



Ідентифікація динамічних параметрів електропечі в режимі релейного автоматичного регулювання температури з метою апгрейду регулятора

Виконав студент групи АКІТ-2М

Стовбун Михайло Юрійович

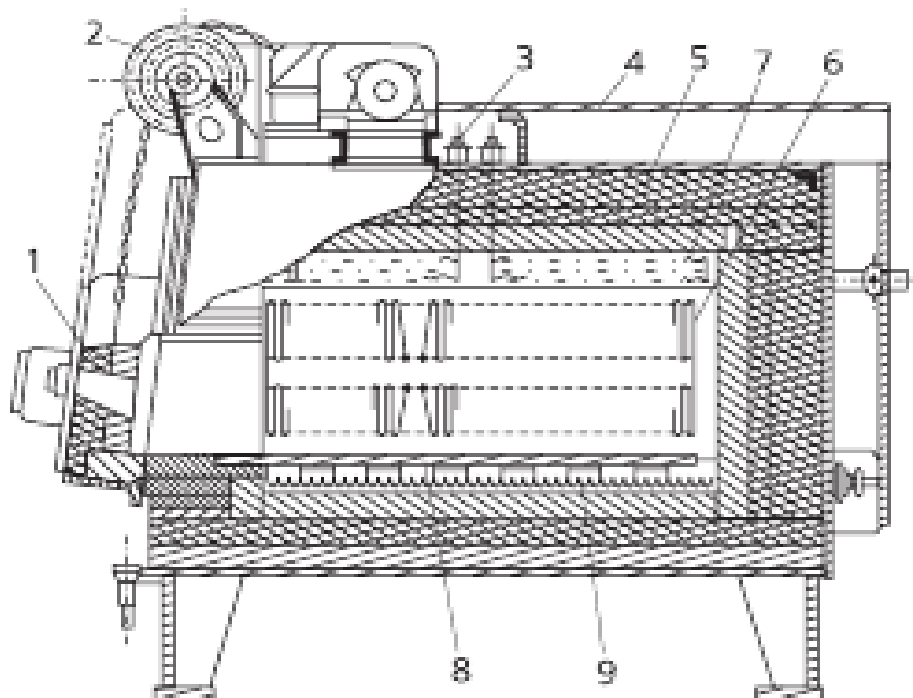
Керівник проекту

Іносов Сергій Вікторович

Метою даного проекту є:

- Комплексна модернізація системи автоматичного регулювання температурного режиму промислової електропечі з метою підвищення точності та ефективності роботи обладнання в умовах промислової експлуатації.
- Проєкт передбачає впровадження сучасного ПІД-регулятора, що забезпечує надійне регулювання температури шляхом зменшення динамічної похибки та уникнення різких коливань потужності.
- Завдяки використанню даного регулятора досягається оптимізація енергоспоживання, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат, подовженню терміну служби обладнання та підвищенню продуктивності.
- Крім того, модернізація має на меті створення умов для безперебійного функціонування системи в умовах високих навантажень і забезпечення безпеки персоналу в процесі експлуатації.
- Реалізація даного проєкту спрямована на поліпшення якості управління тепловими процесами та підвищення економічної ефективності виробництва.

