипт, написаний на мові програмування Python, дозволяє встановлювати час вимірювання температури в секундах, зчитувати значення температури в градусах Цельсія один раз на секунду, а також записувати значення температури і часу в CSV (Розділені значення).

Під час роботи агрегату всі елементи взаємодіють з контролером. Управління установкою та виведення даних здійснюється за допомогою панелі керування [16]. Перед початком роботи молоко зливають у пастеризаційний бак (від 10 л до 75 л).

Алгоритм монтажноі операції показаний на рис. 2.4.

Після ввімкнення установки відбувається її ініціалізація шляхом перевірки основних параметрів, які не відповідають заданим значенням і не дозволяють установці виконувати свою роботу. Такими параметрами є струм і напруга живлення, а також швидкість перемішування. Якщо ці параметри не відповідають запланованим значенням, установка перезавантажується. Цей процес не відображається в алгоритмі, як це відбувається за замовчуванням. Процес пастеризації молока можна розглядати як експеримент, тому після активації та ініціалізації необхідно ввести дані про конкретний експеримент: ім'я користувача, дату, тривалість експерименту та назву продукту пастеризації.

Введені дані перевіряються на відповідність заданим форматам, і в разі невідповідності запитується повторне введення даних. Якщо введені дані правильні, запускається експеримент, і дані, отримані датчиками, постійно аналізуються та відображаються на екрані (це може бути LCD панелі керування або монітор комп'ютера). Якщо ці дані не відповідають допустимим значенням (наприклад, перевищення температури), виникає аварійна ситуація, під час якої робота установки раптово припиняється, а зчитані в цей момент дані записуються у файл та/або базу даних. . Якщо протягом усього експерименту всі вимірювані дані не перевищують допустимих меж, експеримент припиняється в звичайному режимі, дані записуються у файли, а частина даних

виводиться на екран. Із записаних і введених даних формується звіт про експеримент.

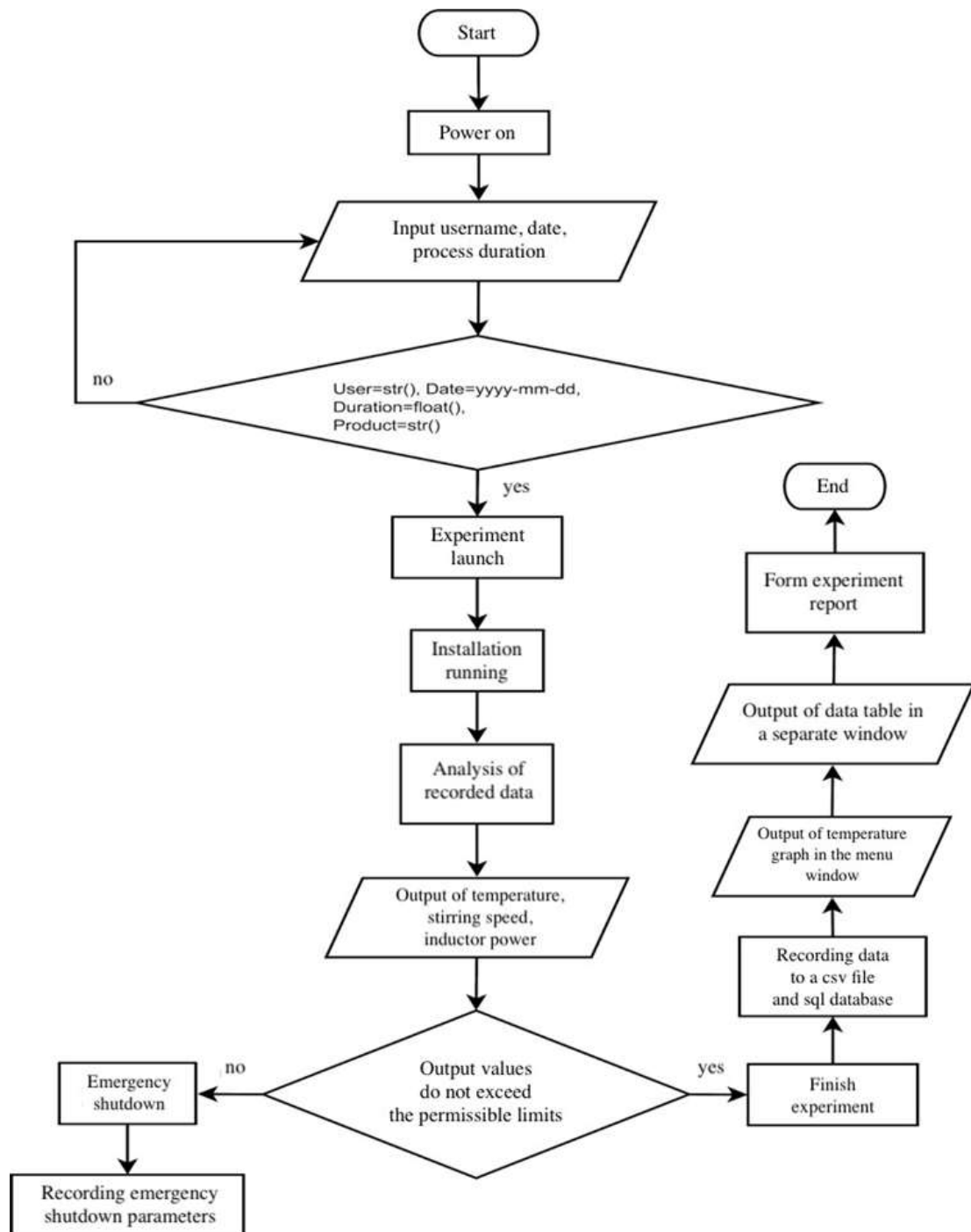


Рисунок 2.4 - Алгоритм експериментальної установки

Для написання та запуску програм на Python на мікрокомп'ютері Raspberry Pi ми використовуємо середовище розробки Thonny, розроблене для Python версії 3. Це середовище розробки включає програмування Read-Evaluate-Print-Loop (REPL). Ця функція дозволяє вводити та виконувати команди мови

Python без використання print(). На рис. 2.5 показано вікно цього середовища розробки.

Це середовище розробки дозволяє переглядати змінні, визначені в сценарії, та їхні значення. Це можна зробити, натиснувши кнопку «Перегляд» і вибравши «Змінні» у спадному меню.

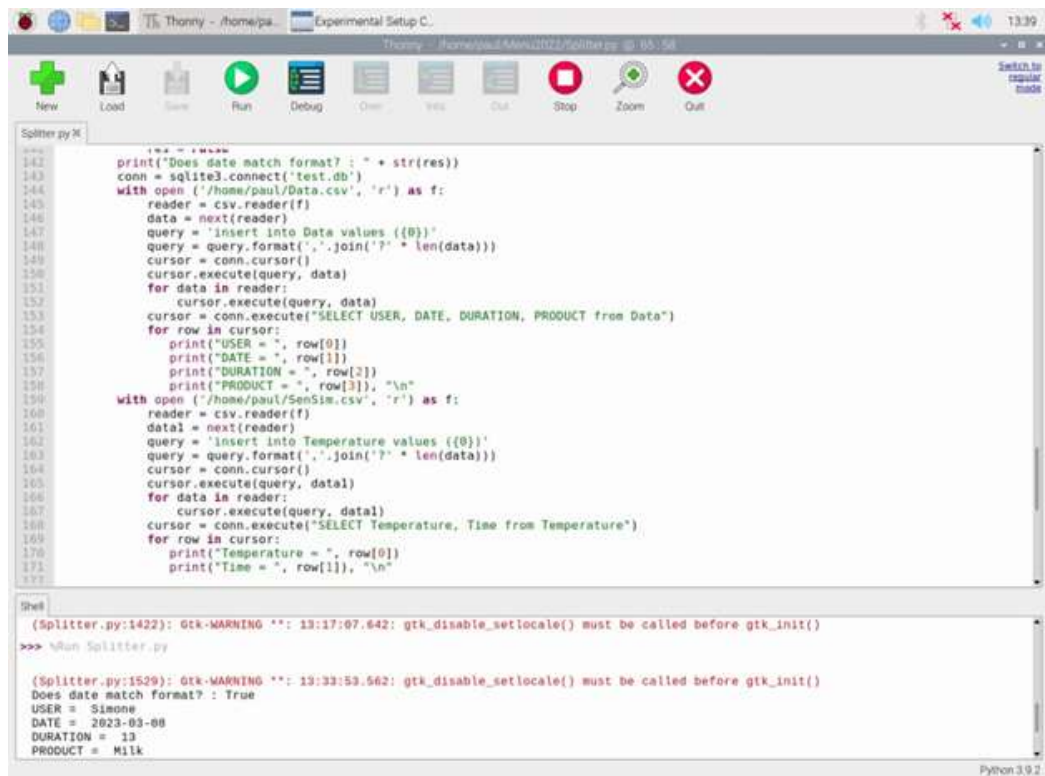


Рисунок 2.5 - Середовище розробки Python Thonny

У вікні, що відкриється, відобразиться таблиця з іменами та значеннями змінних. Іншою характеристикою змінних, які можна відобразити, є адреса.

Ще однією функцією цього середовища розробки є відладчик. Налаштовувач запускає програму крок за кроком через структурні частини коду. Налаштовувач виявляє помилки в тій частині коду, яка зараз виконується. Його можна запустити, натиснувши комбінацію клавіш Ctrl + F5.

Окрім цих функцій, Thonny має покрокову оцінку виразів. При використанні малокрокового відладчика користувач може побачити оцінку виразу з точки зору синтаксичного протиріччя та компактності.

