

Міністерство освіти і науки України

**Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів та технологій**

Кафедра матеріалознавства

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**Автоматизація термічної обробки первинного вала /
Automation of the heat treatment of the primary shaft**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Індустріальний інжиніринг та
менеджмент»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ)с-31

ПІВОВАРЧУК Юрій Арсенович

_____ (підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Фещук Юрій Петрович

_____ (підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Гусачук Дмитро Анатолійович

_____ (підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мельничук М.Д.

“ 11 ” лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Гібоварзук Юрій Арсенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація термічної обробки першого валу

керівник роботи Гайук Орієнтий, к.т.н. доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 07 ” лютого 2025 року № 78/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи « 05 » червень 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Ескиз валу першого, програма виконання N=50 тис. мм.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд лінійних розмірів та технологічних вимог, вибір матеріалу для виготовлення валу першого, технологічний процес, конструктивні частини валу та його ХТО, розрахунок діаметра валу, автоматизація термічної обробки, охолодження, висновки і практичні рекомендації.

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

1. Мета і завдання (визначення) роботи (ескиз першого валу)

2. Матеріал, що використовується для виготовлення валу першого (3 сл.)

3. Технологічний процес (3 сл.)

4. Вибір матеріалу (3 сл.)

5. Конструктивні частини валу (3 сл.)

6. Автоматизація термічної обробки (3 сл.)

7. Висновки і практичні рекомендації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Н.контр.	Мисковець С.В., радник		

7. Дата видачі завдання «11» лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Огляд літературних джерел та технічне одручівання	06.05.2025	виконано
2	Технологічна експертиза		
3	Конструкторська частини Автоматизація технологічного обладнання	20.05.2025	виконано
	Охорона праці	03.06.2025	виконано
	Висновки, критичні рекомендації		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Мілошук М.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Кучер М.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

ПІВОВАРЧУК Юрій Арсенович. Автоматизація термічної обробки первинного вала. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Індустріальний інжиніринг та менеджмент» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

В роботі проведено дослідження впливу різних режимів нагріву, температур, інтенсивності подачі газової атмосфери на фізико-механічні властивості матеріалу первинного вала, що пройшли різні режими термічної обробки. Встановлено оптимальні параметри режиму хімікотермічної обробки. Розроблено технологію хімікотермічної обробки первинного вала та наведено метод програмування PID-контролерів для контролю рівня охолоджувальної рідини її температури та підтримки температури в печі. Наведено рекомендації з охорони праці.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, п'яти розділів, висновків і практичних рекомендацій, списку використаних джерел, додатків.

Загальний обсяг роботи: 57 сторінок, 5 розділів, висновки і практичні рекомендації, 19 рисунків, 3 таблиці, 12 літературних джерел.

Ключові слова: хімікотермічна обробка, структура, міцність, атоматизація

					БР 2511.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація термічної обробки первинного вала / Automation of the heat treatment of the primary shaft	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Півоварчук					3	57
Перевірив		Фещук				ЛНТУ, каф.матеріалознавства, гр. ПМ(ІМ)с-31		
Н. Контр		Мисковець						
Затв.		Мельничук						

ABSTRACT

PIVOVARCHUK Yurii Arsenovych. Automation of the heat treatment of the primary shaft. Manuscript.

Bachelor's qualification work of the Educational Program "Industrial Engineering and Management" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The work investigates the influence of different heating modes, temperatures, and gas atmosphere supply intensity on the physical and mechanical properties of the input shaft material that has undergone different heat treatment modes. The optimal parameters of the chemothermal treatment mode are established. The technology of chemothermal treatment of the input shaft is developed and a method for programming PID controllers for controlling the level of the coolant, its temperature, and maintaining the temperature in the furnace is presented. Recommendations on labor protection are given.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, five chapters, conclusions and practical recommendations, a list of sources used, and appendices. Total volume of work: 57 pages, 5 chapters and conclusions, 19 figures, 3 tables, 15 literary sources.

Keywords: heat treatment, structure, strength, stamping, plasticity.

					БР 2511.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	7
1.1. Опис деталі та умов роботи	7
1.2. Вибір матеріалу для виготовлення первинного вала	9
1.3. Мета кваліфікаційної роботи	11
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1. Розробка параметрів технологічного процесу виготовлення первинного вала.....	13
2.2. Укладання технологічного процесу	19
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	23
3.1. Вибір типу печі для ХТО первинного вала	23
3.2 Розрахунок індукційного нагрівача	24
3.3 Розробка конструкції бака гартувального	30
РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ	33
4.1. Принцип роботи PID контролера	33
4.2. Проектування PID-контролера охолоджувального бака.....	40
4.3. Проектування PID-контролера регулювання температури	45
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	48
5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на дільниці ХТО первинного вала та заходи щодо захисту	48
5.2. Заходи з техніки безпеки для металографічної лабораторії	50
5.3. Перелік засобів протипожежної безпеки для дільниці хіміко-термічної обробки	52
ВИСНОВКИ І ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У сучасному сільськогосподарському машинобудуванні мінітрактори займають важливе місце, особливо в умовах фермерських господарств і дрібного агровиробництва. Ефективність, надійність та рентабельність роботи мінітрактора значною мірою залежать від конструктивної особливості (якості) та довговічності його вузлів і агрегатів. Одним із ключових елементів трансмісії, що зазнає значних навантажень і забезпечує передачу крутного моменту від двигуна до механізму перемикання передач, є первинний вал.

З огляду на жорсткі умови експлуатації, пов'язані з жорстким динамічним режимом роботи (зміна щільності ґрунту, зустріч зі сторонніми предметами в ґрунті), первинний вал мінітрактора повинен мати високі показники міцності, зносостійкості, втомної довговічності, а також стабільність механічних властивостей протягом усього терміну служби. Наведені характеристики в значній мірі визначаються не лише матеріалом вала, але й режимами його термічної обробки та отриманою мікроструктурою.

Для виготовлення таких відповідальних деталей, як вали, часто використовуються низьколеговані цементовані сталі, зокрема сталь 20CrMn, яка характеризується сприятливим поєднанням міцності, пластичності та здатності до глибокої цементації при порівняно не високій вартості.

Матеріалознавчий інтерес викликає вивчення впливу умов термообробки на формування мікроструктури сталі 20CrMn і, як наслідок, на механічні властивості первинного вала. Актуальним також є моделювання процесу термічної обробки з використанням систем автоматизованого керування температурою, наприклад, на базі SIMATIC S7-1200/1500, що дозволяє забезпечити стабільність режиму нагріву, зниження енергетичних витрат та підвищення якості обробки.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1. Опис деталі та умов роботи

Розглянемо ескіз первинного вала мінітрактора, який є відповідальною частиною коробки швидкосте, містить шліцбові з'єднання, які повинні володіти високою твердістю (від HRC 57) та ділянки під встановлення підшипників. Для забезпечення заданої твердості для забезпечення достатньої зносостійкості, при високій в'язкості серцевини поверхню шліців цементуємо на глибину шару 1,4...1,6 мм, який після шліфування складе 1,1...1,4 мм.

Первинний вал мінітрактора є критично відповідальною деталлю. Цей вал пов'язує кошик системи щеплення (тобто сам двигун) з коробкою швидкостей мінітрактора.

125/(✓)

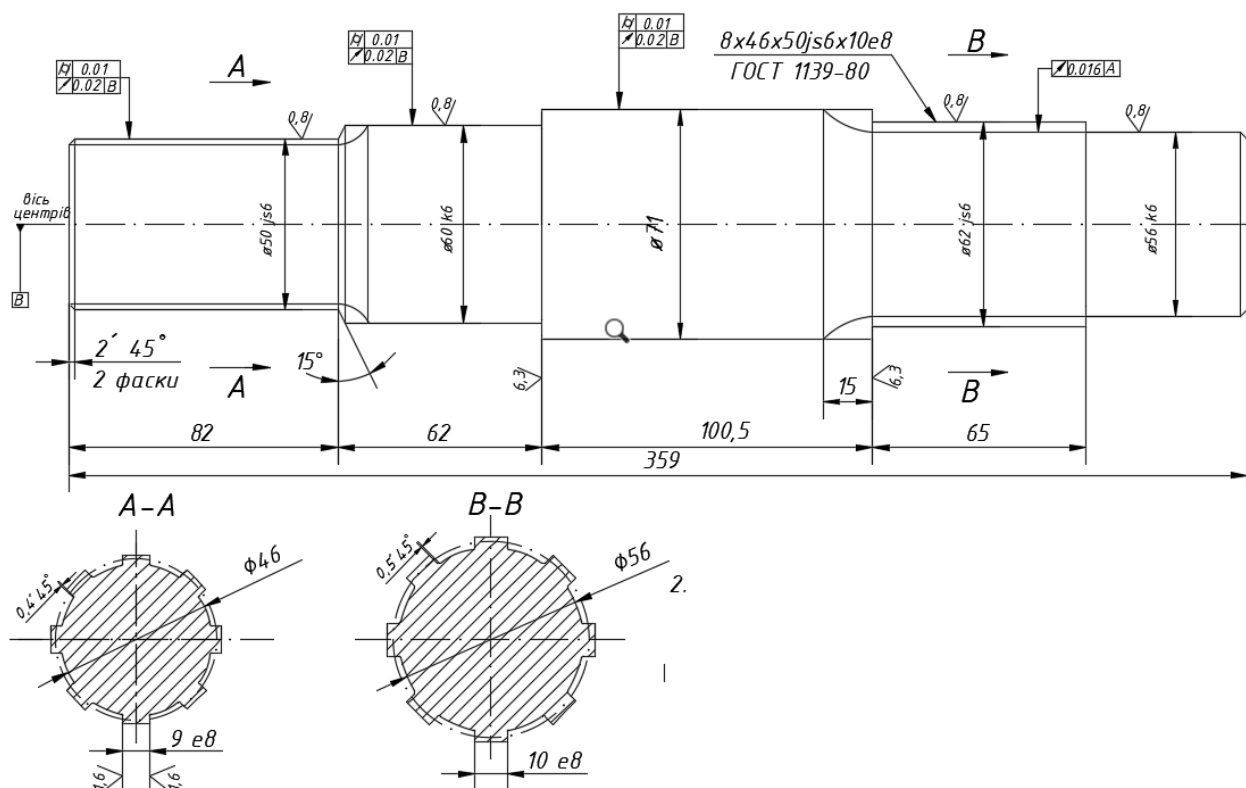


Рисунок 1.1 – Ескіз первинного вала

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термічна обробка даної деталі повинна забезпечити достатню зносостійкість поверхні з одночасно високими показниками ударної в'язкості.

Шліци первинного валу в процесі експлуатації машин піддаються:

- зносу бокових поверхонь шліців;
- згину шліців при прикладанні максимального крутного моменту, чи при зустрічі плуга з перешкодою, внаслідок чого може відбуватися руйнування в ніжці шліца;
- згину внаслідок знакозмінних циклічних навантажень, що може викликати втомне руйнування шліца в небезпечному перерізі в ніжці шліца;
- контактним напруженням на робочій поверхні в зоні зачеплення шліців, що може викликати розвиток піттингів.

Зношення і задирання робочих поверхонь шліців валів, в тому числі і первинного вала мінітрактора, та шліцьових шестерень, які пройшли хіміко-термічну обробку відбуваються рідко. Напруження в шліцах валах та шестернях сучасних мінітракторів досягають значень понад 500 МПа.

Для забезпечення довговічності да високих показників ресурсу первинного вала мінітракторів при високих напруженнях особливе значення посідає коректний підбір сталі та режиму термічної обробки. Вибираємо леговану сталь з наступною хіміко-термічною обробкою (ХТО).

Щоб взнати переважаючий тип напружень, що викликають руйнування первинних валів мінітракторів, здійснюємо аналіз типових руйнувань в експлуатації цих деталей. Помітно, що руйнування шліців у небезпечному перерізі відбувається як при невеликому числі циклів навантаження (можливе руйнування від одноразового перевантаження, коли плуг, наштовхнувшись на перешкоду, спигяє рух мінітрактора, при цьому вся енергія двигуна передається на кошик щеплення первинним валом). Також руйнування трапляються внаслідок втоми.

Рідше руйнуванню шліца передує поява на робочій поверхні піттингів, спричинених контактною втомою. Не поодиної випадки руйнування первинного

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

вала мінітракторів внаслідок порушення правильної роботи зачеплення чи не правильного складання вузла при ремонті.

Якщо глибина дифузійного шару для шліців даного розміру є надмірною, то значні залишкові напруження розтягу виникають в перехідній зоні між цементованим шаром і серцевиною, що призводить до руйнування тіла шліца.

При надмірній кількості вуглецю в структурі зростає кількість цементиту, матеріал окрихчується і може навіть сколюватись [2-5].

1.2. Вибір матеріалу для виготовлення первинного вала

Для виготовлення первинних валів мінітракторів доцільно використовувати леговані сталі, що забезпечують високу прогартовуваність, добру зносостійкість, високу надійність в заданих умовах навантажень.

Найбільш оптимальними для використання як матеріал первинного вала є сталі: 40Х – для деталей, що працюють в умовах зносу та динамічних навантажень; 30ХГСА – для деталей з підвищеною втомною міцністю; 38ХНЗМФА – у разі роботи при високих температурах і тривалих навантаженнях; 16ХМ або 20ХНЗА – для деталей зі шліцьовими та підшипниковими посадками (див. таблицю 1.1).