1. Технічні характеристики камерної електропечі опору



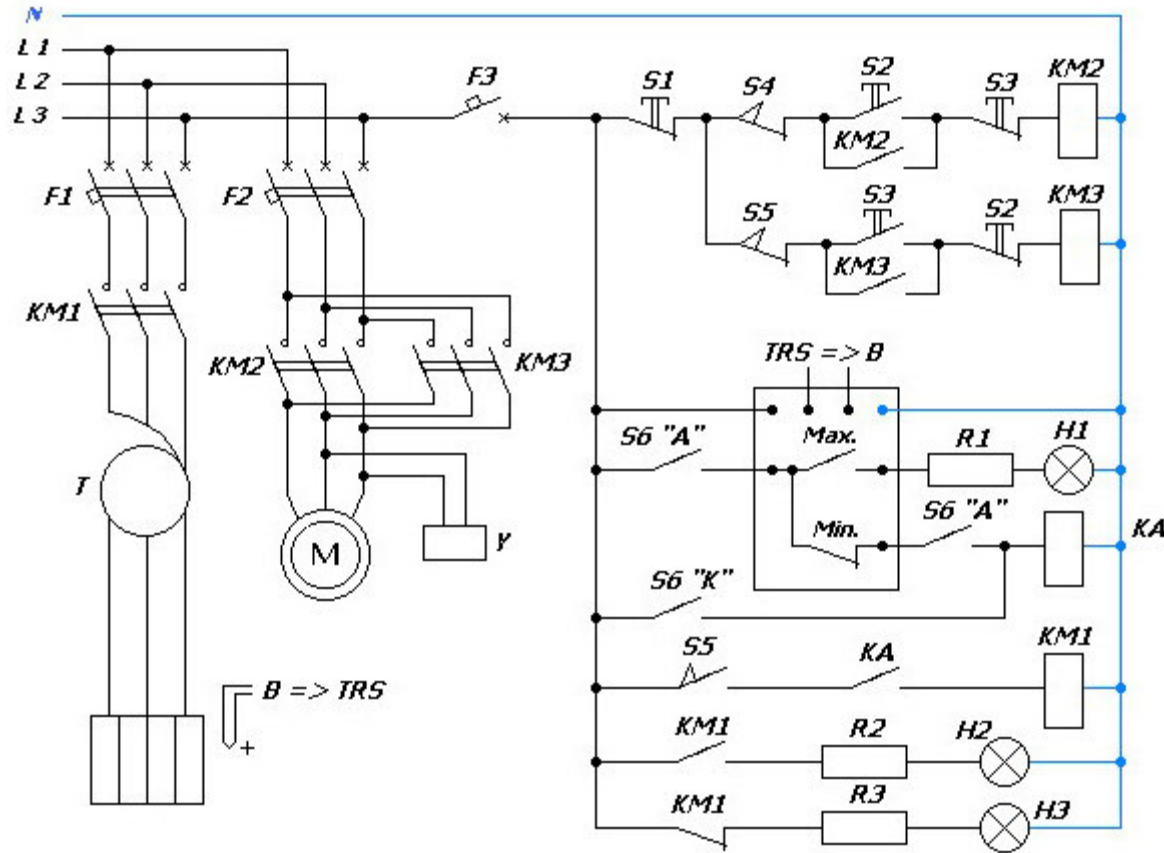
Деталі, що нагрівають, завантажуються через завантажувальне вікно на жароміцний лист 8 у піч, нагріваються від нагрівальних елементів 6 і 9, по закінченню технологічного процесу, вивантажуються з печі. Дверцята печі 1 відкриваються за допомогою механізму 2. Для виміру температури використовуються термопари 3, закріплені на металевому кожусі 4. Футерівка печі 5 складається із внутрішнього вогнетривкого шару й зовнішнього теплоізоляційного.

В даному дипломному проекті буде проводитись модернізація камерної електропечі на базі моделі електропечі СНЗ-6.12.4/10-І2

Потужність встановлена, кВт	57,5
Розміри робочого простору, мм: ширина × довжина × висота	600 ×1200 ×400
Номінальна температура, °С	1000
Витрата контрольованої атмосфери, м3/год	до 8
Напруга мережі живлення, В	380
Частота мережі живлення, Гц	50
Число фаз нагрівача	3

Таблиця 1. Параметри електропечі СНЗ-6.12.4/10-І2

Електрична схема печі опору до модернізації алгоритму регулювання.



1-Автовимикач нагрівання (F1), електропривод дверцят (F2) та ланцюгів управління технікою (F3); 2-Проміжне реле контактора нагрівальних елементів (KA); 3-Контактор елементів нагрівання (KM1); 4-Пічний автотрансформатор (Т); 5-Термодатчик (В); 6-Електромагнітне гальмо (Y); 7- Кнопка стоп (S1), рухи пічних дверей вгору (S2), рухи пічних дверей вниз (S3), вимикачі (S4) та (S5), перемикання роботи печі (S6); 8-Двигун приводу пічних дверей (M); 9-Терморегулятор релейний двонозичійний (TRS); 10-Сигнальна лампа перевищення допустимої температури (H1), включення (H2) та вимикання нагрівача (H3). 11-Додаткові резистори сигнальних ламп R1, R2 та R3.

