

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ**

**ТАТАРЕНКО ОЛЕКСІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ**

УДК 681.5:621.77

**Підвищення точності температурних режимів загартовування  
валків в вертикальній печі шляхом дослідження та розробки  
алгоритму автоматизованого управління процесом термообробки**

Автореферат на отримання  
ступеня магістра за фахом

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Автореферат є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації виробничих процесів  
Донбаської державної машинобудівної академії.

Науковий керівник

к.т.н., доцент

Циганаш Віктор Євграфович

Донбаської машинобудівної академії

Захист кваліфікаційної роботи магістра відбудеться 24 грудня 2019 року  
на засіданні спеціалізованої вченої комісії в Донбаській державній  
машинобудівній академії

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Серед будь-якої ланцюжка отримання готової металевої продукції завжди є операція нагріву. При отриманні невеликих виробів операція нагріву може бути виконана в дуже стислий проміжок часу, а при нагріванні виробів з великими габаритами нагрів може здійснюватися протягом кількох діб. У важкому машинобудуванні при обробці заготовки тиском нагрів проводиться кілька разів.

Експериментально встановлено закономірності нагрівання заготовок в печах з імпульсною подачею теплоносія:

- коливальний характер зміни параметрів: температури (печі, металу, продуктів згоряння), теплових потоків, тисків, швидкостей, причому амплітуда коливань параметра залежить від діапазону температур, періоду і тривалості імпульсів, відстані від пальника і характеристик робочої камери;
- короткочасність існування і змінне положення в робочому просторі і на поверхні виробів областей з максимальними значеннями відхилень температури від середнього значення забезпечують відсутність локальних постійних джерел нерівномірності нагріву (перегріву або недогріву).

Технологія гарту сталі дозволяє надати недорогим сортам металу більш високі експлуатаційні якості. За рахунок цього знижується вартість виробів, що виготовляються, підвищується прибутковість налагодженого виробництва.

Основні цілі, які переслідуються при проведенні загартування:

- підвищення твердості поверхневого шару;
- збільшення показника міцності;
- зменшення пластичності до необхідного значення, що істотно підвищує опір на вигин;
- зменшення ваги виробів при збереженні міцності і твердості.

Існують найрізноманітніші методи загартування сталі з подальшим відпуском, які істотно відрізняються один від одного. Найбільш важливими режимами нагріву можна назвати:

- температуру нагрівання;
- час, потрібний для нагріву;
- час витримки металу при заданій температурі;
- швидкість охолодження.

Зміна властивостей сталі при загартуванні може проходити в залежності від усіх вищенаведених показників, але найбільш значущим називають температуру нагрівання. Від неї залежить те, як буде відбуватися перестроювання атомної решітки. Наприклад, час витримки при загартуванні сталі вибирається відповідно до того, який міцністю і твердістю має володіти виріб для забезпечення тривалої експлуатації в умовах підвищеного зносу.

**Мета даної роботи** – підвищення ефективності бездротового зв'язку з вантажопідйомним краном шляхом дослідження та розробки завадостійкої системи віддаленої передачі інформаційно-керуючих сигналів.

**Об'єктом дослідження** є вертикальна піч для загартування валків.

**Предметом дослідження** являється автоматична система керування вертикальною піччю.

**Задачі роботи** полягають в розробці автоматизованої системи управління для підвищення якості загартування.

**Наукова ідея**, що лежить в основі даної роботи полягає в тому, що для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз та винайти спосіб визначення якості загартування під час технологічного процесу.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, та темами.** Дослідження по темі кваліфікаційної магістерської роботи проводились в відповідності з науково-дослідницькою тематикою кафедри автоматизації виробничих процесів Донбаської машинобудівної академії (ДДМА).

**Наукова новизна.** Полягає в винайденні способу дослідження загартування у процесі термообробки.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Розроблені алгоритм, інформаційне забезпечення, а також структура системи передачі керуючої інформації, які необхідні для побудови

автоматизованої системи управління.

**Апробація результатів работ.** Основні положення і результати роботи докладались і обговорювались на щорічній науково-технічній конференції студенсько- викладацького состава ДДМА (м. Краматорськ, квітень 2019). За матеріалами роботи підготовлена до друку одна публікація.

Структура та об'єм кваліфікаційної магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, шести глав, висновку, переліку використаної літератури та додатків. Основна частина роботи складається з 100 сторінок тексту, 17 таблиць, 41 рисунка.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У першому розділі роботи** «Аналіз предметної області і постановка завдань». Вертикальні термічні печі №51 КПЦ-1,2 призначені для термообробки переважно композитних валків в підвішеному стані і автоматизованому режимі управління тепловими та технологічними процесами по раніше заданим програмам.