Найчастіше для первинного вала застосовують сталь 40Х — завдяки її гарному балансу між оброблюваністю та міцнісними характеристиками. Оскільки вона має не достатню ударну в'язкість. Також її поверхню не піддають цементації. Для первинного вала, її не застосовуємо.

Найкращими властивостями володіє сталь 20ХНЗА. Вона характеризується високою зносостійкістю після цементації, але вона досить високовартісна через наявність нікелю. Через це її також не застосовуємо.

Сталь 20ХГ добре гартується та має достатню зносостійкість, але чутлива до перегріву. З цієї причини її також не застосовуємо.

20ХГС є найкращим замінником сталі 20ХНЗА і не містить нікелю.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Оскільки дану сталь зараз в Україні вже не випускають, використовуємо її аналог – сталь 20CrMn.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця матеріалів для первинного вала

№	Марка сталі	Хімічний склад (основні елементи)	Гартівність	Цементация	Межа міцності, МПа	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5	6	7	8
1	20ХНЗА (базова)	C=0.18–0.24%, Cr=0.9–1.2%, Ni=2.75–3.15%, Mn=0.5–0.8%	Висока	Так	до 980	Висока зносостійкість після цементации	Висока вартість
2	20Х	C=0.17–0.24%, Cr=0.8–1.1%	Середня	Так	до 780	Дешева, придатна до цементации	Менша зносостійкість
3	20ХГ	C=0.17–0.24%, Cr=0.7–1.0%, Mn=0.7–1.0%	Середня	Так	до 850	Добра гартівність і зносостійкість	Чутлива до перегріву
4	20ХГС	C=0.17–0.25%, Cr=0.8–1.1%, Mn=0.7–1.0%, Si=0.2–0.4%	Середня	Так	до 900	Краща оброблюваність	Дорожча за 20Х
5	20CrMn	C=0.17–0.23%, Cr=0.9–1.2%, Mn=0.9–1.2%, Si=0.17–0.37%	Середня	Так	до 930	Краща оброблюваність	Дорожча за 20ХГС
6	20ХГР	C=0.17–0.25%, Cr=0.7–1.0%, Mn=0.7–1.0%, В	Висока	Так	до 950	Добра цементация, стабільна структура	Менша стійкість до навантажень ударного типу

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8
7	40X	C=0.36–0.44%, Cr=0.8–1.1%	Висока	Ні	до 1080	Висока міцність і твердість	Не цементується
8	15X	C=0.12–0.18%, Cr=0.9–1.2%	Середня	Так	до 700	Дешева, піддається цементації	Менш зносостійка
9	18ХГТ	C=0.17–0.24%, Cr=1.0–1.3%, Mn=0.7–1.0%, Ti	Висока	Так	до 1000	Висока стабільність структури	Дорога
10	38ХНЗМФА	C=0.34–0.42%, Ni=2.8–3.3%, Cr=0.9–1.2%, Mo=0.15–0.25%, V	Висока	Ні	до 1200	Дуже міцна, для важконавантажених вузлів	Надмірно дорога
11	20ХН	C=0.18–0.24%, Cr=0.9–1.2%, Ni=0.8–1.1%	Середня	Так	до 950	Проміжний варіант між 20Х та 20ХНЗА	Менш стабільні характеристики

1.3. Мета кваліфікаційної роботи

Метою кваліфікаційної роботи є автоматизація термічної обробки первинного вала мінітрактора

Завдання, які необхідно виконати:

- визначити основні експлуатаційні умови роботи первинного вала;
- обґрунтувати вибір сталі 20CrMn для виготовлення вала;
- вивчити вплив режимів термічної обробки на мікроструктуру матеріалу;
- надати рекомендації щодо оптимальних режимів обробки;

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

– розробити алгоритм автоматизації процесу термообробки з використанням ПЛК Siemens;

– вжити заходів з охорони праці;

– зробити загальні висновки.

Об'єктом дослідження є первинний вал трансмісії мінітрактора.

Предметом дослідження є вплив режимів термічної обробки на мікроструктуру та механічні властивості сталі 20CrMn в умовах автоматизованого теплового процесу.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розробка параметрів технологічного процесу виготовлення первинного вала

2.1.1. Обґрунтування технологічного процесу виготовлення первинного вала

Для обробки вала первинного (рисунок 1.1) із сталі 20CrMn враховуючи вимоги щодо товщини цементаційного шару 1,2...1,5 мм, твердості поверхні 58...63 HRC, твердості серцевини 34...45HRC) призначаємо цементацію з безпосереднім загартуванням після передгартувального охолодження і наступний низький відпуск.

Для проведення цементації застосовуємо в якості карбюризатора синтин, суміш вуглеводнів парафінового ряду. Його застосування призводить до того, що швидкість насичення зростає на 15...20 % в порівнянні з традиційним гасом. Досить важливо є й те, що на 50 % скорочується утворення твердих нальотів, які з'являються на поверхні оброблених деталей.

Синтин містить мало сірки і майже не спричиняє появи кіптяви та сажі, внаслідок чого покращується адгезія вуглецю до поверхні.

Після проведення процесу цементації відбувається загартування. Загартування проводимо в гартувальному баці. Після гартування деталі необхідно промити від охолоджуючої рідини. миття заготовок, потім низький відпуск при температурі (180...200)°C.

При оптимальних умовах насичення ділянок шліців первинного вала структура цементованого прошарку містить дрібноголковий мартенсит, не багато дрібних однаково розподілених карбідів. В структурі сталі після гартування допускається до 6...8% залишкового аустеніту.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Твердість поверхні шліців становить 58-63HRC, максимальні показники міцності досягаються при оптимальній для даної сталі наявності вуглецю на поверхні цементованого прошарку (рисунок 2.1).

При оптимальному вмісті вуглецю в насиченому вуглецем шарі в мікроструктурі з'являється тростит.

Для надання необхідних властивостей цементовані вироби після нагріву і витримки охолоджуємо для зменшення внутрішніх напружень (передгартувальне охолодження) від температури цементації (870 °C) до температури проведення гартування (850 °C) з наступним проведенням низького відпуску (180...200 °C).

Низький відпуск первинного вала проводимо для зняття внутрішніх напружень при збереженні високої твердості шліцевої частини валів.

Ці обробки (загартування та відпуск) необхідні для виправлення структури, для одержання високої твердості прошарку і гарних механічних властивостей серцевини, зняття внутрішніх напружень в прошарку.

2.1.2. Опис обраного технологічного процесу термічної обробки

Основний технологічний процес – це цементація, яка полягає насиченні поверхні шліцевих ділянок вала вуглецем у газовому середовищі з високим вмістом вуглецевмісних речовин при температурі, що на 30...50 °C вище точки A_{c3} .

Внаслідок охолодження з швидкістю вище критичної в структурі відбувається мартенситне перетворення

На швидкість цементації впливає кладу карбюризатора, температури цементації, тривалість витримки в насичуючій атмосфері та загальна тривалість теплової дії.

Ендогаз керує кількістю вуглецю в поверхневому шарі. Така атмосфера регулюється вмістом водяного пару.

Синтин - зручний для регулювання карбюризатор, який містить вуглеводнівпарафінового ряду, а для автоматичного підтримання параметрів

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

атмосфери використовуємо ендогаз $80\text{см}^3/\text{год.в}$ та синтин $130...150$ капель/хв.

Залежність глибини цементованого шару від тривалості витримки в газоподібному карбюризаторі наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Залежність глибини цементованого шару від технологічних параметрів процесу хіміко-термічної обробки

Повна глибина цементованого шару, мм	Тривалість витримки при цементації, год ($T=900^{\circ}\text{C}$).		
	піробензол	гас освітлювальний	синтин
0,4...0,7	3...4	3...4	2,5...3
0,7...1,0	4...6	5...7	3...4
1,0...1,3	6...8	7...9	5...6
1,3...1,6	8...10	9...11	6...8

Активні атоми вуглецю осідають на поверхню розігрітої заготовки та адсорбуються нею, після чого починають проникати (дифундувати) у глиб металу. Вміст вуглецю в цій області сталі зростає, що спричиняє утворення твердого розчину проникнення та появи цементиту.

Кількість циклів навантаження шліців первинного вала, які передують втомному руйнуванню у відношенні до товщини цементованого шару наведено на рисунку.2.2 [14].

Графіки показують, що оптимальне насичення поверхні первинного вала зі сталі 20CrMn вуглецем знаходиться в межах $0,95-1,20$ мм, що підтверджується даними [15] про те, що для хромомарганцевих сталей оптимальна товщина цементованого шару на $15...25\%$ менша, ніж для сталі 1 - 20ХН2М.

Другим чинником який впливає на склад і властивості є температура.

Оптимальною температурою для цементації сталі 20ХН2М з точки зору швидкості процесу є температура $900...930$ °С, а з точки зору збереження дрібного зерна – $860...870$ °С. Подальше зниження температури веде до різкого зниження швидкості дифузії вуглецю вглиб матеріалу, зниження концентрації

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

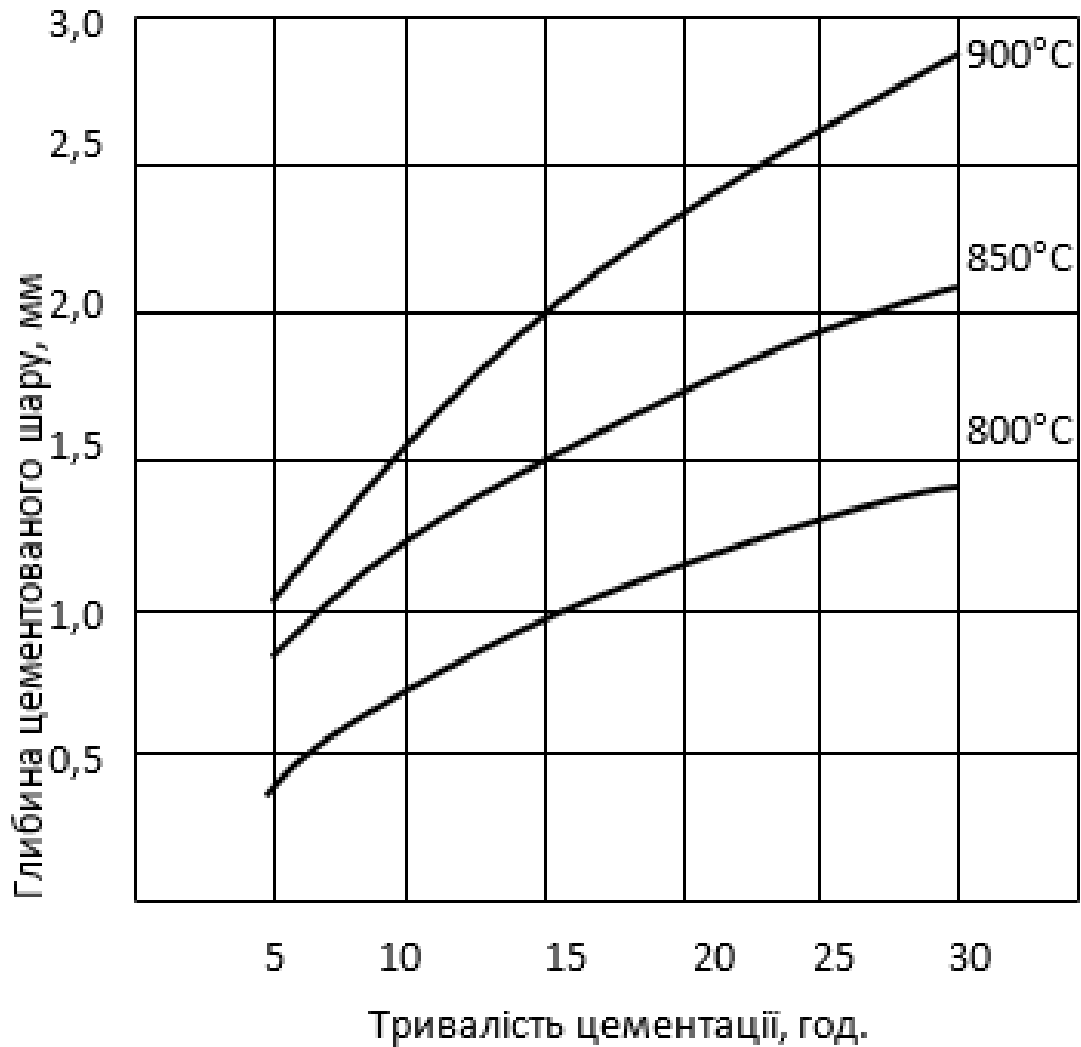


Рисунок 2.3 – Графік залежності глибини прошарку від температури та тривалості процесу науглецьовування.

Цементацию при використанні синтину для забезпечення шару товщиною 0,95...1,2 мм проводимо до 6 годин.

Приймаємо тривалість цементациї рівною 7 годин (в т.ч. нагрів в науглецьовуючому середовищі – 1 год.). Згідно рекомендацій для застосування синтину цементация проходить при температурі від 850...870°C.

Приймаємо ступінчасту температуру цементациї. На першій стадії, яка триває на протязі 1 год. з моменту після завершення прогрівання садки, температура в печі складає 920 з ростом до 940°C. Це робиться для того, щоб максимально залучити вуглець до свіжої накрітої поверхні металу з наступним

дифундуванням, Це забезпечує підвищений вміст вуглецю. При наступній зниженій темепратці надлишковий вуглець проникає в глибші хари металу. Температуру цементації приймаємо рівною 880°C. Така температура створює сприятливі умови для цементації в газовому карбюридизаторі і не спричиняє значного росту зерна.