Ще однією корисною функцією цього середовища розробки є перегляд викликів функцій, визначених у коді. При виконанні цієї функції програма

виконується поетапно, і якщо наступний крок містить функцію, яку потрібно викликати, відкривається вікно з кодом цієї функції та локальними змінними (у вікні відображається таблиця з іменами та значеннями локальних змінних).

Крім того, середовище розробки виявляє та забарвлює кодує синтаксичні помилки. Ця функція працює за замовчуванням і не вимагає від користувача жодних дій для її запуску.

Окрім підсвічування помилок, середовище розробки може підсвічувати різні змінні. Ця функція допомагає відрізнити локальні змінні від глобальних змінних у коді, а також допомагає знайти помилки в назвах змінних.

Щоб скоротити час введення коду, Thonny має функцію автозавершення: коли слово вводиться, середовище розробки надає варіанти для завершення цього слова у розкритому списку.

Після цього програмний код описує функцію, яка вставляє зображення у вікно (`wx.Image`). Параметрами цієї функції є адреса зображення на комп'ютері та його тип. За ним слідує функція розміщення зображення у вікні (`wx.StaticBitmap`). Він визначає координати лівого верхнього кута зображення відносно лівого верхнього кута вікна. Система координат така, що вертикальна вісь спрямована вниз, а горизонтальна вісь вправо, тому обидві координати додатні.

Визначення розташування зображення для відображення графіка залежності температури від часу наприкінці експерименту з подальшим встановленням тексту. Це виконується функцією `wx.StaticText`. Його параметрами є розташування тексту (в даному випадку віконна панель) і його вміст: мітка (наприклад, «Користувач»). Таких елементів типу «статичний текст» у вікні багато: «Ввести параметри досліджу», «Тривалість, с», «Контроль процесу пастеризації» тощо.

Функція `sizer.Add` використовується для розміщення будь-якого елемента на панелі вікна. Він визначає положення елемента на панелі відносно інших елементів. Аргументами цієї функції є ім'я змінної, якій присвоєно функцію створення того чи іншого елемента; позиція елемента в таблиці невидимого

вікна (наприклад, (3,1): перший рядок, третій стовпець), нумерація рядків і стовпців починається з нуля; прапорець, що відповідає за вирівнювання або розтягування елемента по ширині стовпця; і ширина межі.

Крім статичних текстових елементів вікно містить поля введення. Вони створюються функцією `wx.TextCtrl`, аргументом якої є розташування елемента у вікні, в даному випадку панелі вікна.

Кнопки з текстом використовуються для запуску різних подій. Кнопки створюються за допомогою функції `wx.Button`. Аргументи цієї функції такі ж, як і функції `wx.StaticText`: розташування та вміст. Наприклад, (панель, мітка = «Введіть параметри»).

Кожна кнопка прив'язана до події. Це робиться за допомогою функції `Bind`, параметрами якої є тип події (у цьому випадку подія натискання кнопки, `wx.EVT_BUTTON`), назва події (наприклад, `self.on_press`) і назва кнопки (одна з кнопок у меню називається `self.buttonParEnt`).

Перша кнопка, яку користувач натискає після введення параметрів експерименту («Користувач», «Дата (rrrrr-мм-дд)», «Тривалість, с», «Пастеризований продукт»), — це кнопка «Ввести параметри». Він запускає подію, яка називається `on_press2(self, event)` у коді та оголошується як функція за допомогою команди `def`. Якщо всі параметри введені правильно, програма створює файл «Data.csv» і записує в нього введені дані, розділяючи їх комами без пробілів, за допомогою функції `f.write`. У файлі "Data.csv" кома є роздільником між значеннями, вона відділяє одні стовпці від інших. Отже, формат файлу називається CSV. Крім введення вхідних даних у файл "Data.csv", ці ж дані записуються в раніше створену базу даних SQL "Data" за допомогою функцій `query` і `conn.execute`. Потім, щоб показати користувачеві, що ця послідовність операцій виконана, відображається маленьке віконце з тією ж функцією, що й вікно з повідомленням про неправильно введені параметри. На панелі цього вікна відображається текст: «Параметри введено, збережено у файл Data.csv і записано в базу даних». У нижній частині цього вікна також є

кнопка «ок» (вона розташована в таких вікнах за замовчуванням при використанні функції `wx.MessageBox`).

Після введення параметрів експерименту ці параметри можна переглянути у вигляді таблиці, натиснувши кнопку «Показати введені дані».

Коли всі параметри експерименту введені та переглянуті в таблиці, експеримент можна починати. Експеримент запускається натисканням кнопки «Запустити експеримент». Натискання цієї кнопки запускає подію `on_press`. Код цієї події містить відкриття файлу «Data.csv» і зчитування значення тривалості вимірювання температури в секундах з третього стовпця першого рядка (цей файл CSV не має заголовків). Прочитане значення присвоюється змінній `n`. За цим слідує цикл для встановлення двох інших змінних: перша елемент арифметичної прогресії та різниця двох наступних елементів. Вони дорівнюють нулю та одиниці відповідно. Після встановлення цих змінних запускається цикл «for», де встановлюється змінна «moment», що має значення моменту в секундах. Вона прирівнюється до суми власної та арифметичної різниці. Значення температури, а також значення потужності індуктора та швидкості мішалки прирівнюються до синусу значення часу з додаванням різних чисел до синуса на основі робочих значень для пастеризації молока. Таким чином імітуються дані від різних датчиків.

Після встановлення цих змінних у коді події слідують функції `SetLable`, які встановлюють нові значення для статичних текстів, відповідальних за вихідну температуру, швидкість двигуна, потужність котушки індуктивності та час. Лише значення «вимірюваних» (генерованих) значень є новими в цих встановлених значеннях, текст залишається незмінним. Після налаштування значень статичних текстів відкривається файл "SenSim.csv" і в нього записуються значення температури і часу, розділені комами. Запис здійснюється в режимі «a+», завдяки чому програма не перезаписує файл, а додає те, що зараз записується, до вже записаного. За допомогою функції `f.write()` програма спочатку записує значення температури, ставить кому, потім записує значення часу, а потім виконує переведення рядка (у Python

переведення рядка записується як "\n"). Далі весь зміст в вікно оновлюється за допомогою функції `self.Update()`, яка також оновлює значення «вимірювань» змінних. За оновленням слідує затримка в одну секунду, яка встановлюється функцією `time.sleep(1)`, де один у дужках означає одну секунду. У цьому випадку користувач не помічає оновлення всього вмісту вікна, а видно лише оновлення значень температури, швидкості обертання електродвигуна, потужності індуктора та часу.

Коли встановлений час закінчується, функція `ChartBuilder` з програми, яка написана в рамках цієї роботи, запускається та імпортується в головне меню програми командою «імпорт», як імпортуються бібліотеки. Ця програма буде графік залежності час-температура, беручи значення з файлу "SenSim.csv" за допомогою бібліотеки `matplotlib.pyplot`. Функції `x.append` і `y.append` використовуються для встановлення значень горизонтальної та вертикальної осей відповідно. Далі функція `plt.title()` задає заголовок, який розміщується над графіком «Залежність температури від часу»; а функції `plt.xlabel()` і `plt.ylabel()` встановлюють заголовки осей графіка: час і температура відповідно. Після побудови графіка він зберігається у форматі зображення PNG за допомогою функції `plt.savefig()`, аргументом якої є місце розташування графічного файлу на комп'ютері. На рис. 2.6 показано вікно меню після початку експерименту та до його завершення.

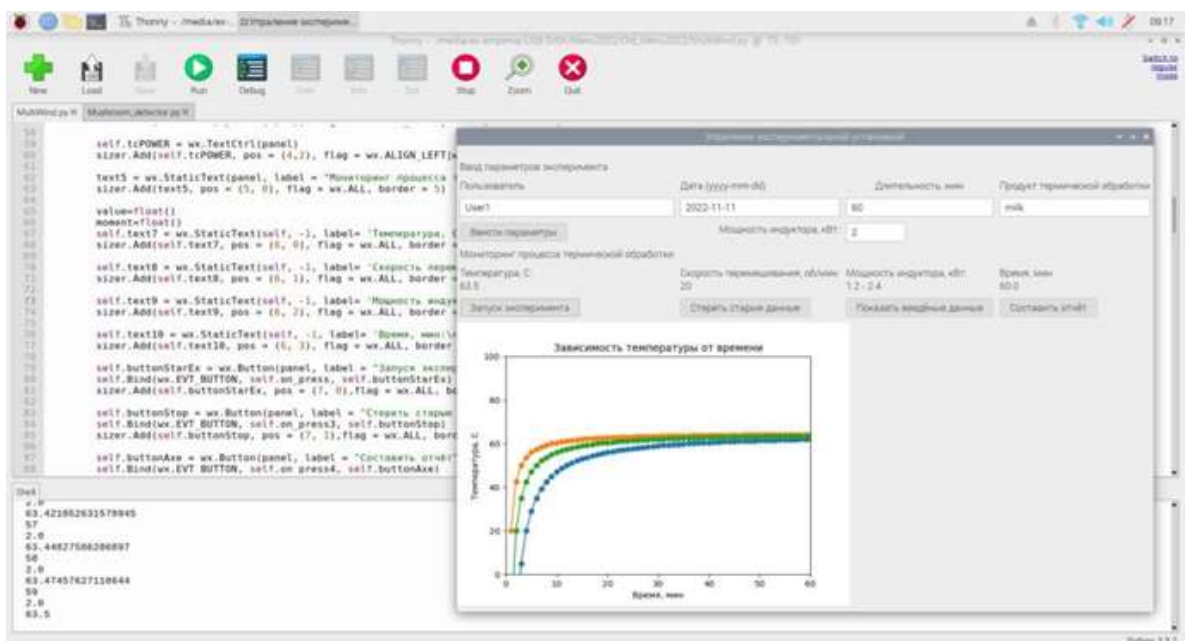


Рисунок 2.6 - Меню керування експериментом під час вимірювання різних величин

Після закінчення вимірювань, яке відбувається після встановленого користувачем часу, у вікні меню відображається графік залежності температури пастеризації від часу.