Піч вертикальна термічна включає в себе наступні складові частини, системи та обладнання:

- кожух печі;
- вікно завантажувальне;
- газоповітряпостачання в межах печі;
- повітропостачання печі;
- металоконструкція печі;
- система охолодження печі;
- система димовидалення печі;
- електрообладнання печі;
- вузол установки пальника;
- розводка воздухопровода по печі;
- висвітлення печі;

- система КВП;
- система АСУТП;
- футеровка печі;
- футеровка системи димовидалення печі.

Архітектура системи управління печі виконана за трирівневою схемою:

- нижній рівень – збір технологічної інформації з датчиків і управління електроустаткуванням безпосередньо за місцем (на печі);
- середній рівень – управління технологічним процесом на кожній печі з поста оператора;
- верхній рівень – централізована обробка інформації про технологічний процес на рівні цеху з використанням загальноцехової комп'ютерної мережі, що включає розробку і завдання технології, протоколювання, архівування та оперативний контроль.

Нижній рівень - це власне електрообладнання, датчики, місцеві пости керування і показують прилади. Сигнали від датчиків і місцевих постів обробляються мікропроцесорним контролером, який за алгоритмом управління теплотехнічних режимом печі формує керуючі впливу на виконавчі механізми заслінок і електрообладнання пальників печі.

До обладнання середнього рівня відноситься обладнання, установ-ленне в пультової печей. Воно включає:

- шафа системи автоматики, що працює під управлінням мікропроцесорного контролера Simatic S7-1200 з використанням панелі оператора TP1500;
- робоче місце оператора.

У шафі встановлено мікропроцесорний контролер Simatic S7-1200 з модулями розширення і апаратурою керування пальниками печі, розміщені прилади контролю наявності факела, управління виконавчими механізмами заслінок печі і схемою автоматики безпеки печі, а також допоміжна апаратура (блоки живлення, автомати захисту).

На двері шафи встановлені кнопки управління, лампи сигналізації і

панель оператора TP1500. З її допомогою здійснюється управління режимом роботи печі, контроль і діагностика поточного стану параметрів режиму на всіх технологічних етапах. Передбачено дистанційне керування всіма пальниками і виконавчими механізмами в ручному режимі. Панель оператора TP1500 підключена до контролера через мережу MPI.

Робоче місце оператора печей являє собою стіл з встановленим на ньому промисловим комп'ютером Simatic Rack PC. Робоче місце оператора призначене для введення параметрів технологічного процесу, візуалізації, контролю, діагностики та протоколювання режиму на всіх печах. Промисловий комп'ютер об'єднаний мережею PROFIBUS DP з мікропроцесорними контролерами печей і підключений до локального сегменту цехової мережі Ethernet.

Обладнання верхнього рівня знаходиться в побутових КПП-2. Воно являє собою робоче місце технолога печей, пов'язане з комп'ютерної мережі Ethernet з комп'ютерами середнього рівня, розташованими в пультових на прольотах цеху. Розробка баз даних технологій і аналіз проведених режимів термообробки ведеться на комп'ютерах.

**У другому розділі** «Теоретичні дослідження». Проблема забезпечення якісного температурного режиму.

Розглядається фаза нагрівання деталі від деякої початкової температури, з підведенням тепла в пічну середу. Алгоритм розрахунку оптимального режиму нагріву деталі в печі. Оптимальний режим нагріву деталі - лінійний зростання температури від початкової на вході в піч  $T_{\text{поч}}$  до призначається максимальної температури нагріву  $T_{\text{max}}$  за необхідний проміжок часу  $\Delta t_0$ . Таким чином в будь-який момент часу  $t$  температура деталі визначається виразом (звіт часу проводиться від моменту посадки деталі в піч).

Передбачається поетапне наближення до зазначеного закону шляхом чергування періодів нагріву деталі при підводі постійної теплової потужності з наступним відключенням пальників і охолодженням деталі. Графічна інтерпретація результатів розрахунку може бути представлена у вигляді

залежності відносної безрозмірною температури деталі від безрозмірного комплексу, що включає час. Введемо безрозмірні температури у вигляді відношення поточної температури  $T(t)$  до максимальної температури  $T_{\max}$

У розрахунках враховувалися як режимні, так і конструктивні параметри печі.

Початковий нагрів деталей відбувається при максимальній витраті природного газу (палива), для чого зручно починати нагрівання з  $0^\circ\text{C}$ .

Для визначення максимально необхідної витрати природного газу складемо рівняння теплового балансу печі, враховуючи тільки основні втрати тепла з димовими газами, оскільки втрати в навколишнє середовище через обмурівку становить мізерну частку цих втрат.

Визначено, що за програмою задана температура  $T_{\text{дmax}} = 1300^\circ\text{C}$  досягається за 8,33 години, а ця ж температура при безперервному нагріванні деталей досягається за час  $t = 7,66$  години. Наведені графіки показують можливість імпульсного нагріву деталей шляхом «включення-виключення» пальників.