Цементацію проводимо в шахтній печі.

Після цементації деталі охолоджуємо в гартувальному баку.

У результаті загартування підвищується міцність та твердість, пластичність зменшується.

На процес перетворень структури при гартуванні впливають температура і час нагрівання, час витримки, температура витримки, швидкості охолодження.

Сталь 20CrMn підлягає повному загартуванню. Нагріваємо її до переходу в аустеніт вище критичної точки A_{c3} .

$$T_{гарт}^{20ХН2М} = A_{c3} + (30...50) = 820 + 30...50 = 850...870^{\circ}C.$$

Приймаємо температуру гартування рівною 850 °C [10]. Даної температури достатньо для збереження легованого аустеніту. Оскільки цементація відбувається при температурі 870°C, а гартування відбувається з температури 850 °C, то необхідно шліцевий первинний вал перед загартуванням охолодити до температури 850 °C.

Таке охолодження забезпечується самовільним охолодженням кошика заготовок при перенесенні їх з шахтної печі до гартувального.

Визначимо критичну швидкість загартування первинного вала за формулою:

$$V_{кр} = \frac{T_{заг} - T_{min}}{1.5 \cdot \tau_{min}}, \text{ градус/сек.}$$

$$T_{min} = 490^{\circ}C;$$

$$\tau_{min} = 5,5 \text{сек.}$$

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$V_{кр} = \frac{850 - 490}{1,5 \cdot 5,5} = 43,6 \text{ град/сек.}$$

Для такої швидкості охолодження підходить олива.

Вибираємо оливу індустріальну И-20А для гартування первинного вала. Швидкість охолодження для перлітного перетворення становить 150 гр/сек. Швидкість охолодження для температур мартенситного перетворення складає 60 °С/сек.

Після загартування в оливі на поверхні первинного вала знаходиться певна кількість оливи, яку видаляємо промиванням.

Промивання первинних валів після гартування не лише видаляє окалину, і бруду, але і оливи після загартування.

Наступна термічна операція – низький відпуск, температура якого рівна 180...200 °С.

Для зменшення внутрішніх напружень проводимо назький відпуск шлицевого первинного вала – термічний процес який полягає, у нагріванні загартованої сталі до температури нижче лінії PSK, витримці при заданій температурі з наступним повільним охолодженням.

Низькотемпературний відпуск первинного вала зі сталі 20CrMn проводимо при температурі 180...200 °С.

Метою низькотемпературного відпуску первинного вала є зменшення внутрішніх напружень, що виникають в структурі вала внаслідок загартування.

Відпуск проводиться у шахтній відпускній протягом 2 год.

Після хіміко-термічної обробки деталі піддаються зміцненню.

2.2. Укладання технологічного процесу.

На основі встановлених параметрів укладаємо технологічний процес термічної обробки первинного вала.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1. Вхідний контроль продукції. Проводимо для встановлення відповідності хімічного складу та механічних властивостей матеріалу. Визначається в стані постачання. Встановлюємо розподіл карбідної фази, розмір зерна. Визначаємо міцнісні характеристики.
2. Порізка матеріалу на заготовки під штампування.
3. Механічна обробка.
4. Нормалізація. Контроль температури $t=950^{\circ}\text{C}$ і твердості $\leq 217 \text{ НВ}$.
5. Механічна обробка.
6. Хіміко-термічна обробка.

Цементация з безпосереднім загартуванням після попереднім охолодженням шліцьового первинного вала і низький відпуск.

Контроль атмосфери та температури. Цементация: перший етап $t=920$ з переходом до 940°C , $\tau=1$ год.; другий етап – $t=870^{\circ}\text{C}$, $\tau=5,5$ год.; температура загартування $t=850^{\circ}\text{C}$. Охолодження при загартуванні – в оливі. При виборі охолоджувального середовища необхідно виходити з критичної швидкості охолодження.

7. Мийка. Ця операція провадиться для очищення деталей від оливи, бруду й окалини.
8. Низькотемпературний відпуск. Призначений для зняття внутрішніх напружень після загартування. Виходячи з цього, час витримки складає 2 години при температурі рівній 200°C .
9. Механічна обробка.
10. Складання вузла.

Опис технологічної карти термічної обробки первинного вала

Технологічна карта виготовлення первинного вала є частиною маршрутної технології (рисунок 2.4). Технологічна карта – основний документ термічної дільниці, у якому зазначений маршрут пересування деталей по дільниці.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Вал подається на термічну ділянку з механічного цеху в контейнерах із супровідними документами (із сертифікатами, пресами на деталях) за допомогою електронавантажувача.

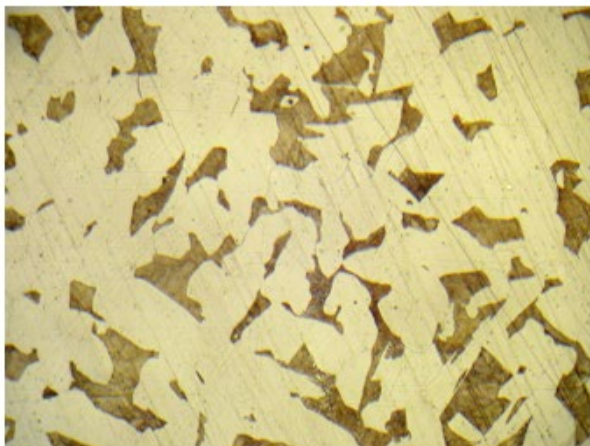
Вхідний контроль	T1	Хімічний аналіз, твердість, наявність шлаків і включень
	↓	
Різання заготовок	T2	
	↓	
Штамповка	T3	Температура штамповки, $t_{\text{г}}=1220^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{х}}=850^{\circ}\text{C}$, геометрія розмірів
	↓	
Нормалізація	T4	Температура нормалізації 950°C
	↓	
Механічна обробка	T5	Геометрія розмірів
	↓	
Хіміко-термічна обробка, підстижування гартування	T6	Температура нагріву, час витримки; склад атмосфери; швидкість охолодження
	↓	
Мийка	T7	Склад середовища, температура
	↓	
Відпуск	T8	Температура відпуску; час відпуску
	↓	
Механічна обробка	T9	Геометрія розмірів
	↓	
Збір вузла	T10	

Рисунок 2.4 – Технологічна карта ХТО первинного вала мінітрактора

Деталі після механічної обробки деталі промивають в 4...6 % розчині соди. Потім їх транспортують на тимчасовий склад до шахтної печі і за потреби завантажуються на підвіски кошика.

В печі первинні вали нагрівають до температури 920 °С з повільним ростом до 940 °С впродовж 1 години, тоді температуру первинних валів зменшують до 870°С і витримують протягом 5,5 годин. Нагрів ведеться в середовищі захисного газу. Склад газу: $CO - 17...21\%$, $H_2...42 - 46\%$, $N_2...27 - 39\%$, $CH_4...2 - 6\%$. Потім первинні вали переміщуються до гартувального бака, витримуються близько 10 с для зменшення температури до $t=850^\circ C$. Далі відбувається гартування і охолоджуються до температури 30...40°С. В якості охолоджуючого середовища використовуємо індустриальну олива И-20А.

Такий режим ХТО забезпечує необхідні мікроструктуру приповерхневого шару (рисунок 2.5)



а



б

Рисунок 2.5 – Мікроструктура приповерхневого шару сталі 20CrMn у стані поставки (а) та після оптимального режиму ХТО (б), х400

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Вибір типу печі для ХТО первинного вала

Для проведення нагріву для проведення цементації під гартування використовуємо шахтну піч, конструкція якої наведена на рисунку 3.1. Піч складається зі склепіння 1, крики запірної 2, муфеля для нагріву та утримання захисної атмосфери 3, захисту склепіння 4, стінок печі 5, термомпери верхньої 6, термомпери нижньої 7, нагрівників 8.

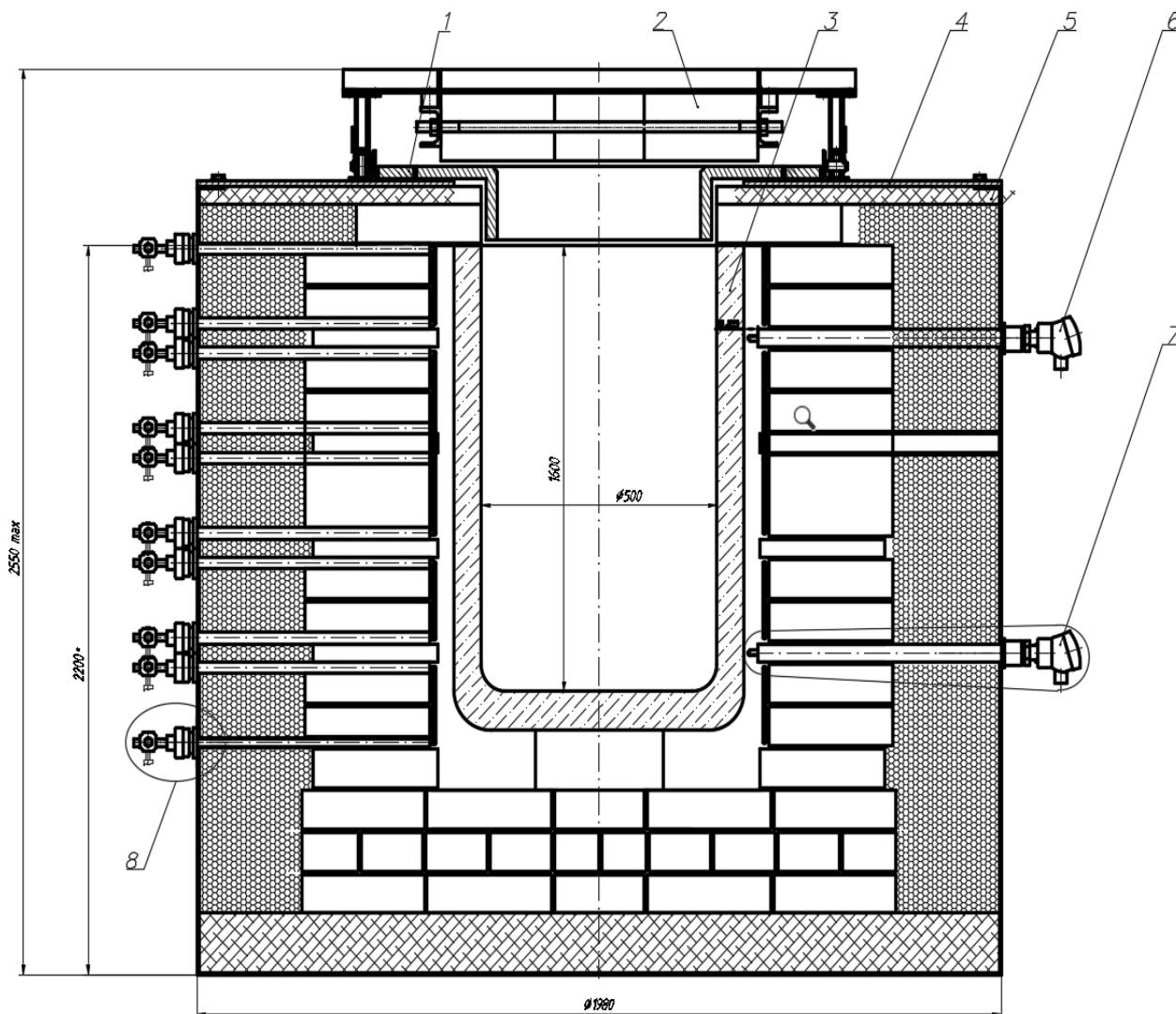


Рисунок 3.1 – Піч шахтна

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунок індукційного нагрівача

Розрахуємо нагрівач індукційний. Матеріал, який нагрівають – сталь 20CrMn, що призначений для нагріву циліндричних заготовок до температури – 900 °С для гартування. Матеріал заготовок – сталь, що містить 0,4 % С. Розмір шліцевих ділянок вала 56 і 50 мм. Продуктивність $\Pi = 600$ заготовок за годину.

Основний розрахунок індуктора для нагріву первинного вала проводимо по більшому діаметру – шліцева частина зовнішнім діаметром 56 мм.

Вибір типу генератора. Частота струму f і орієнтоване значення потужності P_z :

$$f = \frac{5030^2 \vartheta}{\mu_r \delta^2} = \frac{5030^2 \cdot 1,18 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 1,25} = 2400 \text{ Гц},$$

де $\vartheta = 1,18 \cdot 10^{-4}$ Ом · см для температури 900 °С;

δ – знаходиться із відношення:

$$\delta = D_s / 4 \div 10 \approx \frac{5,6}{5} = 1,12 \text{ см};$$

приймаємо $\mu = 1$.

Орієнтовано потужність генератора:

$$P'_z = WG = 0,4 \cdot 749 \approx 300 \text{ кВт},$$

де $W \approx 0,4 \frac{\text{кВт} \times \text{год}}{\text{кг}},$

а

$$G = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot \ell_s \cdot \gamma \cdot \Pi = \frac{3,14 \cdot 31,36 \cdot 6,5 \cdot 7,8 \cdot 600}{4} = 749 \text{ кг} \cdot \text{год}.$$

За f і P'_z вибираємо генератор типу ПВ-100/ /8000-IV . Для нього $U = 750 \text{ В}$ і частотою 8000 Гц. $P=100$ кВт.