Для обробки всіх введених і виміряних даних експерименту в єдиний звіт, в меню програми є відповідна подія. Ця подія визначається функцією "on_press4(self, event)". Спочатку відкривається файл «Data.csv», потім значенням комірок у таблиці цього файлу CSV присвоюються кілька змінних (файл містить один рядок і п'ять стовпців). Приклад таблиці показаний на рис. 2.7.

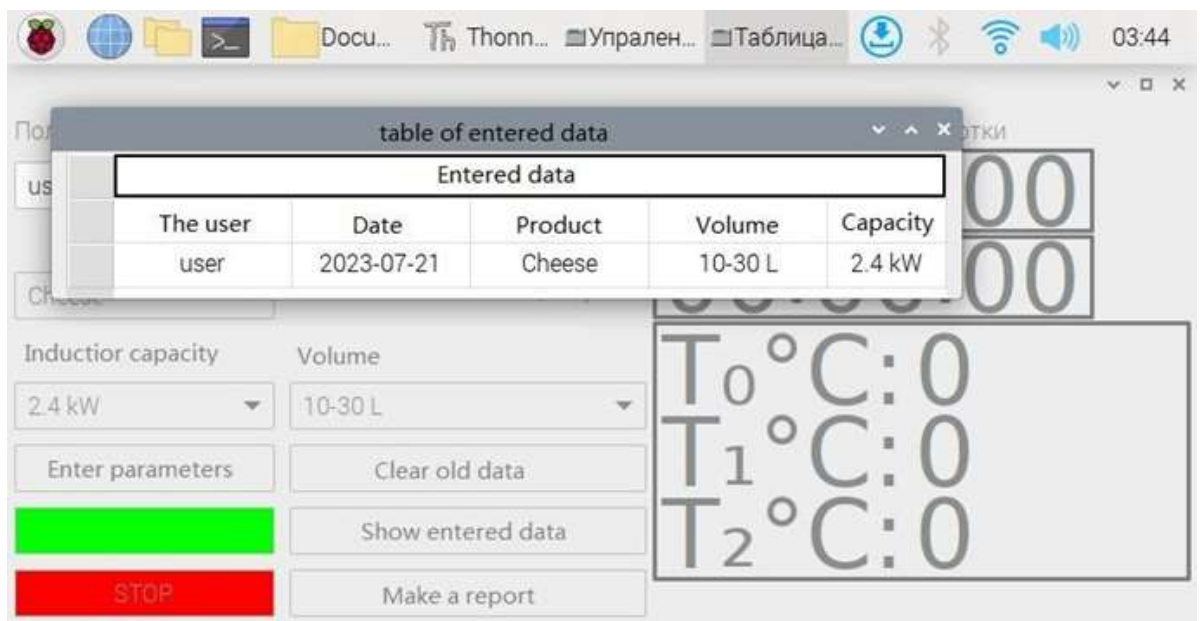


Рисунок 2.7 - Таблиця введених даних у вікні програми

Після цього за допомогою функції `round()` встановлюється змінна, відповідальна за перетворення секунд у хвилини з округленням до тисячних, причому першим аргументом є значення, яке потрібно округлити, а другим — кількість цифр після коми.

Після цього створюється документ `docx` за допомогою функції `docx.Document` (рис. 2.8). Потім функція `doc.add_heading` створює заголовки з

текстом із записаними в нього значеннями, зчитаними з файлу "Data.csv". Усі ці тексти мають формат заголовка першого рівня. Після створення цих текстів графік залежності температури від часу слід додати до цього документа як графічне зображення PNG за допомогою функції `doc.add_picture`.

Після додавання зображення до документа відкривається файл "SenSim.csv" у режимі читання, читається весь його вміст за допомогою `read()` і записується цей вміст у документ за допомогою `doc.add_heading`. Після всіх цих операцій документ зберігається як `Report.docx` за допомогою `doc.save()`, і з'являється вікно з повідомленням: «Звіт скомпільовано та збережено як `Report.docx`», оскільки застосована функція `wx.MessageBox`.

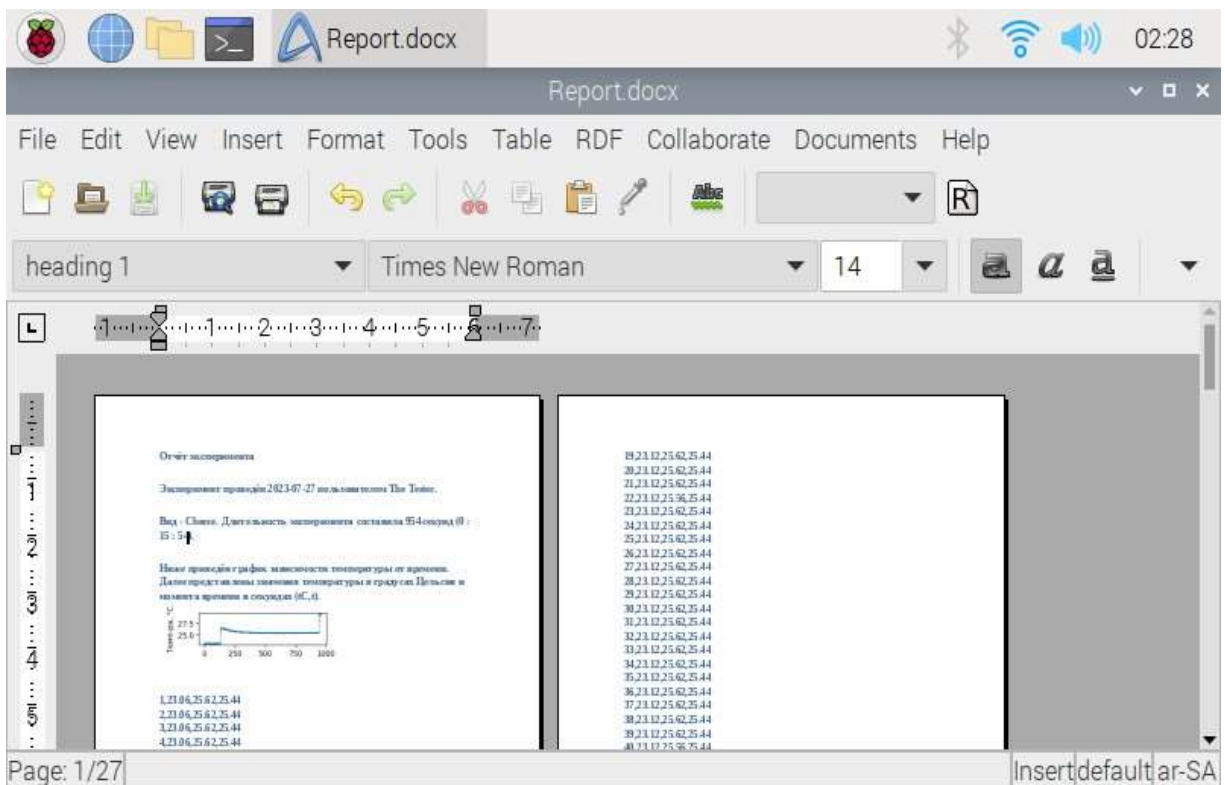


Рисунок 2.8 - Автоматично створений звіт про сеанс пастеризації

Таким чином, було розроблено систему автоматизації установки пастеризації сирого молока, принцип роботи якої заснований на впливі змінного магнітного поля з індукційним нагріванням. Таким чином час виходу на робочий режим скорочується в 2 рази, не потрібно допоміжне обладнання для підігріву теплоносія, зменшуються втрати тепла в навколишнє середовище, знижуються експлуатаційні витрати в порівнянні з електроопаленням ТЕНами.

Технологія є екологічно чисті та менші за розмірами установка порівняно з установками термообробки молока з використанням проміжних теплоносіїв (пара, вода). Використовуючи систему індукторів, можна обігрівати лише певну локальну ділянку, що знижує енергоспоживання на 30%. ККД таких агрегатів підвищується до 92-95%. За типом робочого циклу пастеризатор є періодичним. Тип пастеризації — безперервна пастеризація, молоко нагрівають до 63-65 °C і витримують при цій температурі 30 хв.

Запропонована система автоматизації забезпечує збільшення енергоефективності на 30% порівняно з ручним керуванням даної установки. Для керування роботою прототипу пастеризатора та його різноманітних периферійних пристроїв використовувався мікрокомп'ютер. Під час роботи установки всі елементи обмінюються даними з контролером. Контроль установки та виведення даних здійснюється за допомогою пульта управління.

Розроблено алгоритм керування та ПД-регулювання процесу пастеризації. Оптимальне автоматизоване управління цим процесом найкраще здійснювати на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi, використання якого в майбутньому дозволить розробити систему управління з використанням штучного інтелекту та нейронних мереж для управління та моніторингу процесу.