Пальники повинні відключатися тоді, коли різниця температур деталі  $T_d$  і її задане значення  $T_d$ , зад буде більше половини зони нечутливості, після чого пальника знову вимикаються і йде розігрів металу. Надалі цей цикл повторюється, і таким чином середня температура металу буде підтримуватися заданої програми. Зона нечутливості регулятора, яка для представницького показу обрано в діапазоні.

Результати розрахунків показують, що при низьких температурах деталі пальника «включаються-відключаються» частіше, ніж при високих температурах деталі, причому тривалість кожного наступного включення збільшується.

Починаючи з температури деталі  $\sim 450^\circ\text{C}$  пальники працюють тривалий час, оскільки графік нагріву деталі не виходить за межі зони нечутливою до тих пір, поки температура деталі не досягне заданої  $T_d = 1300^\circ\text{C}$ . Після цього



середня постійна температура витримки  $T_d = 1300^\circ \text{C}$  підтримується періодичними і відключеннями пальників.

При зменшенні зони нечутливості ( $\Delta_{\text{поч}} = 40^\circ \text{C}$  або  $20^\circ \text{C}$ ) слід очікувати збільшення частоти «включення-відключення» пальників, але, що має істотне значення, вони будуть не так часто спрацьовувати за часом ( $\sim 1-2$  рази протягом години).

У третьому розділі «Експериментальна частина». При одному і тому ж розмірі перетину деталі тривалість нагріву може виявитися різною в залежності від форми. Загальний час нагріву складається з часу нагріву до заданої температури ( $\tau_n$ ) і часу витримки при цій температурі ( $\tau_b$ ), отже:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_n + \tau_b \quad (3.1)$$

Величина  $\tau_n$  залежить від нагріваючої здібності середовища, від розмірів і форми деталей, від їх укладання в печі;  $\tau_b$  залежить від швидкості фазових перетворень, яка визначається ступенем перенагрівання вище критичної точки і дисперсністю вихідної структури.

Точно встановити час нагрівання можна лише дослідним шляхом для даної деталі в даних конкретних умовах.

Проведемо дослід на прикладі валка масою 12900 кг (рис 3.3).

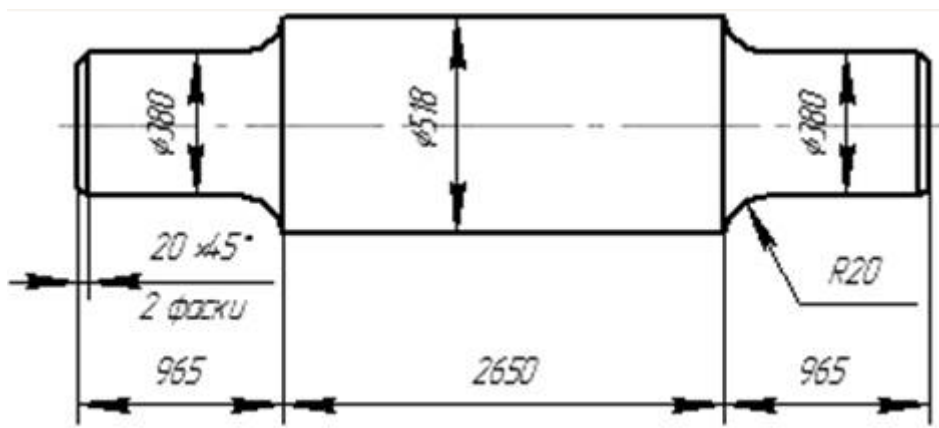


Рисунок 3.3 – Валок прокатного стану

Розрахунковим розміром даного валка є його діаметри  $d_1=518\text{мм}$  та  $d_2=380\text{мм}$ , початкова температура валка  $T_{\text{вал}}$ , та температурою технологічного процесу термообробки який задає автоматика  $T_{\text{терм}}$ . Коефіцієнт конвекції з поверхні валка дорівнює  $\alpha$  (рис3.5).

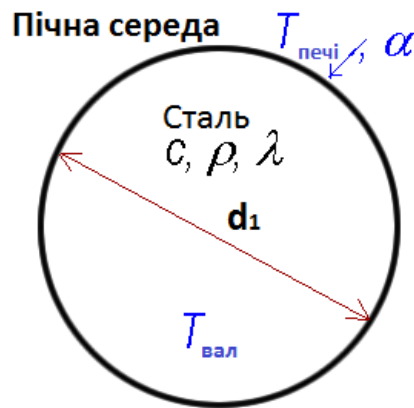


Рисунок 3.5 – Величини впливаючі на нагрів валка

Вихідні данні:

- температура валка  $T_{\text{вал}} = 40^\circ\text{C}$ ;
- теплопровідність  $\lambda = 68 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ;
- теплоємність  $c = 521 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;
- щільність  $\rho = 7810 \text{ кг/м}^3$ ;
- температура пічної середи  $T_{\text{печі}} = \text{від } 40^\circ\text{C} \text{ до } 1000^\circ\text{C}$ ;
- коефіцієнт конвекції із поверхнями  $\alpha = 10 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$ ;
- швидкість нагріву печі від  $40$  до  $750^\circ\text{C}$   $A_{750}=100 \text{ }^\circ\text{C/год}$
- швидкість нагріву печі від  $750$  до  $1300^\circ\text{C}$   $A_{1300}=150 \text{ }^\circ\text{C/год}$
- швидкість охолодження садки  $A_{\text{ох}}=500 \text{ }^\circ\text{C/год}$

Для отримання точного рішення крок інтегрування був обраний рівним 1 секунді.

Аналітичне рішення [6]\*

$$(T - T_{\text{печи}}) / (T_{\text{вал}} - T_{\text{печи}}) = \exp(-0.0117 \cdot t) . \quad (3.2)$$

Результати процесу моделювання загартування представлені у таблиці

3.1.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання процесу загартування

	Час, год	Температура, °С		
		Пічна середа	Валок прокатного стану*	Процес
Сегмент 1	5,6	600	220	нагрів
Сегмент 2	4	600	314	витримка
Сегмент 3	2,6	1000	431	нагрів
Сегмент 4	2	1000	509	витримка
Сегмент 5	1,5	250	482	охолодження
Сегмент 6	1	250	464,5	витримка
Сегмент 7	1,5	400	457,5	нагрів
Сегмент 8	1	400	453,2	витримка
Сегмент 9	0,2	300	449,4	охолодження
Сегмент 10	0,4	100	437	охолодження

Для виміру температури валка у реальних умовах запропонований наступний спосіб (рис.3.26). Для цього знадобиться:

- валок під загартування;
- термопари у кількості 12 шт., відповідно до кожної зони нагріву вертикальної печі по 3шт.;
- кам'яна вата, яка витримує до 1300 °С;
- спеціальна кришка;
- внутрішній циліндр

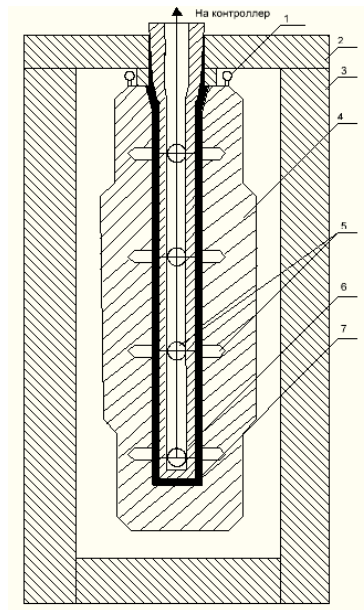


Рисунок 3.26 – Спосіб дослідження процесу загартування валка у реальних умовах

На рисунку 3.27 показана схема підключення центрального процесора, на якій прийняті наступні позначення:

- 1 – процесор;
- 2 – панель оператора;
- 3 – позначення параметр-дія;
- 4 – виходи реле;
- 5 – підключення модуля розширення