Визначення розмірів індуктора. Внутрішній діаметр спіралі індуктора:

$$D = D_s + 6,0 = 5,6 + 6,0 = 11,6 \text{ см}.$$

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина індуктора в нагрівачі визначається по формулі:

$$\ell_u = n \cdot l_3 = 1 \cdot 26,0 + 5,8 = 31,8 \text{ см},$$

де

$$n = \frac{t_u}{t_k} = \frac{6}{6} = 1,$$

$$t_k = 6 \text{ с};$$

$$\Delta \ell = 0,5 \cdot D_{u_{\min}} = 0,5 \cdot 11,6 = 5,8 \text{ см.}$$

Розрахунок числа витків індуктора

Для визначення z' розраховуються значення $R'_1, X'_1, R'_2, X'_2, R'_3, X'_3$.

Значення активного опору індуктора:

$$R'_1 = \partial_1 \frac{\pi \cdot D_{u_{\min}}}{\ell_u \cdot \delta_1} = \frac{1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14 \cdot 11,6}{31,8 \cdot 0,1} = 22,76 \cdot 10^{-6} \Omega,$$

де: ∂_1 – залишковий електричний опір міді, рівний $1,9 \cdot 10^{-6} \Omega \text{ см}$;

$$D_{u_{\min}} = 11,6 \text{ см}; \ell_u = 31,8 \text{ см. і}$$

$$\delta_1 = 5030 \sqrt{\frac{\partial_1}{\mu \cdot f}} = 5030 \sqrt{\frac{1,9 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 8000}} = 0,1 \text{ см.}$$

Значення реактивного опору:

$$X'_1 = 6,2 \cdot 10^{-8} f \frac{D_{u_{\min}}^2}{\ell_u} k_1 = 6,2 \cdot 10^{-8} \cdot 8000 \cdot \frac{11,6^2}{31,8} \cdot 0,86 = 1888 \cdot 10^{-6} \Omega,$$

де

$$k_1 \neq 1, \text{ так як } \frac{\ell_u}{D_{u_{\min}}} < 5.$$

$$k_1 = 0,97 - 0,29 \frac{D_{u_{\min}}}{\ell_u};$$

$$k_2 = 0,97 - 0,29 \frac{D_3}{\ell_3};$$

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta = k_m^2 \frac{1 + A^2}{k_2^2 + A^2};$$

$$k_1 = 0,97 - 0,29 \frac{11,6}{31,8} = 0,86.$$

Значення активного опору індуктора:

$$\begin{aligned} R'_2 &= 6,2 \cdot 10^{-8} f \frac{D_3^2}{n \ell_3} A \beta = 6,2 \cdot 10^{-8} \cdot 8000 \cdot \frac{31,36}{1 \cdot 26} \cdot 0,32 \cdot 0,28 = \\ &= 107,2 \cdot 10^{-6} \Omega, \end{aligned}$$

де

$$D_3 = 5,6 \text{ см}; n = 1, \ell_3 = 26,0 \text{ см};$$

$$\beta_1 = 0,4 \cdot \frac{1 + 0,32^2}{0,72^2 + 0,32^2} = 0,284 \text{ (так як } \frac{\ell_u}{D_{u_{\min}}} < 5);$$

А приймаємо 0,32 при:

$$P = \frac{\sqrt{2} \cdot D_3}{2 \delta_2} = \frac{\sqrt{2} \cdot 5,6}{2 \cdot 1,12} = 3,5.$$

Значення реактивного опору індуктора:

$$\begin{aligned} X'_2 &= 6,2 \cdot 10^{-8} f \frac{D_3^2}{n \cdot \ell_3} \cdot (1 - B) \cdot \beta \cdot k_2 = 6,2 \cdot 10^{-8} \cdot 8000 * \\ &* \frac{31,36}{1 \cdot 26} \cdot (1 - 0,41) \cdot 0,28 \cdot 0,72 = 142 \cdot 10^{-6} \Omega, \end{aligned}$$

де B = 0,41;

$$k_2 = 0,97 - 0,29 \frac{5,6}{26} = 0,72.$$

Значення еквівалентного активного і реактивного опорів:

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R'_3 = R'_1 + R'_2 = 22,76 \cdot 10^{-6} + 107,2 \cdot 10^{-6} = 129,96 \cdot 10^{-6} \Omega;$$

$$X'_3 = X'_1 + X'_2 = 1888 \cdot 10^{-6} - 142 \cdot 10^{-6} = 1746 \cdot 10^{-6} \Omega.$$

Повний опір індуктора:

$$Z' = \sqrt{(R'_3)^2 + (X'_3)^2} = \sqrt{(129,96 \cdot 10^{-6})^2 + (1746 \cdot 10^{-6})^2} = 1752 \cdot 10^{-6} \Omega.$$

Значення корисної потужності:

$$P'_3 = \frac{C(T_k - T_n)Gn}{0,24 \cdot t_n} = \frac{0,165 \cdot 880 \cdot 1,248 \cdot 1}{0,24 \cdot 6} = 251,7 \text{ кВт},$$

де $C = 0,165$ ккал/кг \cdot $^{\circ}\text{C}$;

$$T_k = 900 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_n = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}, G = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \ell_3 \gamma = 1,248 \text{ кг}; n = 1, t_n = 6 \text{ с}.$$

Значення електричного ККД:

$$\eta_3 = \frac{R'_2}{R'_3} = \frac{107,2 \cdot 10^{-6}}{129,96 \cdot 10^{-6}} = 0,82.$$

Значення електричної потужності:

$$P_{\phi} = \frac{2\pi \ell_{\phi} \lambda}{860 \ln \frac{D_{\phi_1}}{D_{\phi_2}}} (T_2 - T_1) = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,30 \cdot 1 \cdot 840}{860 \cdot \ln \frac{11,6}{5,6}} = 2,528 \text{ кВт},$$

де

$$\ell_{\phi} = \ell_{u1} = 0,30 \text{ м};$$

$$\lambda = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^{\circ}\text{C}},$$

$$D_{\phi_1} = 11,6 \text{ см};$$

$$D_{\phi_2} = 5,6 \text{ см};$$

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_1 = 900 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Величина термічного ККД індуктора:

$$\eta_m = \frac{P'_3}{P'_3 + P_\phi} = \frac{251,7}{251,7 + 2,528} = 0,99.$$

Електрична потужність індуктора:

$$P_u = \frac{P'_3}{\eta_\varepsilon \eta_m} = \frac{251,7}{0,82 \cdot 0,99} = 310,05 \text{ кВт}.$$

Уточнюємо тип генератора.

Потужність індуктора $P_u = 310$ кВт. Замість генератора ПВ-100/8000-IV потужністю 100 кВт вибираємо генератор ВГО 500/2500 потужністю 500 кВт. Частота струму і напруга генератора ВГО 500/2500 відповідно 2500 Гц і 1500 В.

За z' , P'_3 і P_u обчислюємо число витків індуктора

$$\omega = \frac{U}{z'} \sqrt{\frac{R'_3}{P_u}} = \frac{1500}{1752 \cdot 10^{-6}} \sqrt{\frac{129,96 \cdot 10^{-6}}{310,05 \cdot 10^3}} \approx 18 \text{ витків}.$$

Ширина трубки індуктора:

$$a = \frac{\ell_u k_3}{\omega + 1} = \frac{30,4 \cdot 0,85}{18 + 1} = 1,36 \text{ см};$$

$$k_3 = 0,8 \div 0,9; k_3 = 0,85.$$

Товщина стінки мідної трубки індуктора:

$$\delta = 1,35 \cdot \delta_1 = 1,35 \cdot 1,0 = 1,35 \text{ мм}.$$

Площина отвору трубки:

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$S = \frac{P_u (1 - \eta_{\text{э}} \eta_m)}{4,18 \cdot V_{\text{с}} (T_1 - T_0)} = \frac{3,1 \cdot 10^5 (1 - 0,81)}{4,18 \cdot 1,25 \cdot 40} = 281,8 \text{ мм}^2,$$

де

$$P_u = 3,1 \cdot 10^5 \text{ Вт};$$

$$\eta_{\text{э}} = 0,82;$$

$$\eta_m = 0,99;$$

$V_{\text{с}} = 1,25 \text{ м/с}$ (охолодження - вода з водопровідної мережі). Температура охолоджувальної води $T_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Висота трубки індуктора визначається з виразу:

$$h = \frac{S}{a - 2b} + 2b = \frac{281,8}{13,6 - 2 \cdot 1,35} + 2 \cdot 1,35 = 28,55 \text{ мм.}$$

$h \geq 1,5 \div 2a$, тому потрібно декілька гілок охолодження.

Приймаємо $h = 20 \text{ мм}$.

Перевірка використання мідної трубки з $a = 13,6 \text{ мм}$:

$$i = \frac{I_u}{a \cdot \delta_1} = \frac{2631,6}{13,6 \cdot 1,0} = 193,5 \text{ а/мм}^2 \geq 150 \text{ а/мм}^2,$$

де

$$I_u = \frac{U}{\omega^2 z'} = \frac{1500}{18^2 \cdot 1752 \cdot 10^{-6}} = 2631,6 \text{ А.}$$

Так як $i \geq 150 \text{ а/мм}^2$, то систему водяного охолодження не розробляємо.

Реактивна потужність конденсаторної батареї. Реактивна потужність конденсаторної батареї визначається із виразу:

$$P_c = \frac{P_u}{\cos \varphi} = \frac{310,05}{0,074} = 4189,86 \text{ квар,}$$

де

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\cos \varphi = \frac{R'_3}{z'} = \frac{129,96 \cdot 10^{-6}}{1752 \cdot 10^{-6}} = 0,074.$$

Вибираємо конденсатори типу ПМВ-1,5-2. Реактивна потужність в одній банці $P_{c1} = 84$ квар.

Необхідна кількість конденсаторів:

$$n = \frac{P_c}{P_{c1}} = \frac{4189,86}{84} = 49,9 \approx 50 \text{ шт.}$$

Таким чином для нагріву заготовки діаметром 56 мм застосовуємо: тип генератора ВГО 500/2500. Розраховано:

- кількість машинних генераторів - 1 шт.;
- кількість індукторів - 1 шт.;
- розмір внутрішнього діаметра індуктора 116 мм;
- довжина індуктора - 304 мм;
- кількість витків індуктора - 18 шт.;
- товщина стінки спіралі 1,35 мм;
- висота спіралі індуктора 20 мм;
- тип конденсатора ПМВ-1,5-2;
- кількість конденсаторів в батареї 50 шт.

3.3 Розробка конструкції бака гартувального

Гартувальний бак – це конструкція, призначена для швидкого охолодження нагрітих металевих деталей з метою фіксації заданої мікроструктури та досягнення необхідної твердості (рисунок 3.2).

Основні конструктивні елементи гартувального бака:

- корпус бака. Це металевий резервуар (зазвичай із вуглецевої або нержавіючої сталі) товщиною 4...10 мм. Має антикорозійне покриття або викладений із вогнетривкої цегли. Приймаємо антикорозійне покриття;

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

– теплоізоляція. Зовнішня частина бака зазвичай покривається шаром теплоізоляційного матеріалу (мінеральна вата, вермикуліт), щоб зменшити тепловтрати. Приймаємо вермикуліт;

– робоча рідина. У баку міститься середовище для гартування – олива И-20;

– змішувальна система (циркуляційна) Для рівномірного охолодження деталі передбачено мішалки, насоси, поворотні форсунки або барботери, які рухають рідину;