2. Завдання системи автоматичного регулювання (САР) температури електропечі:

- Пропонується замінити релейний двопозиційний регулятор на регулятор з пропорційно-інтегрально-диференціюючим (ПІД) алгоритмом регулювання.
- Пропонується замінити дискретний двопозиційний регулюючий орган (електромеханічний комутатор) регулюючий орган безперервної дії (твердотільний напівпровідниковий регулятор напруги).

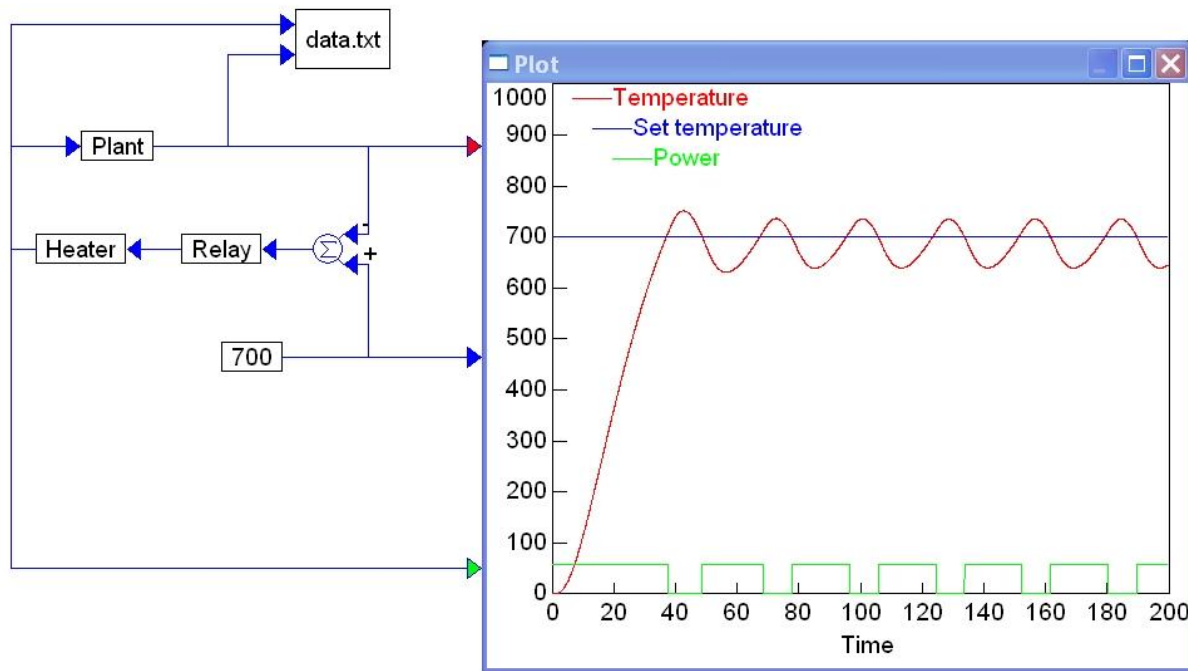


Рис. 1 Модель САР температури електропечі з релейним двопозиційним регулятором. Копія екрану VisSim