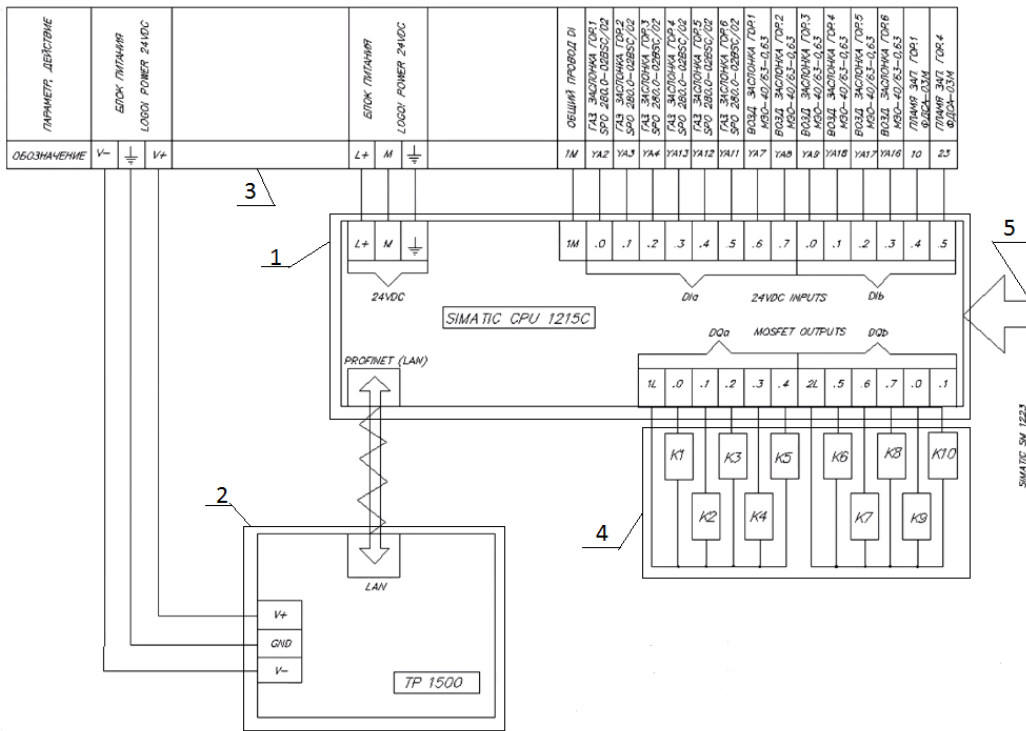


Рисунок 3.27 – Схема підключення центрального процесора

На рисунку 3.28 показана схема підключення модулів розширення дискретних сигналів, на якій прийняті наступні позначення:

- 1 – модулі розширення;
- 2 – позначення параметр-дія;
- 3 – виходи реле;
- 4 – підключення слідуєчих блоків, Simatic SM 1223.

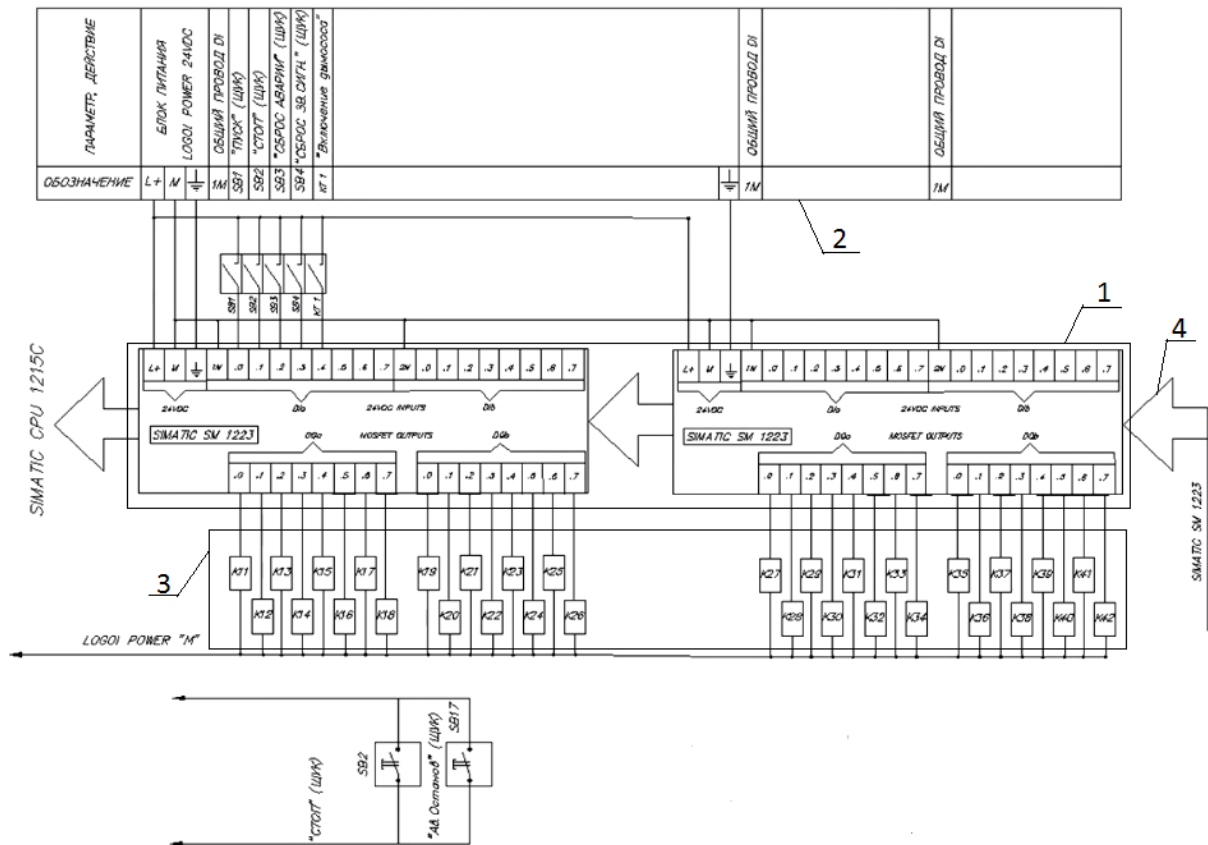


Рисунок 3.28 – Схема підключення модулів розширення дискретних сигналів

На рисунку 3.29 показана схема підключення Simatic SM 1223, на якій прийняті наступні позначення:

- 1 – позначення, параметр-дія;
- 2 – модуль;
- 3 – виходи;

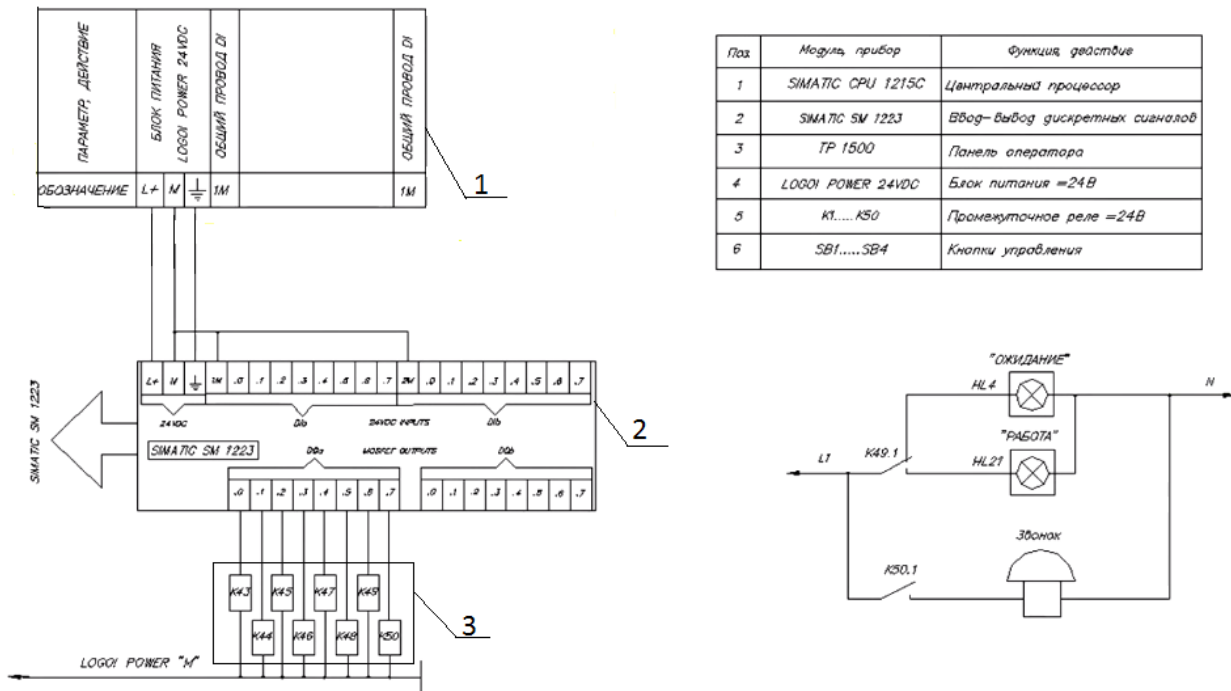


Рисунок 3.29 – Схема підключення Simatic SM 1223

Для системи автоматизації потрібно:

– 31 дискретних входів: 12 – для газового дроселя, 12 – повітряна заслінка, 1 – контроль включення димососу, 2 – прибор контролю полум'я, 4 – кнопки на шиті (пуск, стоп, відміна аварії, відміна сирени).

– 52 дискретних виходів: 2 – газові клапани, 2 – свічі, 2 – клапана запальника, 12 – клапана пальників, 30 – привода шибера димососа і повітряних та газових заслінок, 2 – високовольтний трансформатор, 1 – сирена, 1 – світло – сигнальна арматура.

– 28 аналогових входів: 1 – дифманометр газового фільтру, 9 – датчики тиску газу, 8 – датчики тиску повітря, 2 – датчики розрідження, 8 – термопари.

Виконаємо конфігурацію обладнання SIEMENS та створюємо теги входів та виходів (рис.3.31).

Обираємо контролер CPU1215 DC/DC/Rly V3.0, модуль введення та виведення даних DI16/DQ 16×24VDC V2.0 з 16 дискретними входами та 16 дискретними виходами, модуль дискретних виходів DQ16×24VDC V2.0 на 16

виходів та DQ8×24VDC V2.0 на 8 виходів, модуль аналогових входів AI 8×13 BIT V2.0 3 модулі по 8 входів кожний, модуль аналогових входів AI 4×13 BIT V2.0 з 4 входами.