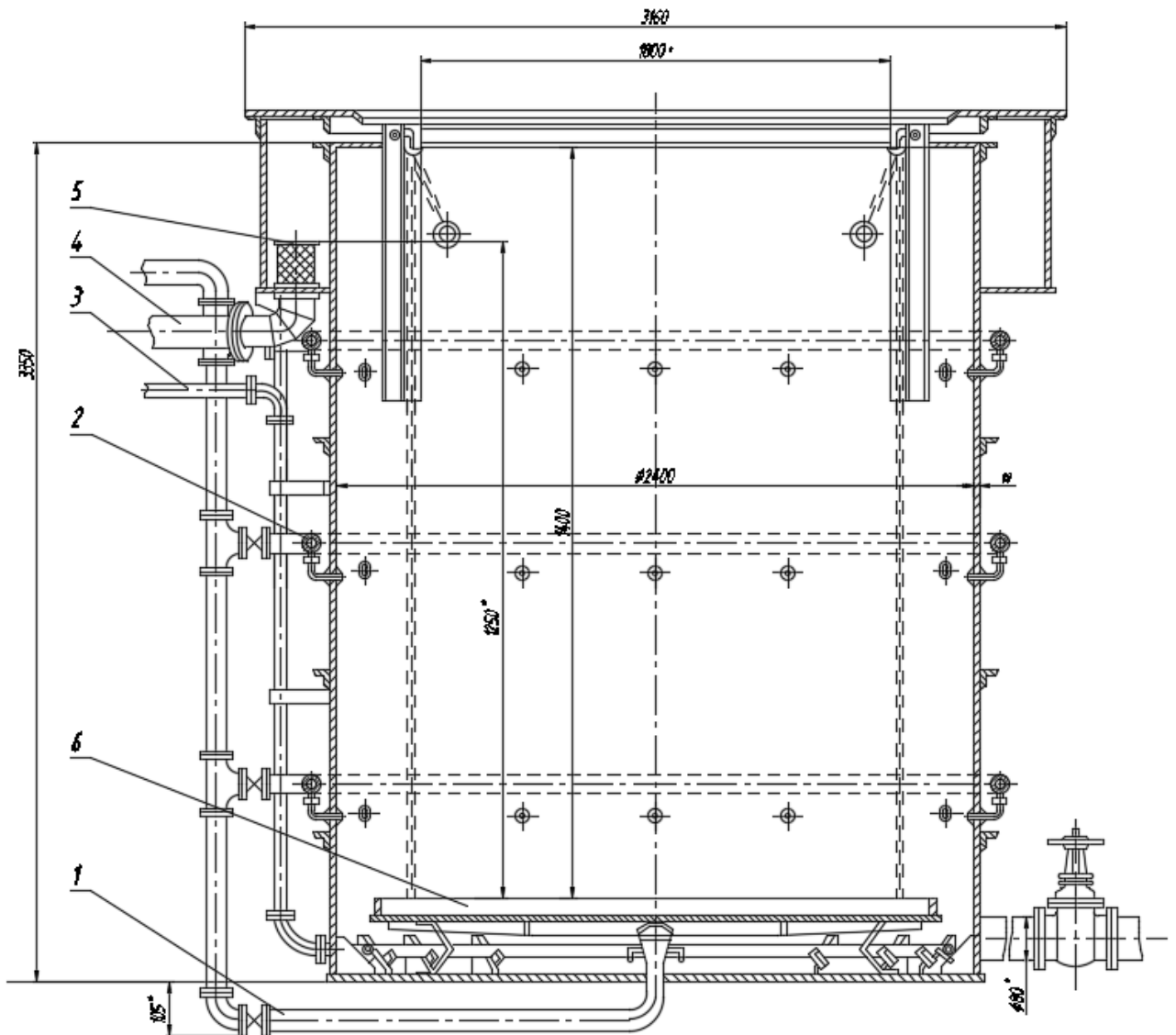


Рисунок 3.2 – Будова бака гартувального:

1 – система подачі холодної охолоджувальної рідини;

2 – форсунки циркуляційні;

										Арк.
										31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 2511.00.00.000 ПЗ					

- 3 – змішувальна система;
- 4 – зливна система видалення гарячої охолоджувальної рідини;
- 5 – фільтр грубої очистки;
- 6 – завантажувально-вивантажувальна система.

– нагрівач (опціонально). У деяких баках є електронагрівачі або трубчасті теплообмінники, щоб підтримувати температуру масла на рівні 40–50 °С (для стабільності властивостей);

– система контролю температури. Обладнана термодатчиками, PID-контролерами, регуляторами, які автоматично підтримують задану температуру;

– система охолодження. Деякі баки мають сорочки з холодною водою або змійовики, що забезпечують охолодження рідини після циклу гартування;

– сітчастий кошик або кран. Для занурення та витягання деталей – ручне або автоматизоване обладнання: крани, лебідки, пневматичні системи;

– витяжна вентиляція. При використанні олив обов'язкове встановлення вентиляції для усунення парів олив, що може бути вибухонебезпечним;

– система безпеки. Контроль температури, рівня рідини, датчики перегріву, захист від переливу, аварійне вимкнення.

Матеріал корпусу бака: сталь 09Г2С, покриття емаллю.

Бак гартувальний укомплектовано системою автоматизації на базі SIMATIC S7-1200/1500.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 4

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1. Принцип роботи PID контролера

Пропорційний контролер є одним із трьох поширених PID-контролерів: пропорційного контролера, пропорційно-інтегрального та пропорційно-інтегрально-диференціального. Розглянемо принцип роботи PID контролера, призначеного для підтримки рівня охолоджуючої рідини в гартувальному баці як більш простого випадку. Пропорційний контролер може довести рівень рідини всередині резервуара до опорного рівня. Перевіримо, чи може контролер підтримувати рівень рідини на опорному рівні, коли випускний клапан відкритий. Якщо випускний клапан відкритий, рівень рідини починає падати, а потім контролер намагається довести рівень рідини до опорного значення. Виконання цього моделювання показує, що рівень рідини буде фіксованим на рівні 90 сантиметрів, хоча пропорційний контролер не мав коливань, але поточний рівень відрізняється від заданого приблизно на 20 сантиметрів. Чому і як можна вирішити цю проблему? Розглянемо пропорційний регулятор (рисунок 4.1).

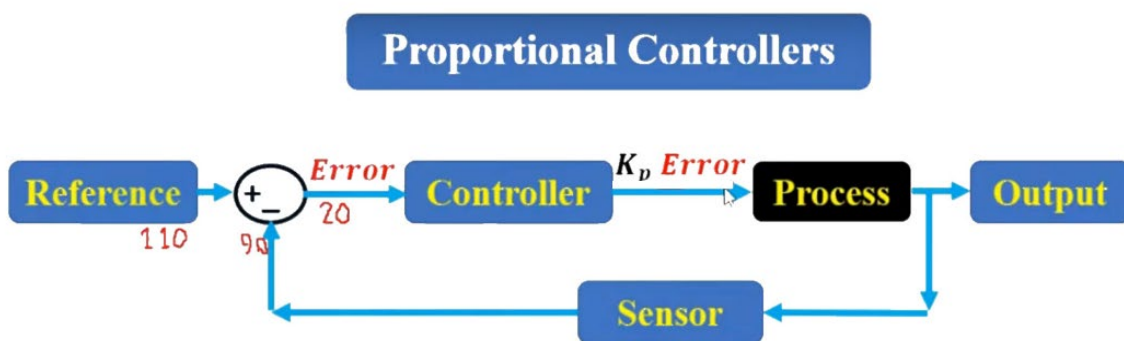


Рисунок 4.1 – Схема роботи пропорційного контролера

Розглянемо слабе місце пропорційного контролера.

Опорне значення становило 110 сантиметрів у сталому стані, рівень рідини залишався на рівні 90 сантиметрів, тому, коли система досягла стаціонарного

стану, похибка дорівнювала 20 сантиметрам. Виходячи з цієї похибки, контролер подає напруження на вхідний клапан для відкриття, і зрештою рівень рідини залишався постійним на рівні 90 сантиметрів, незважаючи на те, що вихідний клапан був відкритий. Тепер встановимо, чому похибка не може дорівнювати нулю. Нехай вона дорівнює нулю, тоді вихід контролера буде нульовим, а потім заповнювальний клапан буде закритий. Цей стан знижує рівень рідини, оскільки випускний клапан відкритий. Отже опорне значення та рівень рідини не будуть рівними. Це означає, що похибка стаціонарного стану не може дорівнювати нулю. Це слабкість пропорційного регулятора. Тому в промислових процесах використовуються PID-контролери – це аббревіатура від пропорційно-інтегрально-диференціального контролера (Proportional Integral Derivative controller або PID-контролер). Якщо до пропорційного регулятора додати член інтегральної похибки, то матимемо (Proportional Integral controller або PI-контролер) рисунок 4.2, а також, якщо використати похідну похибки (диференційну складову), то матимемо (Proportional Integral Derivative controller або PID-контроллер) рисунок 4.3.

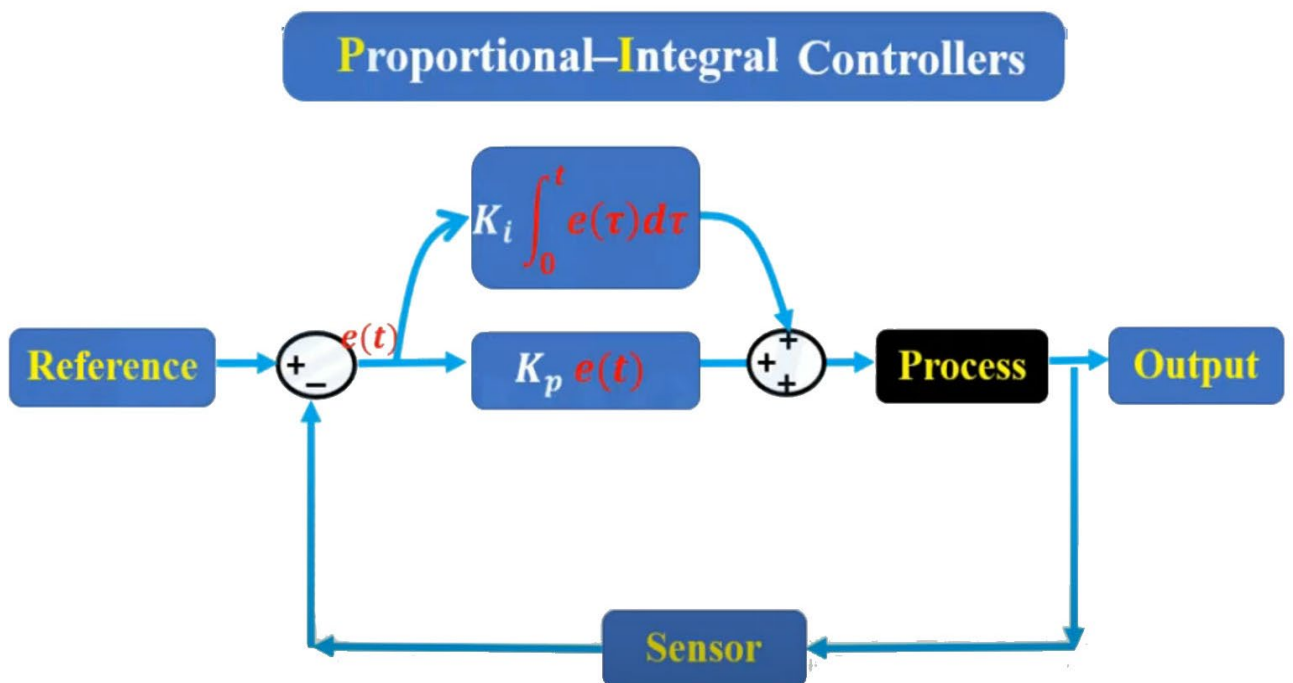


Рисунок 4.2 – Схема PI-контролера

Тепер припустимо, що опорний рівень дорівнює 110, і поточний рівень становить 90. На початку часу похибка становить 20. Минулий час дорівнює нулю, тому інтегральний вихід буде дорівнювати нулю, але пропорційний член надсилатиме напруженню для відкриття заправного клапана для підвищення рівня рідини. Припустимо, що похибка становить 10. Тепер як пропорційний, так і інтегральний члени надсилають напруженню на заправний клапан. Аналогічно, цей процес триватиме, доки рівень рідини не досягне опорного значення. Тут помітно важливу різницю між пропорційним та інтегральним членами: коли похибка дорівнює нулю, вихід пропорційного члена дорівнює нулю, проте інтегральний член використовує минулі значення похибки, тому його вихід може бути ненульовим. Саме тому, на відміну від пропорційного контролера, PI-контролер може достатньо відкрити заправний клапан, коли похибка дорівнює нулю, тому інтегральний член компенсує слабкість пропорційності.

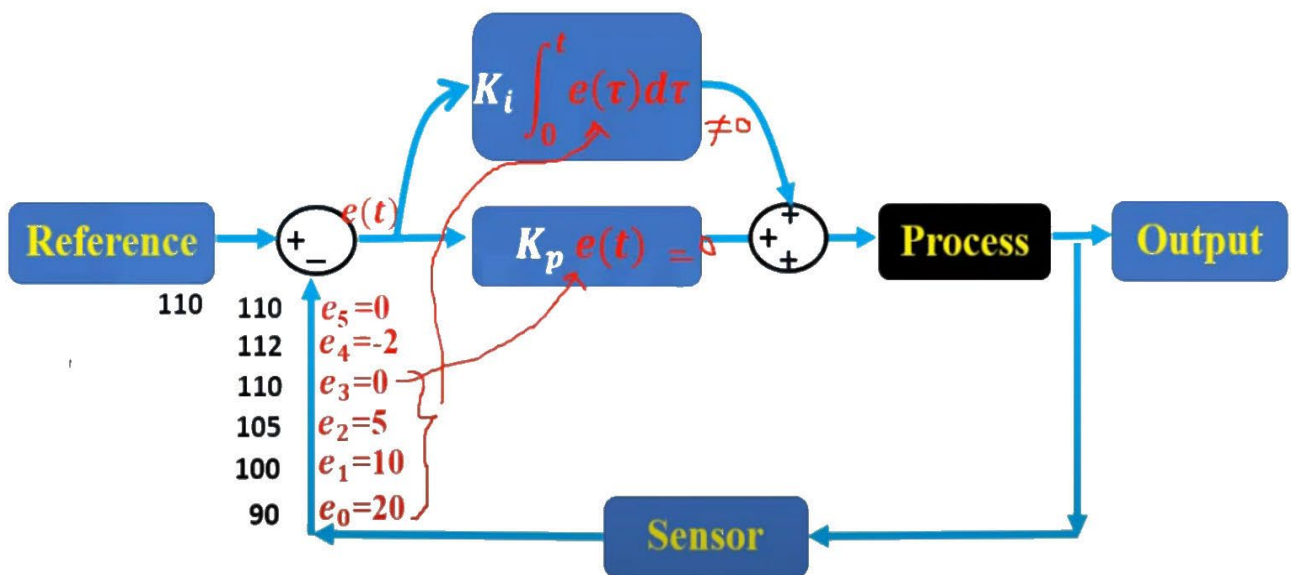


Рисунок 4.3 – Послідовність роботи PI-контролера

PI-контролер має невелику проблему, яку можна ігнорувати в більшості промислових процесів. Коли рівень досягає опорного значення, через інтегральний член заправний клапан залишається відкритим, тому рівень рідини знову підвищиться. Коли значення похибки буде від'ємним, система спробує

повернутися до опорного значення. Тому інтегральний член призведе до незначних коливань виходу контролера, які зникнуть з часом (рисунок 4.3).