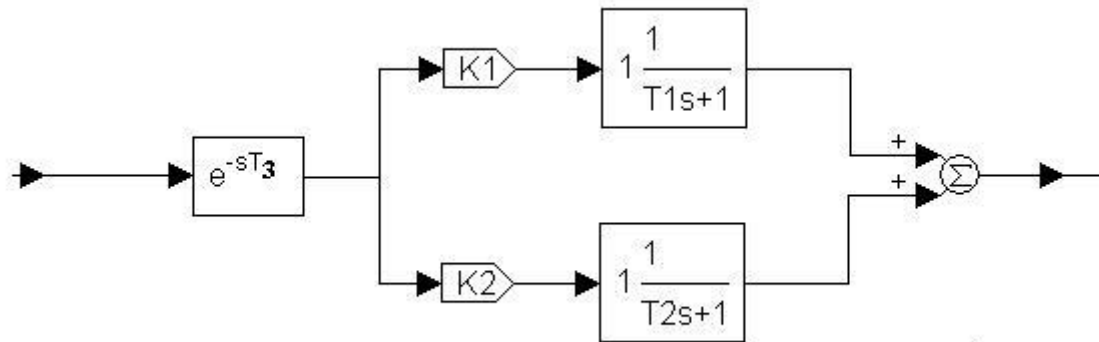


Рис. 2 Універсальна динамічна модель теплового об'єкта регулювання в паралельному варіанті.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА РЕГУЛЮВАННЯ