Завдяки розробленій системі управління електромагнітним полем процес нагріву можна точно контролювати, що дозволяє легко нагріти невелику площу до необхідної температури, не впливаючи на навколишнє простір. Електромагнітне поле, створюване індукційним нагрівачем, може дуже швидко нагрівати матеріал і вироби, що контактують з ним. Крім того, індукційне нагрівання можна вмикати та вимикати дуже швидко, що робить його ідеальним для застосувань, які потребують точного нагрівання, наприклад пастеризації, де перегрів ставить під загрозу технологію.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка контролера для надвисокотемпературної обробки молока

У процесі надвисокої температури (УНТ) температура рідини підвищується вище 135 °С протягом короткого періоду часу (зазвичай 4 секунди), а потім швидко охолоджується, щоб у кінцевому продукті не залишилося мікробів. Для кращої якості переробленого молока необхідна сувора система контролю температури. Для вирішення цієї проблеми розроблено детальну орієнтовану на керування математичну модель системи опалення для застосування УНТ та встановлено детальну блок-схему шляхом визначення різних систем і сигналів. Щоб використати переваги регулятора прямого зв'язку (на основі функції передачі або нечіткої логіки) і компенсатора зворотного зв'язку пропорційно-інтегрально-похідної (PID), гібридний контролер нечіткого ПІД-регулятора розроблено та змодельовано в середовищі MATLAB. Результати моделювання вказують на те, що гібридний компенсатор з нечітким ПІД об'єднує переваги обох регуляторів. ПІД-регулятор обробляє сигнал помилки та відстежує задане значення, тоді як регулятор прямого зв'язку (функція передачі або нечіткість) ефективно відхиляє вплив сигналу збурення на регульовану змінну. Гібридний регулятор нечіткої ПІД працює краще, ніж окремий ПІД або нечіткий регулятор.

У надвисокотемпературному процесі (УНТ) молоко нагрівається до температури вище 135 °С протягом короткого періоду часу (зазвичай 4 секунди), а потім швидко охолоджується, щоб у кінцевому продукті не залишилося мікробів. Кінцевий продукт можна зберігати при кімнатній температурі протягом декількох місяців. Під час процесу УНТ час витримки молока та температура процесу знищують патогени та бактерії. Ефективність знищення мікроорганізму вимірюється за допомогою бактеріологічного індексу $B*9\text{-log}$ зменшення термофільних спор і вважається бактеріологічним індексом

1. Нижня межа процесу визначається бактеріологічним індексом V^* з мінімальним значенням 1. Верхня межа процесу визначається як 3% руйнування тіаміну (вітамін B1) і вимірюється як хімічний індекс C^* . Підвищена температура процесу під час УНТ призводить до збільшення V^* при зниженні C^* . Для кращої якості обробленого молока завдяки підтримці V^* і C^* у допустимому діапазоні необхідна сувора система контролю температури.

Процес УНТ зазвичай проводиться з використанням прямого або непрямого нагрівання молока. У непрямому процесі УНТ передача тепла здійснюється в теплообміннику, де молоко знаходиться з одного боку, а теплоносії - з іншого. Теплоносієм є гаряча вода під тиском або пара [5]. Передача тепла відбувається між попередньо підігрітим молоком і теплоносієм. Молоко нагрівають до бажаної температури в кінцевому нагрівачі, деякий час витримують у витримувальних трубах, а потім швидко охолоджують до температури навколишнього середовища. Як правило, регулятор температури зі зворотним зв'язком використовується для регулювання температури на етапі нагрівання, а термопара в кінці кінцевого нагрівача встановлюється для вимірювання температури. Так як контролер використовується в передньому шляху, який обробляє сигнал помилки (різниця між заданим значенням і значенням процесу) і виконує керуючу дію на витрату пари в теплообміннику. Контрольна дія виконується, коли молоко знаходиться на вихідному етапі секції нагріву, а партія молока, що переробляється, не впливає. Проблема може бути вирішена шляхом включення контролера прямої подачі, який враховує порушення температури вхідного молока та маніпулює керуючим сигналом [6]. Обмеженням у розробці та реалізації контролера прямого зв'язку для системи УНТ є те, що це складний і багатоваріантний процес, і розробка математичної моделі системи складна, а іноді й неможлива [7].

Дослідники використовували різні стратегії контролю для контролю пастеризації при високих температурах протягом короткого проміжку часу. Модель прогностичного контролю (MPC) і загальна модель контролю (GMC) вивчалися при пастеризації молока та застосуванні теплообмінника; бажані

задані значення були досягнуті за допомогою контролера MPC без будь-яких перерегулювань. Передові методи керування, такі як гібридний нечіткий пропорційно-інтегрально-похідний (ПІД) контролер, нечіткий самоадаптивний ПІД-регулятор і контролер адаптивної мережевої системи нечіткого логічного висновку (ANFIS), пов'язані з налаштуваннями їх приладів, були випробувані та застосовані в різних промислових процесах. і багатообіцяючі результати були повідомлені в. У каскадному регулюванні високотемпературної короткочасної (HTST) пастеризації були отримані кращі результати, ніж у традиційному ПІД-регулюванні. Аналіз чутливості вхідних і вихідних змінних було досліджено в пластинчастому теплообміннику, і було виявлено, що потік є найбільш критичним в аналізі чутливості. Контролер з нечіткою логікою використовувався в теплообміннику HTST, і продуктивність порівнювалася з ПІД-регулятором. Було виявлено, що, незважаючи на використання шести нечітких правил, результати контролера нечіткої логіки не дуже ефективні, тому було запропоновано додаткові дослідження в цій галузі.

Для програм, пов'язаних із регулюванням різноманітних промислових параметрів (наприклад, температури, тиску та витрати), дослідники використовували гібридні нечіткі ПІД-регулятори. Нормалізований контролер з нечіткою логікою використовувався для керування процесом у чотирьох резервуарах, а продуктивність була порівнянна з продуктивністю звичайного ПІД-регулятора. Гібридний контролер нечіткої логіки, в якому нечітка логіка налаштовує параметр ПІД, використовувався для керування температурою з метою оптимізації споживання енергії, і було досягнуто кращого керування, ніж традиційний ПІД-регулятор. Було вивчено нечіткий композитний ПІД-регулятор, у якому нечіткість і ПІД-регулятор використовуються для керування потужністю, і було зроблено висновок, що краще керування було досягнуто за допомогою нечіткого ПІД-комбінованого регулятора. Подібним чином гібридні нечіткі та нейронечіткі контролери використовувалися в різних енергетичних програмах для оптимізації та перетворення енергії. Кількість правил, які використовуються для налаштування нечіткої логіки в наведених

вище дослідженнях, досить велика, що робить контролер більш складним і менш практичним [9].

Дослідницькі роботи, згадані вище, в основному пов'язані з промисловими процесами та додатками управління потужністю; поточне дослідження зосереджено на контролі температури молока та спробі визначити відповідний контролер для контролю температури УНТ, здатний уникати коливань температури молока на вході. Дослідження спрямоване на розробку гібридного нечіткого прямого зв'язку з ПІД-регулятором зворотного зв'язку. Контролер нечіткої логіки компенсує порушення температури молока на вході, тоді як ПІД-регулятор зі зворотним зв'язком враховуватиме температуру молока на виході. Усуваючи потребу в математичному моделюванні, гібридний нечіткий ПІД-регулятор зворотного зв'язку з прямим зв'язком має перевагу над ПІД-контролером із прямим контролером.

У цьому дослідженні розроблено спрощену динамічну математичну модель УНТ кінцевого нагрівача, моделлю системи першого порядку із затримкою часу (FOSTD). Розроблена модель була імпортована в Simulink для аналізу продуктивності відкритого та замкнутого циклу. У цьому дослідженні було проведено порівняння відкритого контуру, ПІД-регулятора зі зворотним зв'язком, ПІД-регулювання з прямим керуванням і гібридного нечіткого ПІД-регулювання зі зворотним зв'язком. Параметри PID були налаштовані за допомогою програми Simulink PID tuner. Продуктивність розробленої системи керування аналізується на похибку в стаціонарному режимі, час наростання, перевищення, недорозвиток, вплив завад, час усунення завад, а також потребу в математичній моделі. Поточне дослідження є спробою розробити систему керування для кінцевого нагрівача простого УНТ разом із гібридним регулятором температури з нечітким прямим зв'язком і ПІД-регулятором із зворотним зв'язком для ефективного відстеження заданої точки, одночасно усуваючи перешкоди.

3.2 Методика аналізу процесу

У системі управління УНТ, по-перше, ми повинні ідентифікувати процес/установку, виконавчий механізм, реалізацію контролера та вимірювання контрольної змінної. Процес/завод у цій системі керування – це трубка накопичувача середовища, яка утримує молоко та тепло та використовується для підвищення його температури. Теплообмінник — це виконавчий механізм, який забезпечує тепло для керування динамікою молока під час обробки. Керуюча дія застосовується до витрати пари в теплообміннику для регулювання теплової енергії, що подається. Контрольованою змінною в цій системі є температура молока, і вона вимірюється за допомогою термопари на кінці трубки для зберігання, і цей сигнал приймається як сигнал зворотного зв'язку. Цей сигнал порівнюється з еталонним сигналом (установлена температура молока) і генерується сигнал помилки. Цей сигнал помилки обробляється ПІД-контролером і генерує керований сигнал. Для ефективного усунення перешкод вимірюється та фіксується температура вхідного молока як сигнал збурення, наданий контролеру прямого зв'язку для обробки. Вихідний сигнал цього контролера додається до відповіді ПІД-регулятора для створення комбінованого ефекту обох контролерів, а потім використовується для управління положенням парового клапана. Через цей клапан пара впорскується в теплообмінник і забезпечує теплову енергію для підвищення температури молока в трубці для зберігання середовища. Ця повна керована блок-схема УНТ обробки молока зображена на рис. 3.1. Схематична діаграма кінцевого нагрівача УНТ зображена на рис. 3.2. Для моделювання теплопередачі в теплообміннику використовується підхід енергозбереження, зберігаючи припущення до уваги: 1) відсутність зміни фази молока на стороні продукту і лише прихована теплопередача; 2) незначна зміна тиску пари та продукту; 3) незначне накопичення тепла матеріалами/стінками теплообмінника.