Якщо початкове відхилення від величини 110 було рівне $e_0 = 20$, то між нульовими відхиленнями e_3 та e_5 відхилення вже складає лише -2 ($e_4 = -2$). Таким чином інтегральна складова дає змогу швидко вийти на рівень, але супроводжується затихаючою вібрацією регульованої величини.

На початку часу розмір похибки великий, а час, що минув, малий. Вихід пропорційного члена буде більшим і відіграватиме головну роль у продуктивності контролера з плином часу та зменшенням розміру похибки, наприклад, пропорційний вихід близький до нуля, а інтегральний член визначатиме вихід контролера. Іноді диференціальний член використовується в контролері для усунення коливань, спричинених інтегральним членом. Можна досягти відповідного рівня, регулюючи ці коефіцієнти.

Контролер PIDcompact_V2 працює за класичною «паралельною» формою:

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

де

$e(t) = w(t) - y(t)$ – похибка (різниця між задачею $w(t)$ та виміром $y(t)$);

K_p – пропорційний коефіцієнт;

T_i – інтегральний час (час інтегруючої дії)

T_d – диференціальний час (час запізнення похибки)

$u(t)$ – вихідний сигнал контролера.

Для дискретної реалізації з кроком T_s використовують формули:

$$P_k = K_p e_k,$$

$$I_k = I_{k-1} + K_p \frac{T_s}{T_i} e_k,$$

$$D_k = K_p \frac{T_d}{T_s} (e_k - e_{k-1}),$$

$$u_k = P_k + I_k + D_k.$$

На рисунках 4.4 - 4.6 показано вплив кожного коефіцієнта у відповідному PID-контролері.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

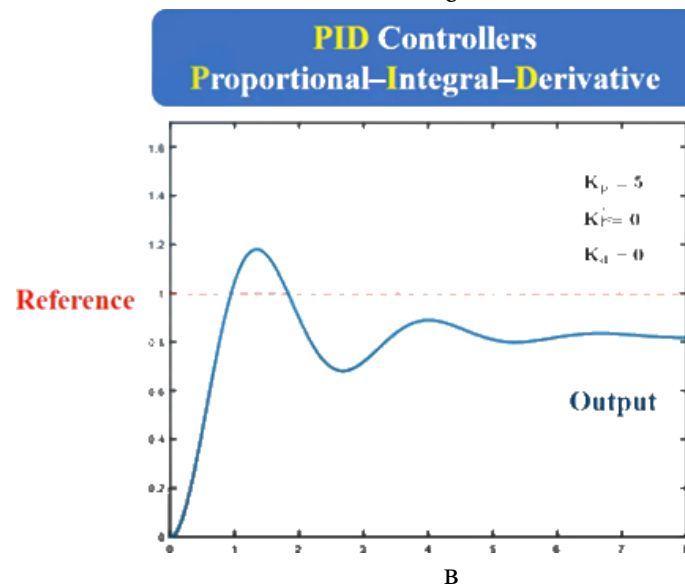
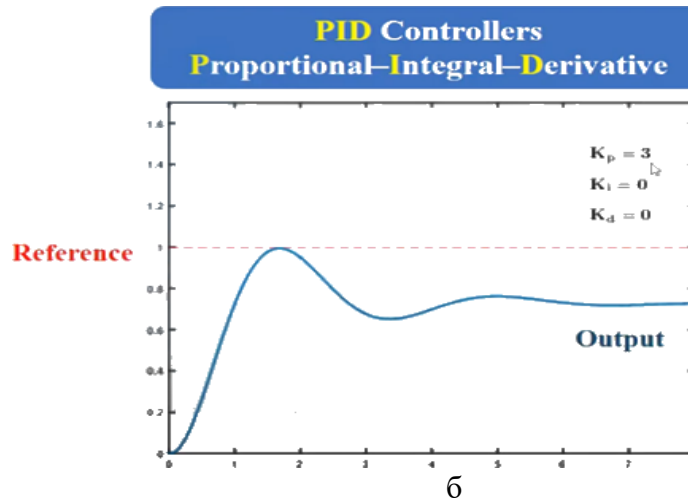
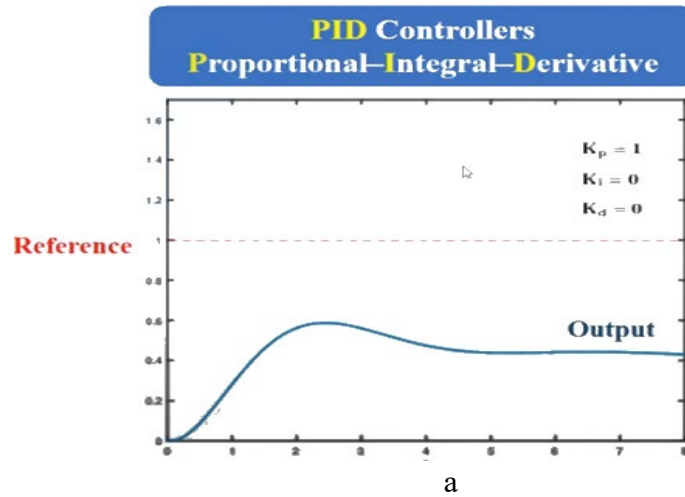
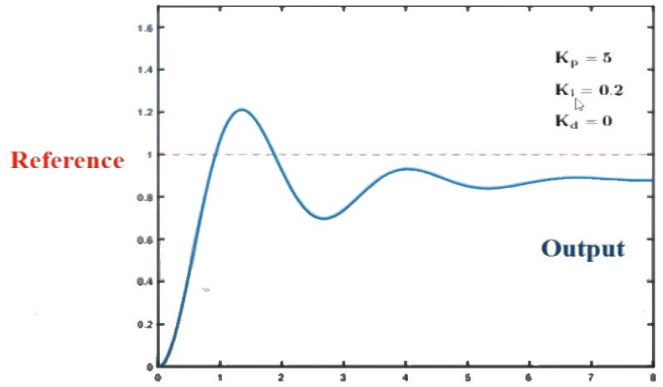


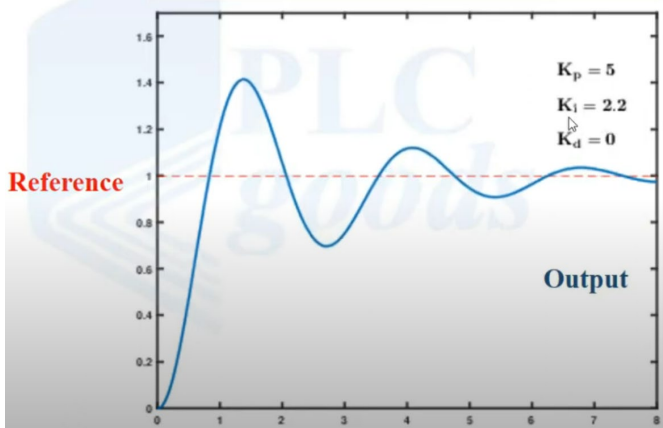
Рисунок 4.4 – Вплив параметра пропорційності
PID-контролера на контроль параметра:
а – $K_p=1$; б – $K_p=3$; в – $K_p=5$

PID Controllers
Proportional-Integral-Derivative



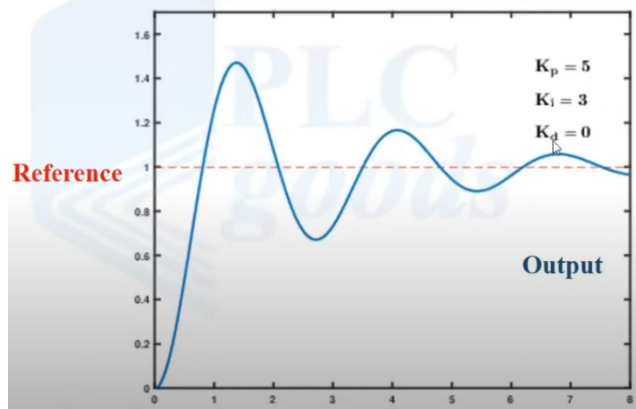
а

PID Controllers
Proportional-Integral-Derivative



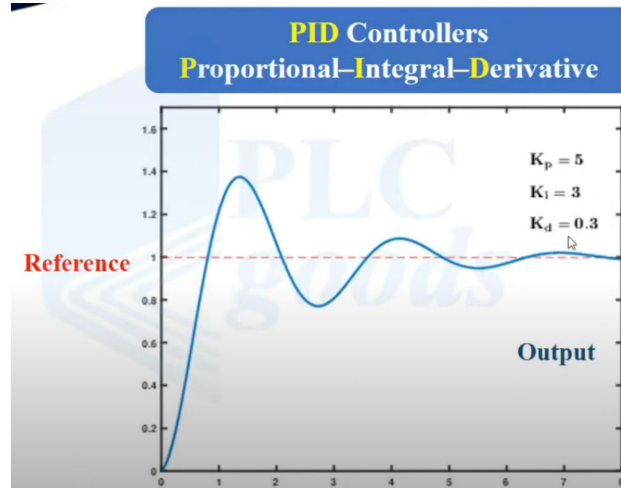
б

PID Controllers
Proportional-Integral-Derivative

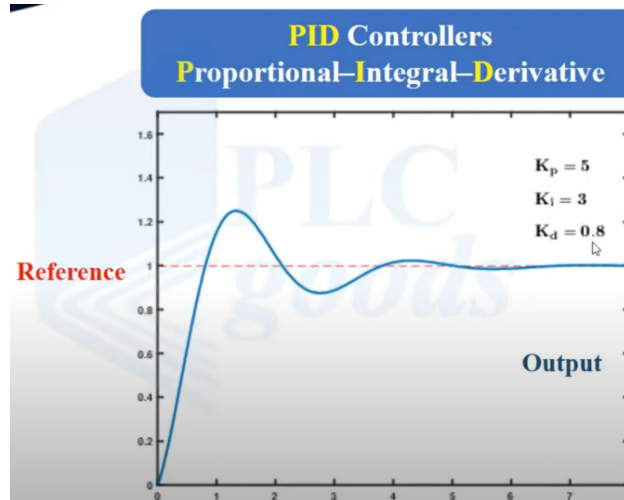


в

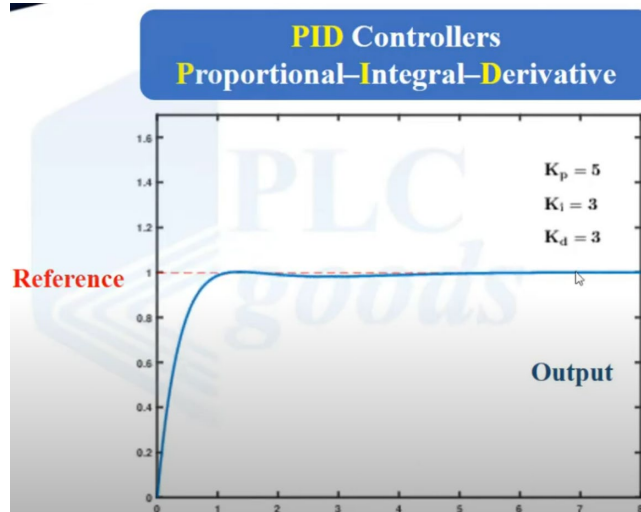
Рисунок 4.5 – Вплив параметра інтегрування
 PID-контролера на контроль параметра:
 а – $K_i=0,2$; б – $K_i=2,2$; в – $K_i=3$



а



б



в

Рисунок 4.6 – Вплив диференціального параметра PID-контролера на контроль параметра:
а – $K_d=0,3$; б – $K_d=0,8$; в – $K_d=3$

4.2. Проектування PID-контролера охолоджувального бака

Розробимо програму PID-контролера на TIA PORTAL. В схемі є вимірювач рівня та клапан, які підключені до IP адрес ПЛК. Друга гілка програми ПЛК перетворює сигнал давача рівня на число від 0 до 200 (рисунок 4.7). Це число вказує на рівень рідини в сантиметрах.