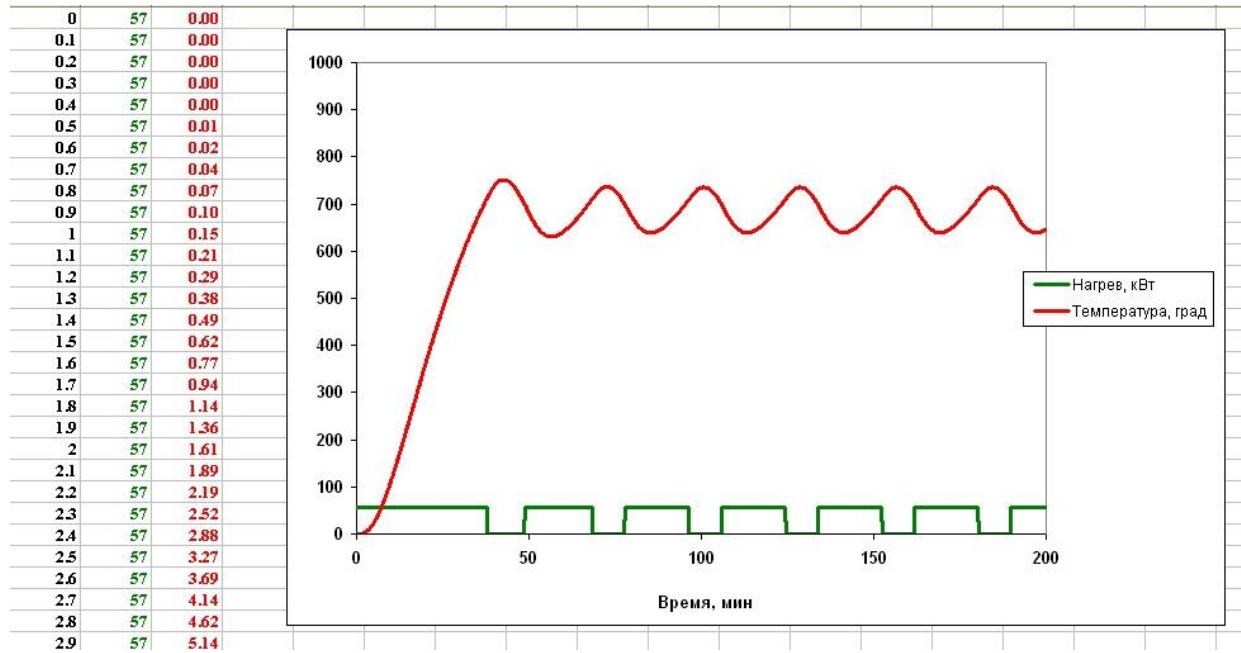


Рис. 3 Вихідні експериментальні дані

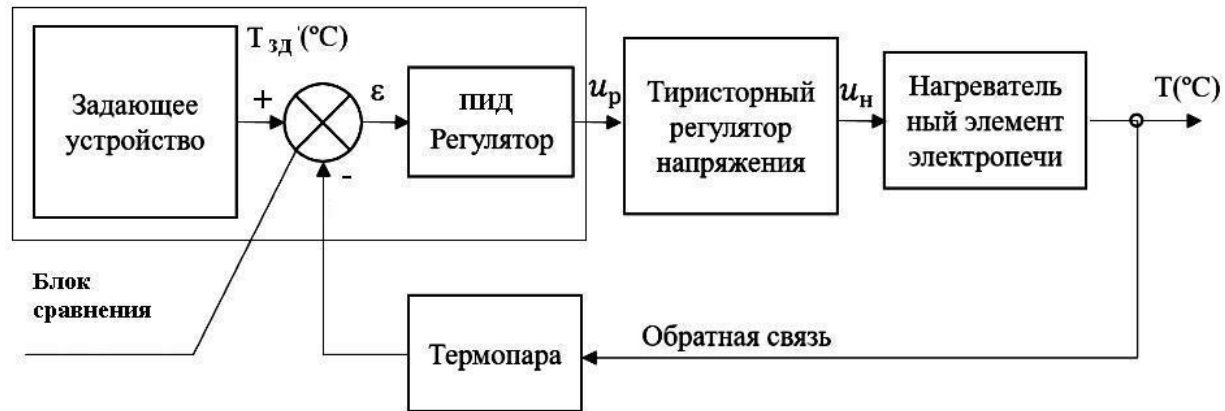


Рис. 4 Структурна схема САР температури з ПІД-регулятором

Впровадження ПІД-регулювання дозволить досягти наступних переваг:

- Забезпечення плавного нагріву (охолодження)
- Високу точність підтримання заданої температури
- Виключення великих кидків потужності, яка споживається від електромережі, при включеннях (вимиканнях) нагрівача.

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ НАСТРОЮВАННЯ ПІД-РЕГУЛЯТОРА

Використовуються наступні формули для розрахунку оптимальних параметрів настроювання параметрів ПІД-регулятора в залежності від відомих параметрів об'єкта регулювання:

Коефіцієнт пропорційності

$$K_p = F \frac{T_1 + T_2}{K \cdot T_3}$$

Стала часу диференціювання

$$T_d = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$$

Стала часу інтегрування

$$T_i = T_1 + T_2$$

Де:

K – статичний коефіцієнт передачі об'єкта

T_1, T_2 – основна і додаткова сталі часу об'єкта

T_3 – час запізнення об'єкта

F – коректуючий множник;

$F=0.4$ (перерегулювання не припустиме)

$F=0.5$ (допускається перерегулювання)

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ САР ТЕМПЕРАТУРИ З ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ

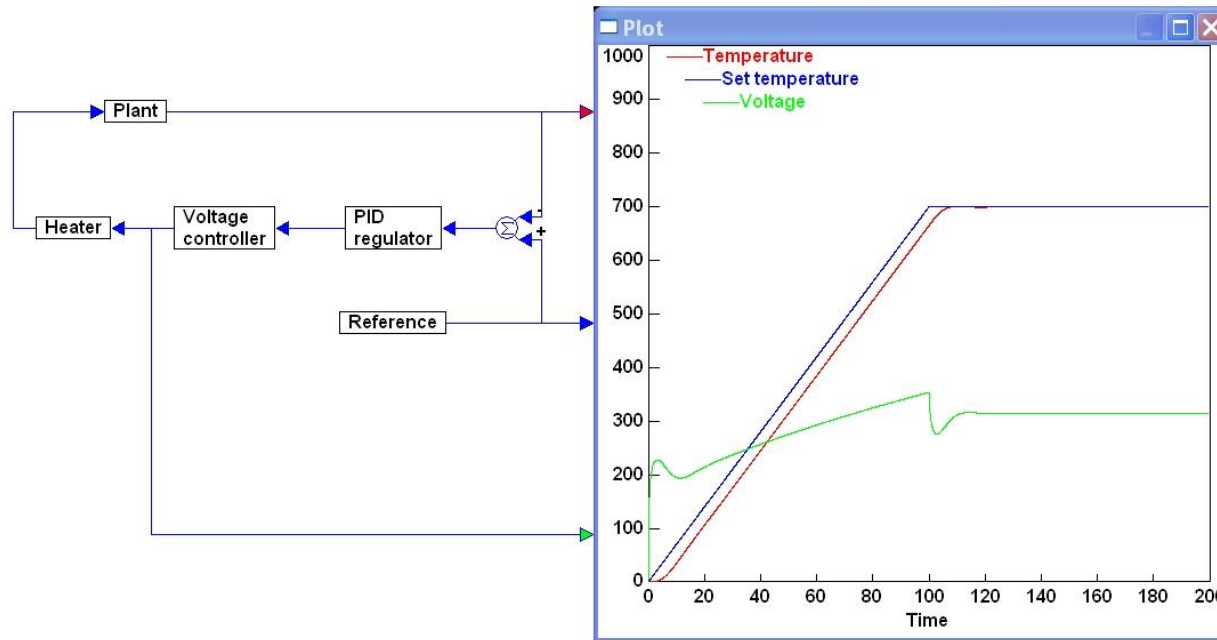


Рис. 5 Структурна схема моделі динаміки САР температури з ПІД-регулятором

На осцилограф Plot відображається практично ідеальний процес програмного підйому температури до 700 град. за 100 хв. Наявність невеликого запізнення (5 хв.) температури щодо завдання даного технологічного процесу абсолютно несуттєво. Напруга живлення нагрівача змінюється плавно, без стрибків.

Чисельні значення параметрів об'єкта регулювання за результатами ідентифікації:

Параметр	Значення за основним варіантом №1	Значення за варіантом №2	Розмірність
K	18	18	град/Квт
T1	20,1	14,9	хв.
T2	10,1	14,9	хв.
T3	1,9	1,9	хв.

В результаті розрахунку за формулами отримані наступні оптимальні чисельні значення параметрів настроювання ПІД-регулятора (для $F=0.4$):

Параметр	Значення за основним варіантом №1	Значення за варіантом №2	Розмірність
K_p	0.354	0,348	кВт/град
T_i	30,2	30	хв.
$T_{d'}$	6,75	7,4	хв.

ПРОГРАММНЫЙ ОДНОКАНАЛЬНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР ТРМ-251