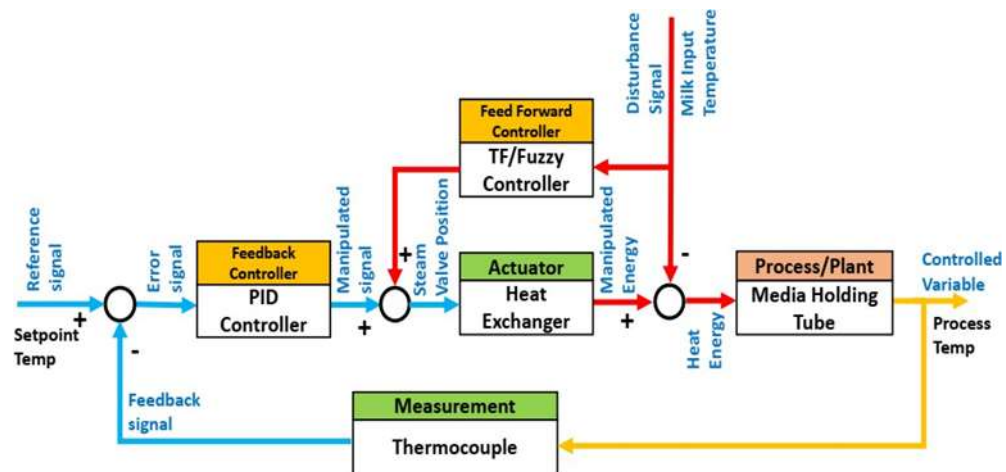


Рисунок 3.1 - Блок-схема системи УНТ, орієнтована на управління

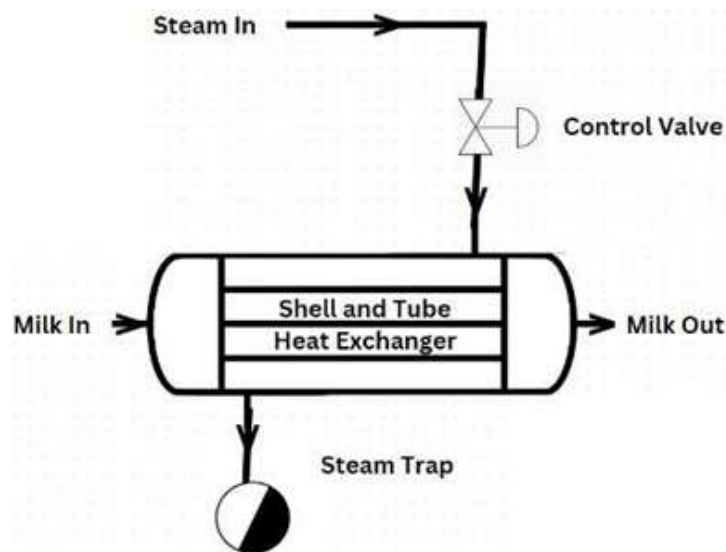


Рисунок 3.2 - Схематична модель кінцевого нагрівача молока УНТ

Математична модель і структурна схема

Для проектування системи керування адекватна модель процесу та виконавчого механізму є життєво важливою [20–23]. Для розробки математичної моделі кінцевого нагрівача, показаного на рис. 1.2, використовуються наступні змінні та константи.

$$\text{Steam mass flow rate} = \dot{m}_s(\text{Control out put})$$

$$\text{Milk specific heat} = C_m$$

$$\text{Latent heat of steam} = h$$

Температура молока на виході = T_{mx} (Контрольна змінна) Температура молока на вході = T_{mn} (*Disturbance variable*)

У кінцевому нагрівачі тепло від пари з боку корпусу передається молоку (з боку труби) через стінки теплообмінника. Тепло, яке забезпечується паром, що передається та утримується молоком, подається в (1) до (3).

$$Heat\ Out = \dot{m}_m C_p \Delta T \quad (3.1)$$

$$Heat\ In = \dot{m}_s h\ (Latent\ Heat) \quad (3.2)$$

$$Heat\ retained = m_m C_m \frac{dT_{mx}}{dt} \quad (3.3)$$

Застосовуючи принцип збереження енергії, отримуємо (3.4) і (3.5).

$$Heat\ In = Heat\ Out + Heat\ retained \quad (3.4)$$

$$h_s \dot{m}_s(t) = \dot{m}_m C_m (T_{mx}(t) - T_{mn}(t)) + m_m C_m \frac{dT_{mx}(t)}{dt} \quad (3.5)$$

Лінійним диференціальним рівнянням першого порядку є (3.5), тоді як рівняння $T_{mx}(t)$ є залежною змінною. Щоб перетворити рівняння в алгебраїчний вираз, який буде використовуватися для блок-схеми при проектуванні системи керування, його перетворення Лапласа обчислюється та виражається у (3.6).

$$h_s \dot{m}_s(s) = \dot{m}_m C_m (T_{mx}(s) - T_{mn}(s)) + m_m C_m S * T_{mx}(s) \quad (3.6)$$

$$h_s \dot{m}_s(s) + \dot{m}_m C_m T_{mn}(s) = \dot{m}_m C_m T_{mx}(s) + m_m C_m S * T_{mx}(s) \quad (3.7)$$

$$h_s \dot{m}_s(s) + \dot{m}_m C_m T_{mn}(s) = (\dot{m}_m C_m + m_m C_m S) * T_{mx}(s) \quad (3.8)$$

$$T_{mx}(s) = \left(\frac{h_s}{m_m C_m S + \dot{m}_m C_m} \dot{m}_s(s) + \frac{\dot{m}_m C_m}{m_m C_m S + \dot{m}_m C_m} T_{mn}(s) \right) \quad (3.9)$$

G_1 – передаточна функція для теплообмінника і G_2 є функцією передачі збурень для входупорушення температури.

$$G_1 = \frac{h_s}{m_m C_m S + \dot{m}_m C_m} \quad G_2 = \frac{\dot{m}_m C_m}{m_m C_m S + \dot{m}_m C_m} \quad (3.10)$$

У поточному дослідженні були використані такі параметри конструкції.

$$T_{mx}(s) = (G_1 \dot{m}_s(s) + G_2 T_{mn}(s)) \quad (3.11)$$

Враховуючи систему першого порядку плюс затримку часу в (3.11), стає (3.12).

$$T_{mx}(s) = (G_1 \dot{m}_s(s) + G_2 T_{mn}(s)) e^{-ts} \quad (3.12)$$

Час затримки t приймається рівним 4 секундам; це значення визначає затримку в активації пари та відповідну зміну температури на виході з теплообмінника. Враховуючи значення параметрів з таблиці 1, ми отримуємо передатні функції G_1 і G_2 як (13).

$$G_1 = \frac{2065.35}{39.3s + 3.93} \quad G_2 = \frac{1}{10s + 1} \quad (3.13)$$

Враховуючи як передатні функції, так і затримку часу, повний вираз досягається, як наведено в (3.14).

$$T_{mx}(s) = \left(\frac{2065.35}{39.3s + 3.93} \dot{m}_s(s) + \frac{1}{10s + 1} T_{mn}(s) \right) e^{-4s} \quad (3.14)$$

На рис. 3.3 зображено блок-схему розробленої передавальної функції системи УВТ. Ця діаграма є основою для розробки системи керування, яка охоплює дві функції передачі, дві входні змінні та одну керовану змінну. У архітектурі керування з відкритим контуром управління системою не залежить від похибки між заданим значенням і регульованою змінною. Вихід можна змінити лише вручну за допомогою оператора. Ми знаємо, що температура на виході $T_{mx}(t)$ безпосередньо пов'язана з витратою пари. Збільшення швидкості потоку пари збільшить температуру на виході.

Основні параметри конструкції

Масова витрата молока $\dot{m}_s$	1 [кг/с]
Маса, що зберігається в теплообміннику m	10 Кг
Питома теплоємність молока C	3.93 [КДж/кг/К]
Приховане тепло пари h	2065,35 [КДж/кг]
парТиск	6 бар

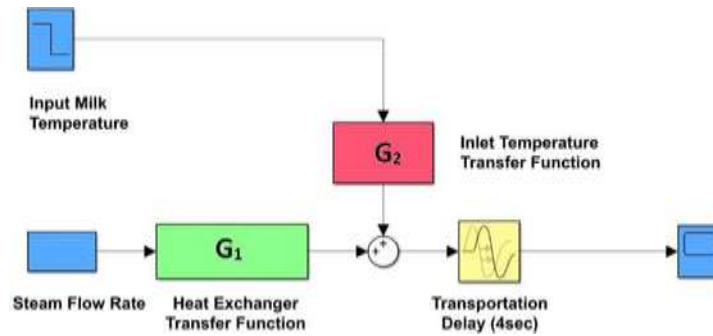


Рисунок 3.3 -Блок-схема управління теплообмінником

Коефіцієнт підсилення для функції передачі разомкнутого контуру встановлюється на 1/1200. Цей приріст розраховується за допомогою рівняння енергетичного балансу на стаціонарному теплообміннику з температурою на вході 80 °С і на виході 140 °С. У стаціонарних умовах в (3.5) стає

$$\text{Gain} = \frac{\dot{m}_s(t)}{T_{mx}(t)} = \frac{0.1141}{140} = \frac{1}{1226}$$

Усі параметри та функції передачі були запрограмовані в середовищі Simulink, а розроблена модель показана на рис. 3.4. Задане значення температури є вхідною змінною керування системою, а витрата пари обчислюється функцією посилення. Вихідні дані контролюються на осцилографі та надсилаються в середовище MATLAB для побудови графіків.