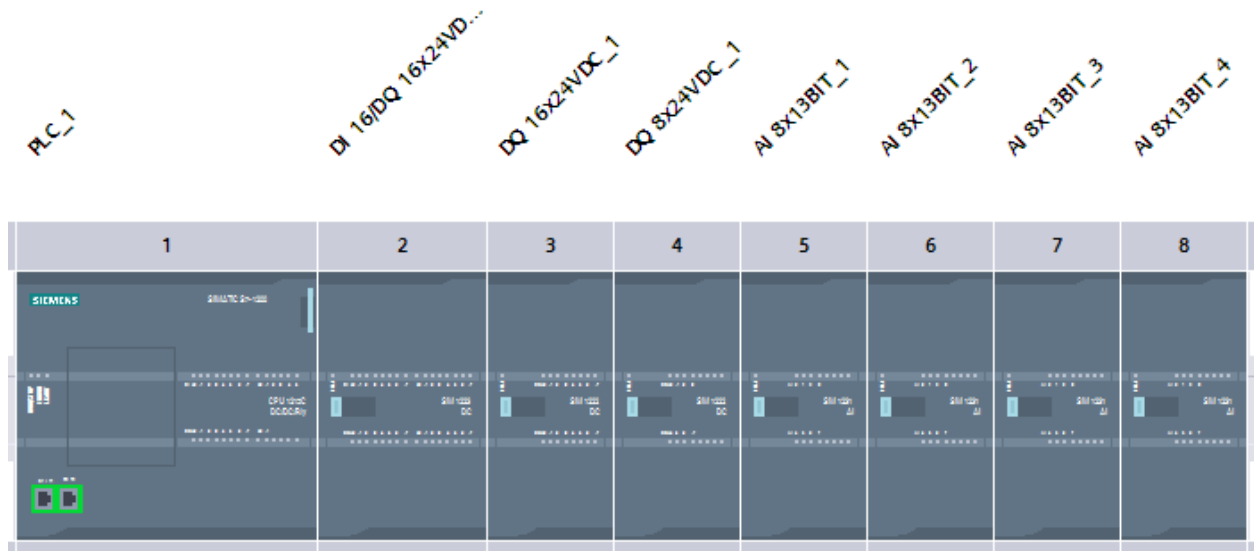


Рисунок 3.31 – Конфігурація обладнання SIEMENS

У топології проекту, рисунок 3.32, підключений до порта 1PROFINET панель оператора TP1500Basic, другий порт потрібний для загрузки програми.

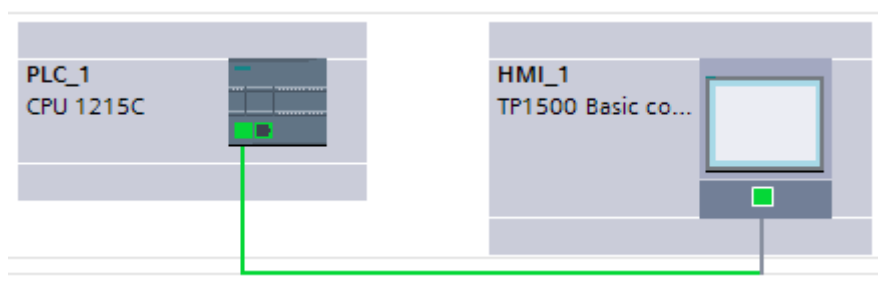


Рисунок 3.32 – Топологія проекту

Розроблений головний цикл пуску печі. На рисунку 3.33 представлений керуючий код блока OB1. У блоку FB1 Main\_cycle (рис.3.34) представлений код головного циклу пуску, а також виконавчих механізмів.