Рис. 6 Загальний вигляд програмного одноканального регулятора ТРМ-251

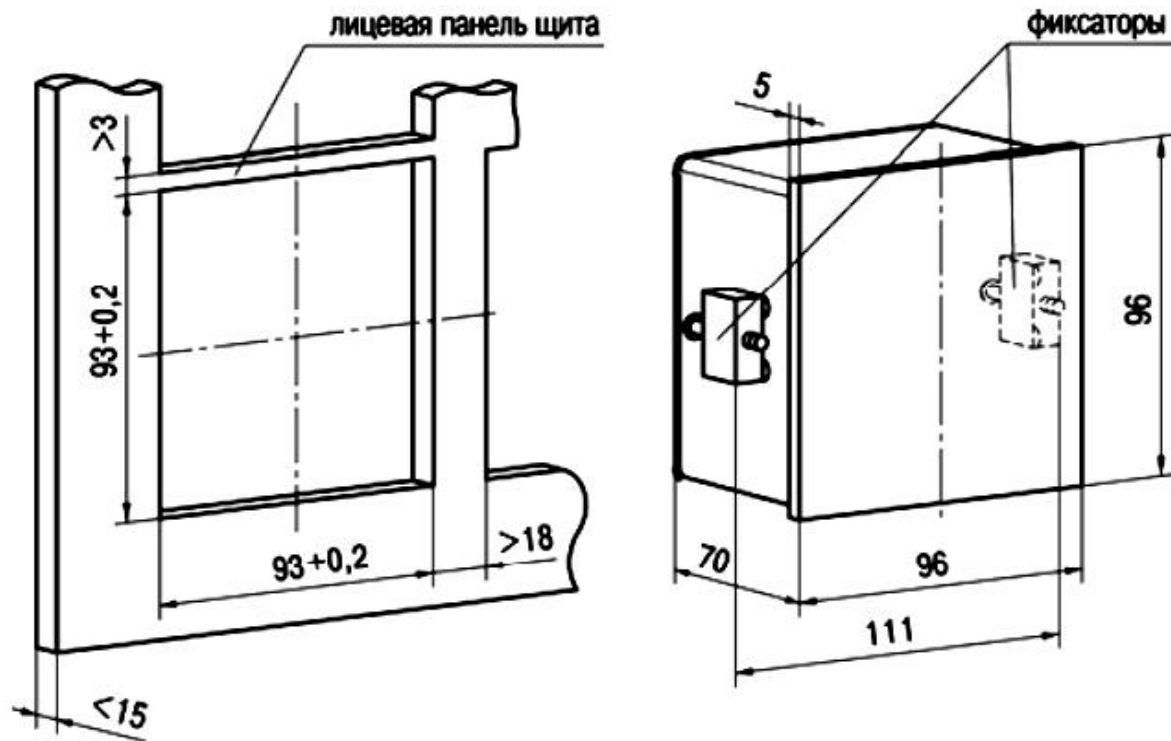


Рис. 7 Монтажні та габаритні розміри програмного
одноканального регулятора ТРМ-251

ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ



Рис. 8 Зовнішній вигляд термопарі ТПК 135

Для вимірювання для вимірювання температури в робочому просторі печі необхідний аналоговий датчик температури, що нержавіє і має діапазон вимірювання від 0 до 1000 град С. Цим умовам задовольняє термопара.

Модель	ТПК 135
Тип термопари	(НСХ) К (ХА)
Діапазон вимірювання температури	-40 ... 1200 ° С
Довжина монтажної частини	400 мм
Постійна часу теплової інерції	не більше 30 с
Виконання робочого спаю щодо корпусу	ізолюваний
Діаметр термоелектроду	3,2 мм
Опір ізоляції не менше	100 Мом
Вихідний сигнал	до 20 мV

Таблиця 1. Показники датчика температури

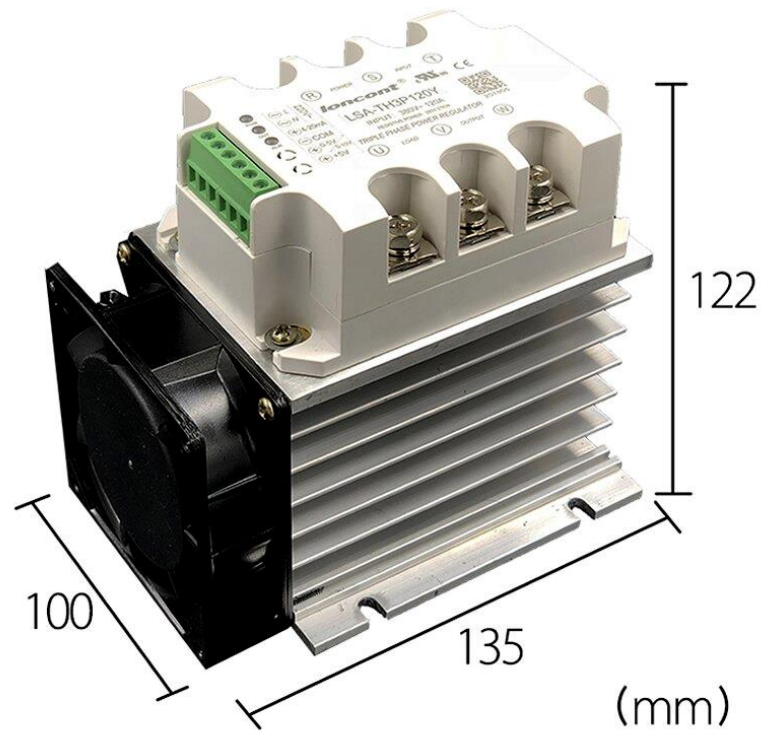


Рис. 9 Загальний вигляд трифазного регулятора напруги змінного струму LSA – ТНЗР90У з радіатором та вентилятором охолодження