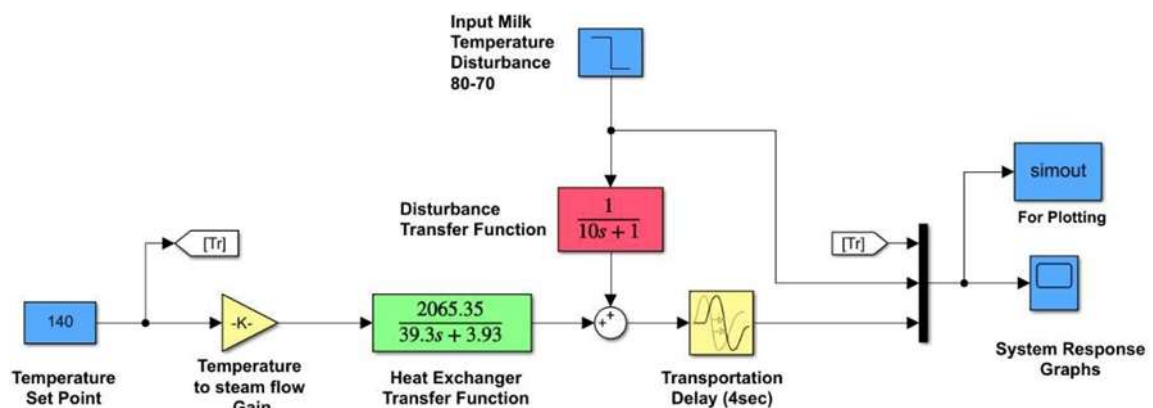


Рисунок 3.4 - Система керування з відкритим циклом у Simulink

3.3 Конструкція контролера прямого зв'язку

Конструкція контролера є життєво важливим кроком у проектуванні системи керування, щоб відповідати специфікаціям конструкції всієї системи. Введення контролера з упередженим зв'язком у тракт збурювання адекватно зменшує вплив змінної збурення на регульовану змінну. Для його реалізації вимірюється перше збурення, потім воно обробляється функцією прямої передачі, а його вихід додається до прямого шляху. Для розрахунку цієї передатної функції регулятора прямого зв'язку для UNT намальовано на рис. 3.5. Від тут, встановивши опорне значення витрати пари $\dot{m}_s = 0$, встановлюється функція передачі між регульованою змінною (температура на виході) і сигналом порушення (температура на вході).

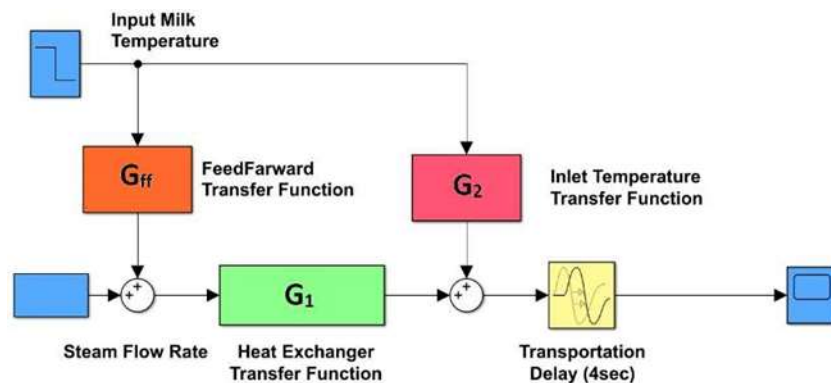


Рисунок 3.5 - Блок-схема керування для функції прямого зв'язку

Розглянемо, коли витрата пари $\dot{m}_s = 0$, тоді температура молока на вході дорівнює температурі молока на виході з рисунка 3. Функція передачі регулятора прямого зв'язку вказана в (3.17). Він буде розміщений на шляху сигналу збурення, а його вихідний сигнал буде додано до маніпуляційного сигналу.

$$(\dot{m}_s + G_{ff})G_1 + G_2 = 0 \quad (3.15)$$

$$G_{ff} = -\frac{G_2}{G_1} \quad (3.16)$$

$$G_{ff} = \frac{-39.3 * s - 3.93}{20653.5 * s + 2065.35} \quad (3.17)$$

ПІД-контролер зі зворотним зв'язком

Звичайний ПІД-регулятор використовується для обробки сигналу помилки (тобто різниці між еталонним значенням і фактичним вимірним значенням). Потім його вихід використовується для приводу приводу. На малюнку 6 ПІД-регулятор зворотного зв'язку розміщено перед функцією передачі теплообмінника. Залежно від значень PID та потужності сигналу помилки приймається керуюче рішення, яке визначає величину витрати пари. Як обговорювалося вище через FOSTD, буде затримка в 4 секунди від посилення на вході до виходу, тому відповідь буде функцією із затримкою. У ПІД-регуляторі пропорційні інтегральні та похідні константи отримують із функції автоматичного налаштування ПІД MATLAB. Розташування ПІД-регулятора разом із повною блок-схемою Simulink показано на рис. 3.6.

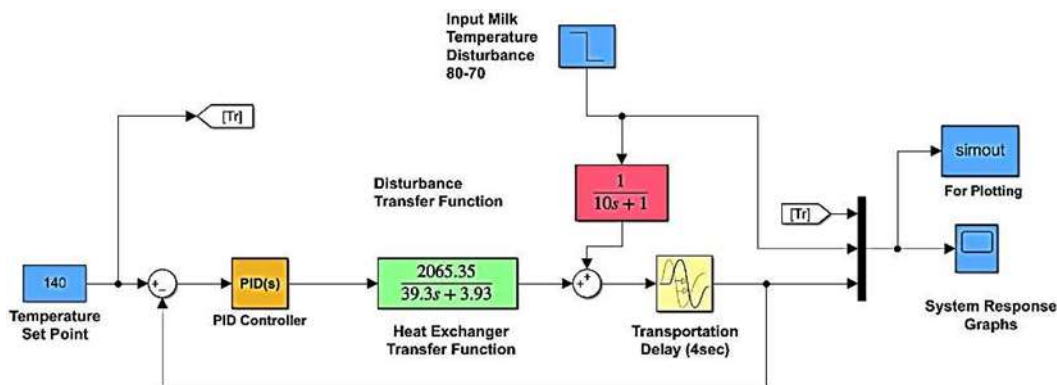


Рисунок 3.6 - ПІД-регулятор зі зворотним зв'язком

Гібридне керування ПІД-регулятором з упередженням зв'язком

Об'єднання ПІД-регулятора зі зворотним зв'язком і прямого регулятора є сприятливою комбінацією для відстеження еталонного значення та зведення нанівель впливу сигналу збурення на регульовану змінну для досягнення проектних специфікацій. На рис. 3.7 зображено включення обох контролерів із повною схемою Simulink. Еталонне значення порівнюється із сигналом зворотного зв'язку, і виробляється сигнал помилки, який подається на ПІД-регулятор для виконання керуючої дії, використовуючи його вихід. З іншого

боку, сигнал збурення вимірюється та подається на регулятор прямого зв'язку, а його вихід додається до реакції ПІД-регулятора. Комбінований ефект цих обох контролерів використовується для керування приводом (паровим клапаном). Для застосування УНТ задана точка, що надається за опорним сигналом, становить 140° , тоді як сигнал перешкод змінює своє значення від 80° до 70° . Функція передачі контролера з упередженням зв'язком розроблена на основі фізичної моделі всієї системи та описана в попередньому розділі.

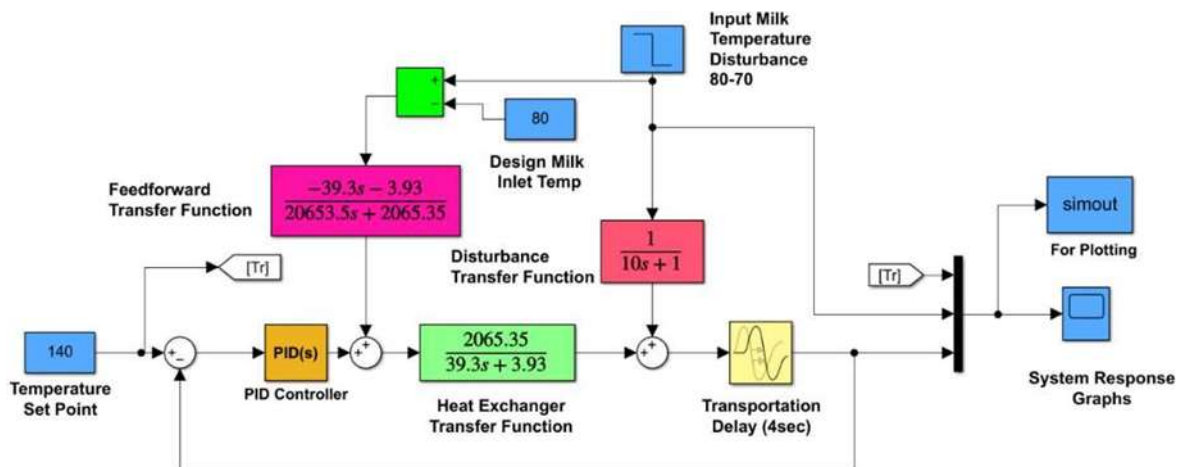


Рисунок 3.7 - Гібридне керування ПІД-регулюванням з упередженням зв'язком

Гібридне керування Fuzzy-PID

Використання обох контролерів (прямого зв'язку та зворотного зв'язку ПІД) демонструє багатообіцяючі результати для керування вихідною змінною. Важливим кроком у розробці контролера прямого зв'язку є повне знання диференціальних рівнянь системи та пов'язаних з ними передатних функцій. Якщо система є складною через взаємодію різних підсистем, може бути важко придумати повну модель системи. Щоб впоратися з такими сценаріями, контролери програмного обчислення (нечітка логіка, генетичний алгоритм) можуть бути хорошим вибором для виконання керуючої дії. У цьому розділі пропонується гібридний нечіткий регулятор прямого зв'язку з ПІД-регулюванням зі зворотним зв'язком, як показано на рис. 3.8. Функція нечіткого регулятора прямого зв'язку полягає в зведенні впливу сигналу

збурення на вихідну температуру. Значення ПІД у цій схемі керування такі самі, як ті, що використовуються у наведених вище моделях.