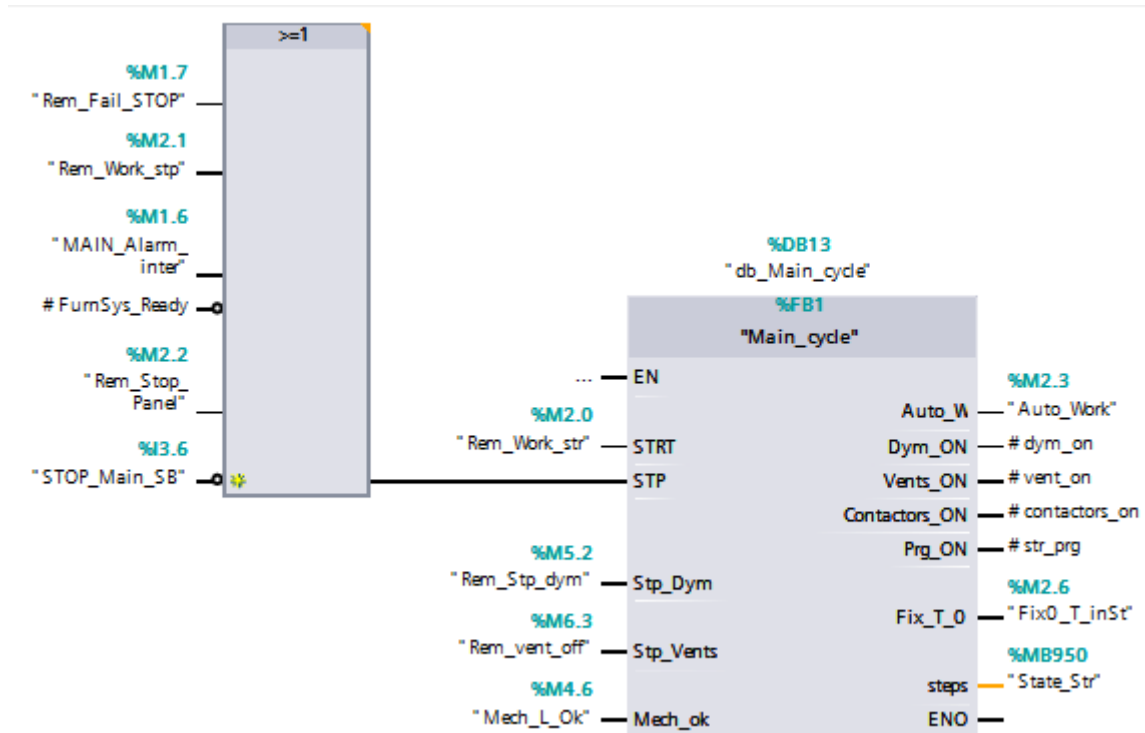


Рисунок 3.33 – Головний цикл пуску печі

У п'ятому розділі виконано узагальнення результатів дослідження, проведена оцінка техніко-економічної ефективності результатів підвищення завадостійкості передачі сигналів бездротовим способом, науковий ефект відображає можливість задоволення потреби в новій інформації.

У шостому розділі було проведено аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, розроблені засоби по забезпеченню безпечних і комфортних умов праці.

У висновку сформульовані основні наукові результати й практична значимість виконаної роботи

## ВИСНОВКИ

У дипломному проекті вирішується завдання визначення дійсної температури валка що загартовується відносно технологічного процесу у

вертикальній печі. Спроектована автоматизована система управління температурним режимом загартування. Рішення про необхідність даної розробки було прийнято в результаті аналізу об'єкта.

При розробці системи управління вертикальною піччю для загартування валків були вирішені наступні інженерні завдання:

- проведено аналіз необхідних інформаційних та керуючих сигналів необхідних для реалізації автоматизованої системи управління температурним режимом печі;
- розроблена функціональна схема автоматизації системи управління температурним режимом печі з визначенням місць установки вимірювальних перетворювачів;
- розроблений алгоритм управління температурним режимом загартування;
- спроектована структурну схему АСУ технологічним процесом випалу;
- обрані модульні засоби автоматизації на базі технології Simatic;
- розроблені електричні схеми підключення датчиків і виконавчих механізмів до модульних засобів автоматизації Simatic S7.

## **АНОТАЦІЯ**

**Татаренко А.В. Підвищення точності температурних режимів загартовування валків в вертикальній печі шляхом дослідження та розробки алгоритму автоматизованого управління процесом термообробки- Рукопис.**

У кваліфікаційної роботі магістра вирішено актуальне науково-технічне завдання розробки способу дослідження технологічного процесу за допомогою АСУ. Проведено дослідження способів визначення точності температурного режиму та проведено моделювання процесу загартування валка, розроблені принципові схеми, проведений вибір обладнання SIEMENS, та розроблений програмний алгоритм управління піччю.

**Ключові слова:** піч вертикальна, автоматизація, технологічний процес, закалка, температура, контроль, датчик, модель загартування, алгоритм, система управління

## АННОТАЦИЯ

**Татаренко А.В. Повышение точности температурных режимов закаливание валков в вертикальной печи путем исследования и разработки алгоритма автоматизированного управления процессом термообработки- Рукопись.**

В квалификационной работе магистра решена актуальная научно-техническая задача разработки способа исследования технологического процесса с помощью АСУ. Проведено исследование способов определения точности температурного режима и проведено моделирование процесса закалки валка, разработанные принципиальные схемы, проведенный выбор оборудования SIEMENS, и разработан программный алгоритм управления печью. **Ключевые слова:** кран, информация сигнал, передача, беспроводная, математическая модель.

## SUMMARY

**Tatarenko A.V. Improving the accuracy of temperature regimes for quenching rolls in a vertical furnace by researching and developing an algorithm for automated control of the heat treatment process - Manuscript.**

The qualification work of the master solved the actual scientific and technical task of developing a method of researching the technological process with the help of ACS. The methods of determining the accuracy of temperature and the simulation of the process of rolling hardening were conducted, the schematic diagrams were developed, the selection of SIEMENS equipment was carried out, and the software algorithm of the furnace control was developed.

**Keywords:** vertical furnace, automation, technological process, tempering, temperature, control, sensor, quenching model, algorithm, control system