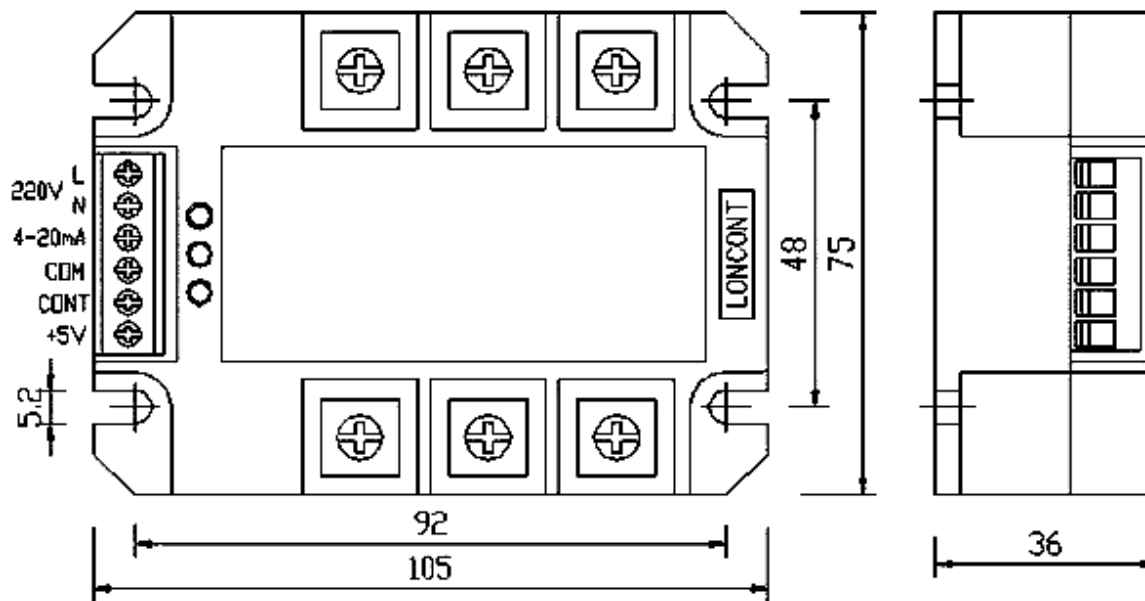


Рис. 10 Габаритні та настановні розміри трифазного регулятора напруги змінного струму LSA – TH3P90Y

Економічна частина

Техніко-економічні показники

№	Найменування показника	Аналог (база)	Пропонований варіант
1	2	3	4
Технічні показники			
1	Тип керування	ручний	автоматичний(ПІД-регулятор)
2	Кількість контролюючих параметрів	1	3(температура, потужність нагріву, час)
3	Споживаємо потужність, кВт.	575	480
4	Норма обслуговування, чол.	1	1
5	Кваліфікаційний рівень персоналу	6	5
Економічні показники			
7	Величина додаткових капітальних вкладень	-----	1 200 000
8	Загальна величина економії, в т.ч.:	-----	750 000
9	- за рахунок зменшення потужності, що споживається	-----	400 000
10	- за рахунок зменшення фонду оплати праці у результаті зниження кваліфікаційного рівня працівників	-----	350 000
11	Термін окупності капітальних вкладень	-----	2,4

Запропонований варіант удосконалення передбачає автоматизацію управління і розширення параметрів контролю, що підвищує ефективність та надійність роботи. Завдяки зниженню енергоспоживання та вимог до кваліфікації персоналу зменшуються експлуатаційні витрати. Додаткові інвестиції швидко окуповуються за рахунок значної економії, що робить проект фінансово вигідним.

Висновки

В даній дипломній роботі розглядається проблема модернізації системи автоматичного регулювання (САР) температури електропечі з використанням ПІД-регулятора, що є стандартом для керування тепловими процесами. Основною метою є поліпшення якості регулювання температури за рахунок зменшення динамічної похибки і запобігання стрибкам потужності, які виникають при використанні релейних двопозиційних регуляторів.

Для модернізації системи автоматичного регулювання температури електропечі СНЗ-6.12.4/10-І2 рекомендується впровадження ПІД-регулятора, який забезпечує високу точність керування та стабільність процесу нагріву. Використання ПІД-регулятора дозволяє мінімізувати коливання температури в межах $\pm 5^{\circ}\text{C}$, що позитивно впливає на якість термічної обробки металів та знижує витрати енергії.