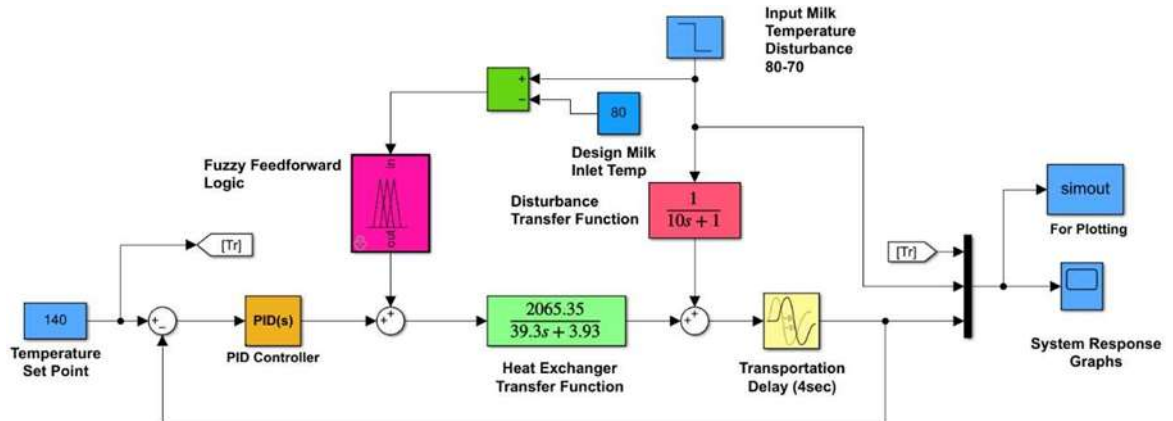


Рисунок 3.8 - Гібридне керування Fuzzy-PID

Функції приналежності для зміни температури (вхід) є негативними, нульовими та позитивними.

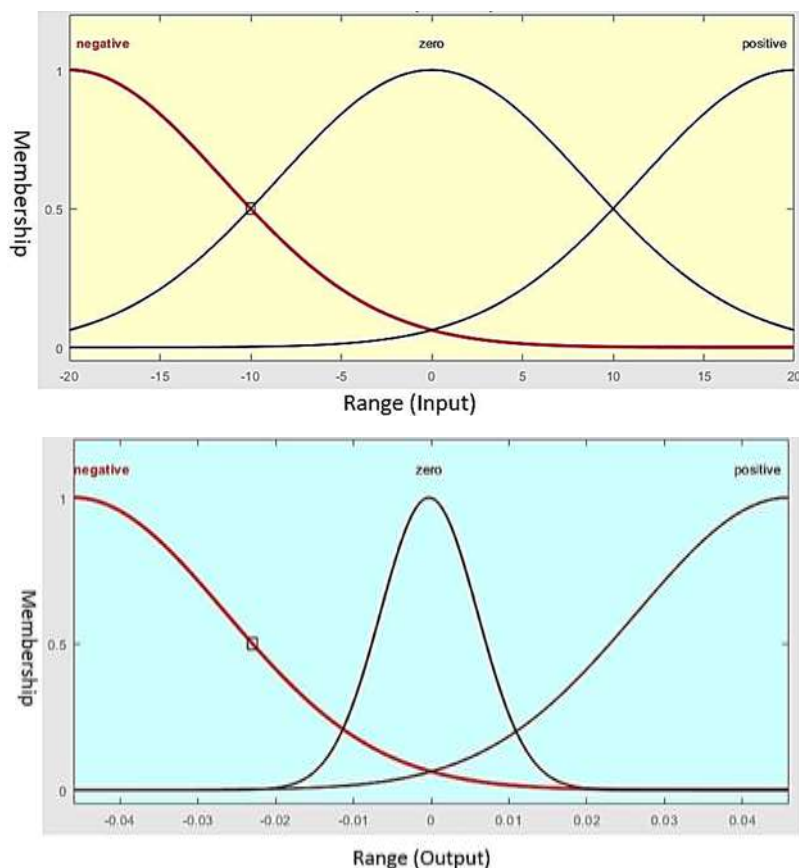


Рисунок 3.9 - Функція належності для зміни температури (вхід) і витрати пари (вихід).

Аналогічно для витрати пари (виходу), функції належності є негативними, нульовими та позитивними, як показано на рис. 3.9. Вищезгадані

нечіткі правила та пов'язані з ними функції належності призводять до нечіткої поверхні, яка показана на рис. 3.10. З цієї поверхні, очевидно, що коли температура збурення зростає (+ve збурення), для приводу приводу потрібно менше пари, тому швидкість потоку пари зменшується. Коли збурення негативне, тобто температура збурення знижується, потрібно більше пари, щоб компенсувати це збурення. Ці нечіткі правила реалізовані як контролери прямого зв'язку, а їх повна діаграма Simulink показана на рис. 3.10.

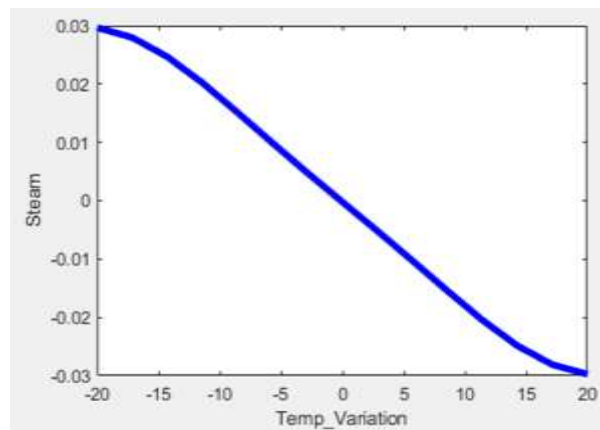


Рисунок 3.10 - Нечітка поверхня для швидкості потоку пари (вихід) і температури (вхід).

Розроблені моделі Simulink для системи управління УНТ були встановлені для моделювання шляхом надання параметрів моделювання. Час моделювання становив 180 секунд із кроком 0,1 секунди, а вирішувач ODE45 був обраний через його швидку конвергенцію та надійність обчислень. Усі результати були імпортовані в середовище MATLAB для побудови та подальшої обробки. Еталонний сигнал (бажана температура) встановлюється на 140° за допомогою функції постійного блоку MATLAB. Застосовується інший вхідний сигнал збурення, і він змінює своє значення від 80 до 70°C , коли час становить 100 секунд. Було проведено моделювання для всіх систем керування, а відповіді системи з відкритим контуром, зворотного зв'язку ПД, ПД із прямим зв'язком і гібридного нечіткого прямого зв'язку з контролером зі зворотним зв'язком ПД були обчислені та нанесені на один графік для їх

відносного порівняння та аналізу продуктивності. На рис. 3.11 показано всі відповіді системи керування зазначеними вище стратегіями керування.

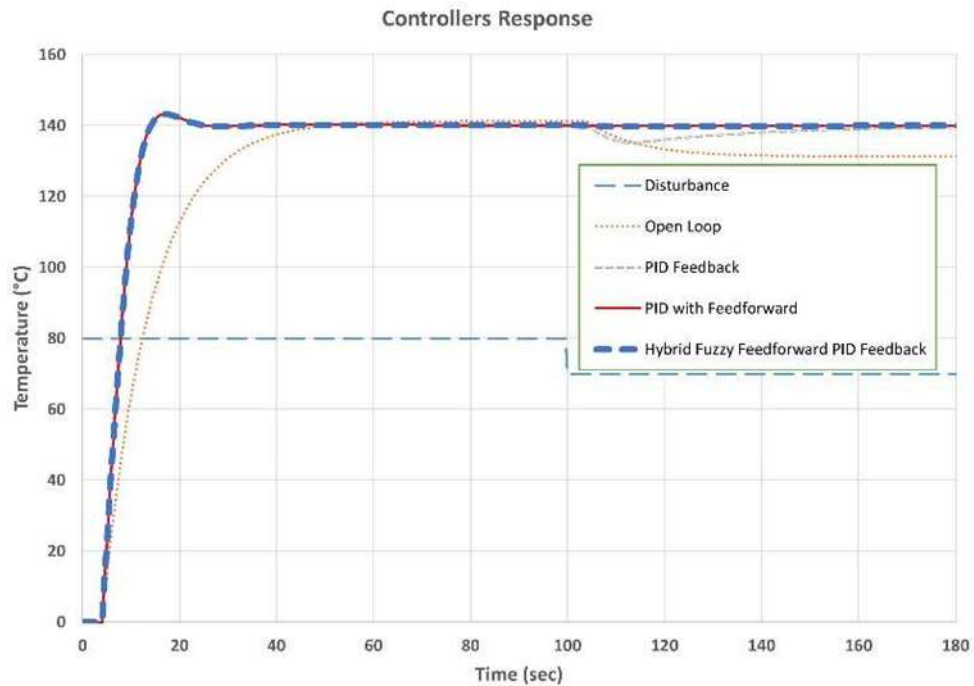


Рисунок 3.11 - Різні реакції системи керування

У системі керування з відкритим контуром ми не маємо вимірювання контрольованих змінних (сигнал зворотного зв'язку), і системою керує безпосередньо виконавчий механізм. Введення приводу застосовується на початку моделювання. У реакції відкритого контуру температура процесу починає зростати при $t=4$ с через функцію затримки часу в моделі. На графіку відповіді час наростання становить 21,7 с, а похибка в стаціонарному стані становить