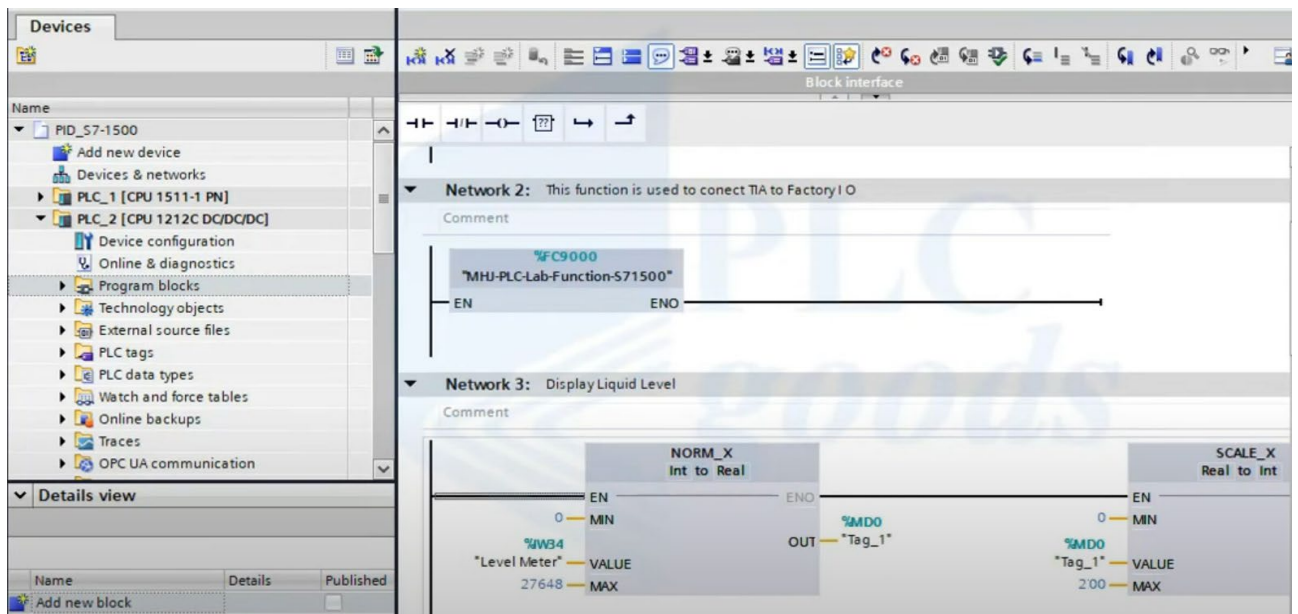


Рисунок 4.7 – Програма передачі значення рівня рідини

Як видно з рисунка 4.7, величина максимального рівня рідини в гартувальному баці записується у форматі Word в таблиці входів як аналогове число за адресою %IW34 з назвою тегу «Level Meter». Цьому рівню відповідає число 27648, яке відповідає максимальному значенню давача рівня рідини. Реальний сигнал, що визначає рівень рідини в конкретний час подається на вихід блоку NORM_X і записується в таблицю меркерної (вхідно-вихідної) пам'яті за адресою %MD0 (розміром Double Word) з назвою тегу «Тег_1». Далі це значення в Network 3 передається в блок SCALE_X, де воно перетворюється в значення рівня рідини не у форматі 0-27648, а 0-200 см для зручного виведення на екран НМІ панелі.

Найпростіший спосіб реалізувати PID-контролер у програмному забезпеченні TIA PORTAL – це використовувати інструкцію PID. Щоб

використовувати цю інструкцію, спочатку натисніть "Додати новий блок", потім виберіть "Циклічне переривання" та визначте його час, наприклад, 500 мілісекунд (рисунок 4.8).

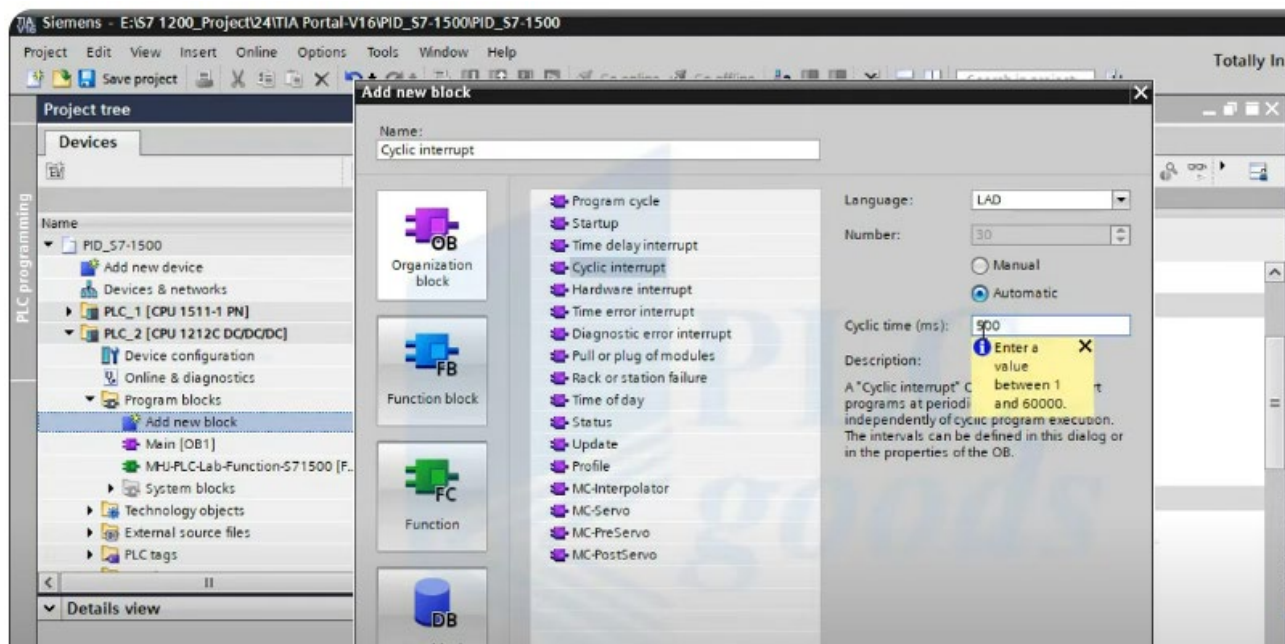


Рисунок 4.8 – Встановлення величини циклічного переривання на значення 500 мс.

Ми не викликаємо цей організаційний блок, записаний на мові LAD, з основного блоку, оскільки він буде виконуватися автоматично кожні 500 мілісекунд. Тепер зі списку справа вставимо інструкцію PID contrast, щоб створити циклічний організаційний блок. Для роботи цієї інструкції потрібен блок даних. На першому вході (Setpoint) визначається задане значення, на другому вході (Input) - змінна програми користувача використовується як джерело для значення процесу «Liquid Level» (рисунок 4.9).

Тут можна використовувати обчислений рівень рідини - число від 0 до 200 сантиметрів. Третій вхід підключається до аналогового входу ПЛК як джерело значення процесу. Важливо, що PID-контролер буде використовувати лише один із цих двох входів, який має бути вказаний у його налаштуваннях. Аналогічно, цей блок має три виходи: вихідне значення в реальному форматі для аналогових виходів ПЛК та вихід з широтно-імпульсною модуляцією.

									Арк.
									41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 2511.00.00.000 ПЗ				

зниження її температури відбивується з верхньої частини баку. Робота датча рівня рідини і системи автоматизації подачі та зливання тотожні.

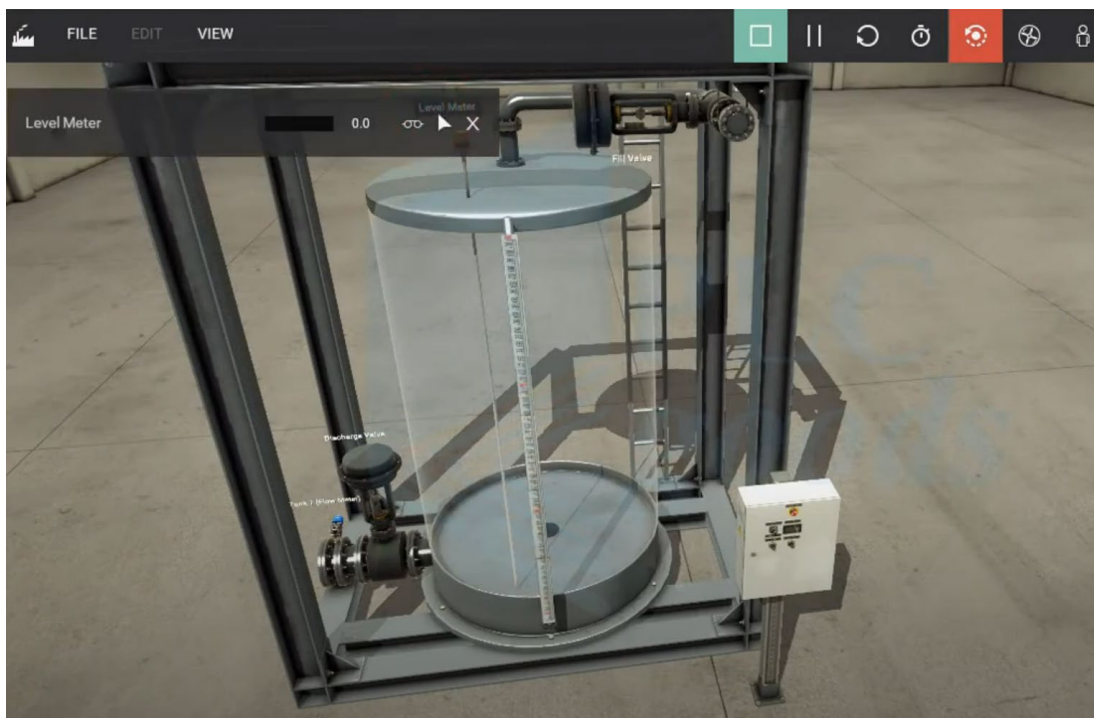


Рисунок 4.10 – Цифрова модель автоматизації бака з рідиною

Для належної роботи гартувального бака проводимо тестування PID-контролера.

Іноді ми не маємо технічної можливості імітувати PID-контролер на своєму комп'ютері. Щоб вирішити цю проблему, яка траплялася лише в симуляції доведеться використовувати або реальний ПЛК, або використовувати процесор S7-1500 в апаратній конфігурації. Крім того, оскільки ми хочемо використовувати заводський вхідний інтерфейс, ми повинні використовувати відповідний шаблон PLC Sim 1500, який можна завантажити в систему.

Після цього записуємо програму PID у циклічному організаційному блоці (ОВ)). Після перенесення програми на віртуальний процесор потрібно встановити заводську конфігурацію входу в системі на S7-1500. Тепер заводський вхідний інтерфейс підключений до запрограмованого віртуального процесора. Перейдемо в онлайн-режим на основі програми. Спочатку потрібно активувати PID-контролер. Змінюємо автоматичний ручний селектор.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Наступний контакт активується перемикачем з НМІ (Human-Machine Interface). НМІ забезпечує оператору (людині) можливість взаємодіяти з автоматизованою системою керування, контролером (PLC), виробничим обладнанням.

Активуємо PID-контролер. Виберемо рівень 150 сантиметрів. Вихід контролера PID активується та вмикає клапан наповнення. Дисплей показує рівень рідини. Також на розробленому інтерфейсі оператора бачимо діаграму рівня рідини та заданого значення, їх значення, а також параметри PID внизу. Як бачите, коли рівень води перевищує задане значення, контролер починає закривати впускний клапан. Симулюємо відкриття випускного клапана на 50 відсотків. Через деякий час і невеликі коливання рівня води контролер зафіксує рівень води на заданому значенні. Тепер в TIA PORTAL можна побачити коефіцієнти PID контролера та налаштувати їх за допомогою програмного забезпечення TIA. Параметри процесу автоматизації підтримки рівня рідини в баку виводимо на НМІ панель. Протягом короткого часу відбулась стабілізація рівня рідини (оливи охолоджуючої) на заданому рівні (150 см), що видно на рисунку 4.11.

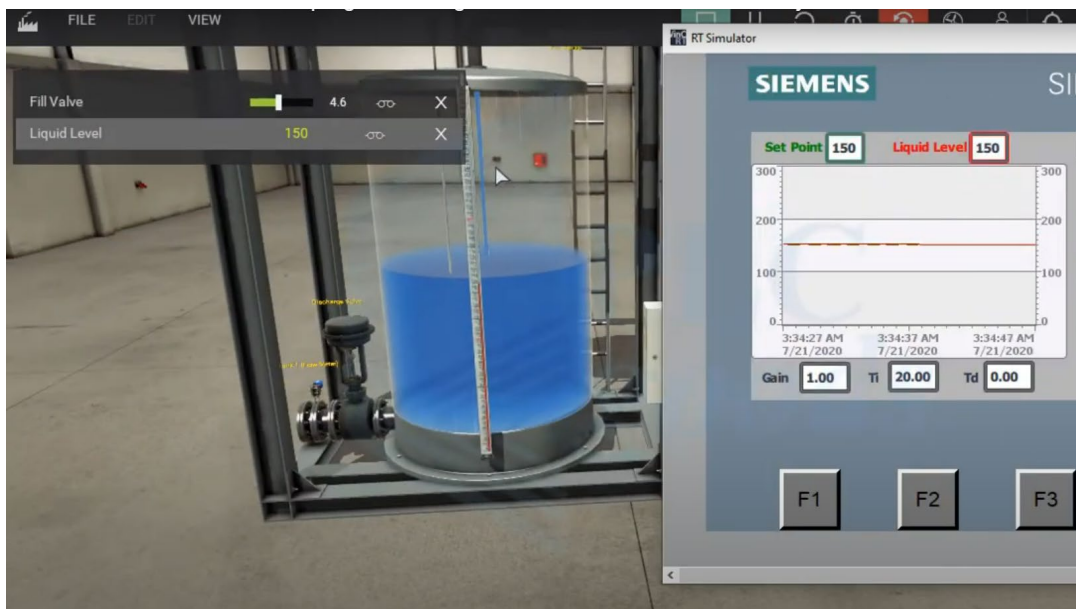


Рисунок 4.11 – Симуляція автоматизованої підтримки рівня оливи охолоджуючої з виведенням параметрів процесу на НМІ панель

4.3. Проектування PID-контролера регулювання температури

Розглянемо регулювання температури за допомогою ПІД-контролера та визначимо основні етапи налаштування системи для підтримки заданої температури печі.