Спочатку спостерігається 1,3 °C. Час наростання розраховується як час, необхідний контролеру від 10% до 90% виходу, що відповідає від 14 до 126 °C. Стаціонарна помилка є поширеною проблемою у реакції відкритого контуру, яка диктувала необхідність розробки системи керування зі зворотним зв'язком. Стаціонарна помилка вихідної температури не є бажаною якістю будь-якої системи контролю температури. Після того, як збурення було введено при $t=100$ с, похибка стаціонарного режиму різко зросла з 1,3 до 8,7 °C, а вихідний сигнал встановився на рівні 126 °C. Слід зазначити, що температура на виході

126,3 °C є нижчою за 135 °C, критичної межі процесу УНТ і мінімальної температури для досягнення нижньої межі бактеріологічного індексу 1. З результатів моделювання зрозуміло, що контролер з відкритим контуром не є придатним контролером для системи контролю температури УНТ.

Щоб досягти кращої продуктивності, для обробки сигналу помилки включено ПІД-регулятор. У відповідь цієї системи час наростання значно скоротився з 21,7 до 6,7 секунд порівняно з відкритим контуром, а похибка в стаціонарному стані зменшується до нуля через 40 секунд. Однак сигнал збурення через 100 секунд призводить до зниження вихідної температури зі 140 до 135,2 °C. Слід зазначити, що нижня межа для УНТ становить 135 °C. Такі умови призведуть до зниження бактеріологічного показника до критичної межі, а подальше зниження температури призведе до нестерильного продукту в харчовому обладнанні. Для ПІД-регулювання зі зворотним зв'язком знадобилося 60 секунд, щоб досягти бажаних 140 °C після введення сигналу збурення. Нездатність в ПІД-регулятор із зворотним зв'язком для нівелювання ефекту збурення робить ПІД-регулятор неефективним регулятором, де не можна знехтувати збуреннями в системі УНТ.

Подальше покращення відгуку системи досягається за допомогою комбінованого ефекту ПІД-регулятора зворотного зв'язку з регулятором прямого зв'язку [14, 15]. У цій конфігурації початкова реакція всієї системи (тобто час наростання та час встановлення) керується ПІД-регулятором зворотного зв'язку. Позитивний вплив регулятора прямого зв'язку видно, коли система піддається збуренню при $t=100$ с. Вплив збурення температури на вході було зведено нанівець за допомогою прямої дії, і жодних змін у температурі на виході не спостерігається. Стаціонарна похибка залишається рівною нулю, як і до введення завад. У цій конфігурації контролер прямого зв'язку був отриманий за допомогою математичної моделі, і він ідеально нівелює вплив сигналу збурення на керовану змінну. У деяких випадках, якщо система складна і взаємозв'язок різних підсистем, здається неможливим отримати функцію прямої передачі в математичному виразі. Методи м'якого обчислення,

такі як нечіткі регулятори прямого зв'язку на основі нечіткої логіки, використовуються в поєднанні з ПІД-контролерами зі зворотним зв'язком. Ця конфігурація забезпечує подібну початкову реакцію, як ПІД-регулювання зі зворотним зв'язком за допомогою контролера прямого зв'язку на основі функції передачі. Крім того, вплив зміни температури на вході (при $t=100$ с від 80 до 70 °C) повністю нівелюється контролером нечіткої логіки, як показано на малюнку 11. Перевага використання гібридного нечіткого контролера прямого зв'язку над функцією передачі – Основою контролера є його розробка та розгортання без детальної математичної моделі системи.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

навчання безпечним методам і прийомам праці;
перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;
при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

падіння з висоти;
ураження електричним струмом;
підвищена напруженість електричного поля;
підвищена запиленість повітря робочої зони;
підвищений рівень вібрації;
недостатня освітленість робочої зони;
фізичні перевантаження;
нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;

- рукавички на - 3 місяці;
- черевики шкіряні на - 24 місяці;
- калоші діелектричні - чергові;
- рукавиці діелектричні - чергові;
- килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

- тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;
- дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
- вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;
- вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;
- знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.
- негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;
- знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;
- виконувати тільки доручену роботу;
- дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;
- знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог: не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України [23, 24].

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконатися в достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконатися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи [23, 24].

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- проводити підготовку робочих місць;
- допуск до роботи;
- здійснювати контроль над виконанням робіт;
- переводити на інше робоче місце;
- установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;

розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках,

елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки

вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

- в разі раптового відключення електроенергії,;
- якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- в разі іскріння;
- при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;
- якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

4.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення

потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η

– це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення R_3 . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення R_3 , складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; R_3 – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, м²; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де l_r – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; a – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_r електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_v} \left(\ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right), \quad (4.4)$$

1.	-	0,4 5	0,4 0	0,3 4	0,2 7	0,2 2	0,2 0	0,1 9
2.	-	0,5 5	0,4 8	0,4 0	0,3 2	0,2 9	0,2 7	0,2 3
3.	-	0,7 0	0,6 4	0,5 6	0,4 5	0,3 9	0,3 6	0,3 3

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_v=5$ м, діаметром $d=12$ мм і відстанню між ними $a'=5$ м та горизонтальних електродів (сталеві смуга перетином 440 мм) на глибині $t=0,8$ м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема $c=20$ Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки K_v і горизонтальної прокладки K_r приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $K_v=1,3$, $K_r=2,5$).

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
-------	--

Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 4.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів K_r , K_v за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, K_r	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, K_v
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{роз.в} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{роз.г} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_e = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначемо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_r = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_r електродів:

$$R_v = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_r = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $K_v=0,4$ та $K_r=0,21$;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R_r = \frac{5,7 \cdot 0,3}{5,7 \cdot 0,21 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 56} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталеві смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм^2 , занурених у землю на 0,8.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено аналіз роботи системи керування процесом пастеризації молока з метою оптимізації процесу та економії енерггоресурсів.

Було проаналізовано процес ПД регулювання температурними режимами пастеризації. В результаті було розраховано параметри регулювання за змодельовано процес.

В подальшому було розроблено систему керування процесом пастеризації на базі однокристальної ЕОМ Разбері 3. Розроблено систему відображення параметрів.

Також додатково було розглянуто можливість застосування такої системи для надвисокотемпературного нагрівання молока з метою пастеризації. Змодельовано процес і обрано параметри регулювання в пакеті Matlab.

References:

Перелік літератури:

1. Alamirew T., Balaji V., Gabbeye N. Comparison of PID controller with model predictive controller for milk pasteurization process. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 6(1), 2017. p. 24-35.
2. Singgih H. Optimization of PID controler in temperature control system processes pasteurization of milk. *American Journal of Engineering Research*, 6(9), 2017. p. 175-187.
3. H. C. Deeth. "Heat treatment of milk: extended shelf-life (ESL) and ultra-high temperature (UHT) treatments," in *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Elsevier, 2022. p. 618–631.
4. H. Deeth. "Improving UHT processing and UHT milk products," in *Improving the Safety and Quality of Milk*, Elsevier, 2010. p. 302–329.
5. P. K. Sahoo, M. I. A. Ansari, and A. K. Datta. "Computer-aided design and performance evaluation of an indirect type helical tube ultra-high temperature (UHT) milk sterilizer," *Journal of Food Engineering*, vol. 51. no. 1, 2002. p. 13–19.
6. A. Negiz, A. Cinar, J. E. Schlessner, P. Ramanauskas, D. J. Armstrong, and W. Stroup. Automated control of high temperature short time pasteurization. *Food Control*. vol. 7. no. 6, 1996. p. 309–315.
7. S. Padhee. Controller design for temperature control of heat exchanger system: simulation studies. *WSEAS Transactions on Systems and Control*. vol. 9. no. 1, 2014. p. 485–491.
8. S. Niamsuwan, P. Kittisupakorn, and I. M. Mujtaba. Predictive control strategy for temperature control for milk pasteurization process. in *Computer Aided Chemical Engineering*. Elsevier, 2013. p. 109–114.
9. N. Mansour, M. Bin Shams, and H. Ismail. Model predictive controller for a retrofitted heat exchanger temperature control laboratory experiment. *Indonesian*

Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJEECS). vol. 25. no. 2, 2022. p. 857–866.

10. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
11. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
12. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
13. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
14. Козбур І.Р., «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
15. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>

16. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.
17. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Письціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. / (Рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол № 9 від 4 жовтня 2022 р.
18. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.
19. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Письціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. / (Рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол № 9 від 4 жовтня 2022 р.
20. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
21. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.

22. Автоматизація виробничих процесів: Навчальний посібник / Я.Проць, О.Данилюк, В.Савків - ТДТУ. 2005. -264с.
23. Автоматизація періодичних технологічних процесів: Типова програма, методичні вказівки, теорія та практика. Лабораторний практикум / Укладачі: Проць Я.І., Данилюк О.А., Федорів П.С. - Тернопіль: ТДТУ, 2005 -135 с.
24. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с. /Рекомендовано до друку Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Протокол № 10 від 20 жовтня 2020 року
25. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
26. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.