Регулювання температури за допомогою ПІД-контролера включає налаштування аналогових входів та виходів для точності контролю. Важливо правильно підключити термопару.

Можливі ручний та автоматичний режими роботи ПІД-контролера. Це дозволяє користувачу налаштувати систему відповідно до потреб.

Використано широтно-імпульсну модуляцію для керування виходом. Це дозволяє досягти більш точного контролю за температурою в системі.

Встановлення параметрів ПІД-регулятора є важливим етапом для забезпечення стабільності системи. Налаштування входу, виходу та обмежень впливають на ефективність регулювання.

Встановлення обмежень температури є критично важливим для уникнення перегріву або переохолодження системи. У прикладі обмеження становлять від 30 до 930 °C.

Масштабування входу дозволяє адаптувати дані для точнішого контролю. У випадку температури важливо враховувати різницю між реальними та вимірюваними значеннями.

Автоматичний режим управління забезпечує більшу ефективність у регулюванні системи. Це дозволяє виходу адаптуватися до змін температури без ручного втручання.

Коли температура на вході перевищує задане значення, вихід вимикається. Якщо температура падає нижче цього значення, вихід вмикається знову.

Спостереження за змінами виходу при коливаннях температури дозволяє краще налаштувати систему з врахуванням інерційності процесу нагрівання в печі.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Важливо пам'ятати, що між заданим значенням і температурою на вході існує велика різниця, вихід завжди має значення TRUE.

Коли температура на вході близька до заданого значення, вихід може вмикатися і вимикатися по черзі, демонструючи нестабільність. Чим вищу точність підтримки температури в печі задаємо, тим частіше будуть вмикатись і вимикатись контакти нагрівників. Тому точність підтримки температури в печі потрібно призначати якомога нижчою. В нашому випадку точність підтримки температури становить плюс/мінус 2 °С.

Для PID контролера підтримки температури вибираємо мову LAD, встановлюємо час оновлення 100 мілісекунд. Зі списку обираємо інструкцію PID compact. На першому вході (Setpoint) визначається задане значення температури, на другому вході (Input) - змінна програми користувача використовується як джерело для значення процесу «analog_input_temperature» (рисунок 4.12).

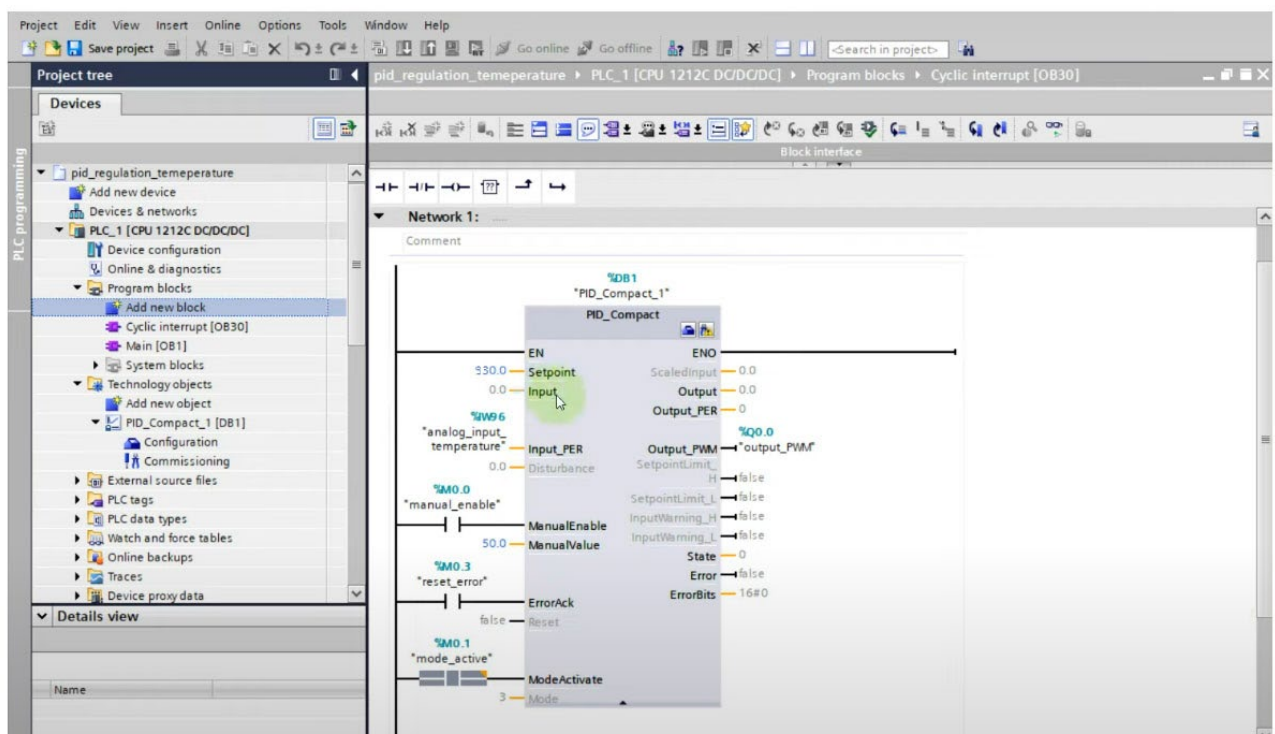


Рисунок 4.12 – Програмування PID контролера підтримки температури
До входу Input_PER підключаємо термодатчик.

Вхід ManualValue показує скільки відсотків від заданої температури буде підтримувати PID контролер в ручному режимі. В даному випадку встановлено 50 %, якщо буде активовано ручний режим.

ErrorAck – вхід скидання помилок PID контролера підтримки температури.

ModeActivate – вхід активації режиму роботи PID контролера підтримки температури. В даному випадку встановлено 3, що відповідає автоматичному режиму. В такому стані вхід ManualValue не впливає на режим роботи PID контролера.

Вихід Output_PWM – широтно-імпульсна модуляція.

Симуляція роботи PID контролера підтримки температури в межах 930 ± 3 °C в програмі TIA PORTAL наведена на рисунку 4.13.

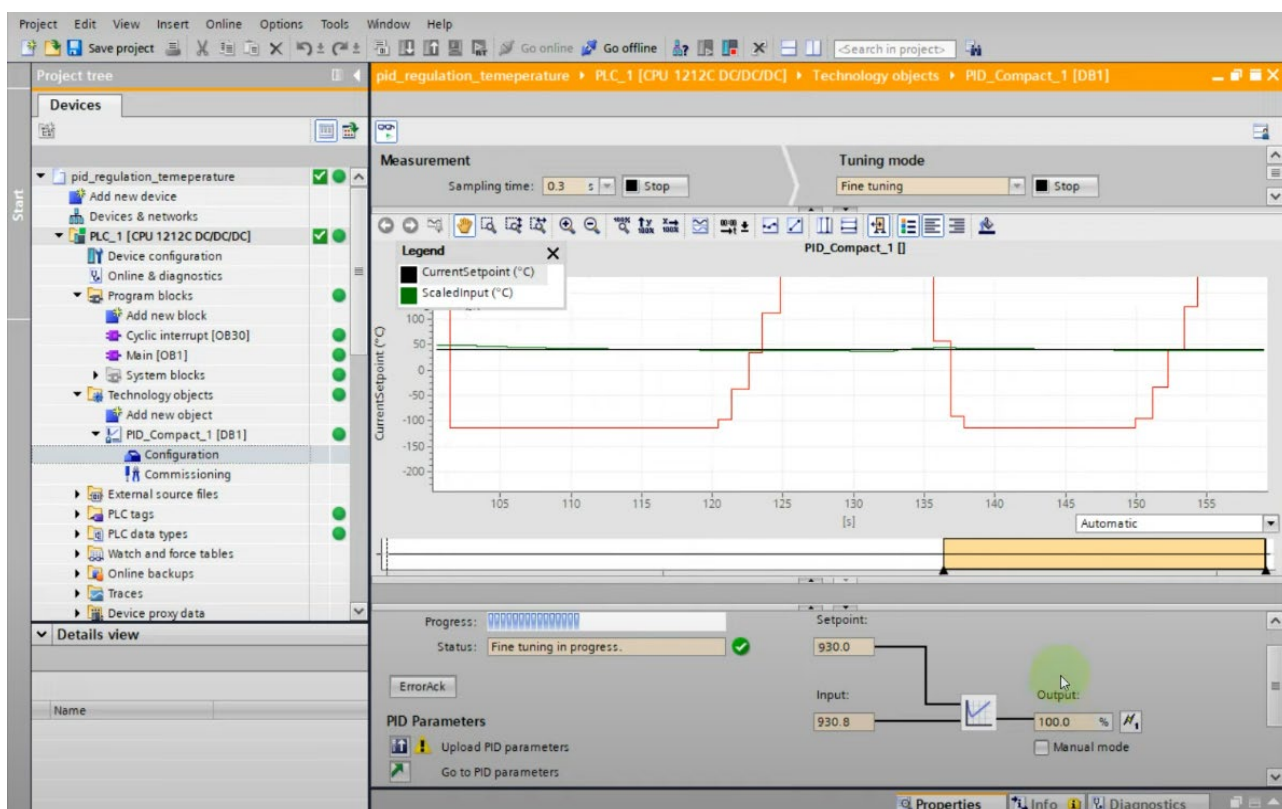


Рисунок 4.12 – Симуляція роботи PID контролера підтримки температури

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів на дільниці ХТО первинного вала та заходи щодо захисту

На дільниці гартування сталі 20CrMn спостерігаються низка шкідливих і небезпечних виробничих факторів, пов'язаних як з термічним режимом процесу, так і з використанням охолоджувальних середовищ, що створює потенційні ризики для здоров'я та безпеки працівників:

– підвищена температура повітря у зоні обробки.

Джерело: нагріті заготовки первинного вала, печі, гартувальні баки з гарячою охолоджувальною рідиною.

Вплив: перегрів організму, тепловий удар, погіршення працездатності.

Заходи захисту: вентиляція, терморегулювання, чергування режимів праці та відпочинку, спецодяг із термовідбивним покриттям;

– виділення шкідливих речовин і парів.

Оливи для гартування при перегріванні утворюють пари, які можуть містити:

альдегіди, кетони, феноли, вуглеводні.

Пари солей (якщо використовуються соляні ванни): нітрати, хлориди.

Вплив: подразнення дихальних шляхів, алергічні реакції, токсичне отруєння при тривалому контакті.

Захист: місцева витяжна вентиляція, респіратори, контроль температури оливо;

– ризик займання та вибуху.

Гартувальні оливи при перевищенні температури спалаху (зазвичай 180–200 °С) можуть зайнятись.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність відкритого полум'я або іскри (від тертя, статичної електрики).

Заходи: термоконтроль з використанням PLC, ізоляція електрообладнання, вогнегасники (порошкові, піна), інструктаж з пожежної безпеки;

– ризик травмування при механічних операціях.

Обертіві частини механізмів (крани, лебідки, мішалки).

Ручне завантаження/вивантаження гарячих заготовок.

Можливі наслідки: опіки, роздроблення пальців, травми спини.

Захист: захисні кожухи, використання захватів, термостійких рукавиць, автоматизація транспортування деталей;

– високий рівень шуму.

Робота моторів мішалок, насосів, підйомних пристроїв.

Наслідки: поступове погіршення слуху, перевтома.

Заходи: звукоізоляція агрегатів, використання навушників або беруш.

– електробезпека.

Печі, системи автоматизації, датчики, нагрівачі, ПЛК (наприклад, SIMATIC S7-1500).

Ризик: ураження електричним струмом при контакті з відкритими частинами або вологим обладнанням.

Захист: заземлення, автоматичне вимкнення при пробії, регулярна перевірка ізоляції, знаки безпеки.

– психофізіологічні фактори.

Висока відповідальність, одноманітність процесів, робота в гарячих умовах.

Ризик: втома, зниження уваги, підвищений ризик помилок.

Заходи: організація чергування, ергономічне робоче місце, перерви.

Крім того є ризик перевищення гранично допустимої температури в виробничому приміщенні, рівний 35 °С, шум від руху масивних частин обладнання – понад 85 дБ

Можлива концентрація парів масла в шкідливій кількості понад 5 мг/м³.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок: дільниця гартування – це об’єкт підвищеної небезпеки, що вимагає комплексу заходів: технічних, організаційних та індивідуальних (ЗІЗ), спрямованих на мінімізацію впливу шкідливих факторів та забезпечення безпеки персоналу.

5.2. Заходи з техніки безпеки для металографічної лабораторії

Розроблені заходи охоплюють основні види робіт: шліфування, травлення, полірування, мікроскопування, термообробку зразків, роботу з хімічними реагентами та електроприладами.

5.2.1. Загальні вимоги безпеки

До роботи допускаються особи, які пройшли:

- медичний огляд;
- вступний та первинний інструктаж;
- навчання з охорони праці.

У лабораторії має бути затверджена інструкція з охорони праці, журнал інструктажів, план евакуації та аптечка.

5.2.2. Безпека під час роботи з хімічними реактивами (травлення)

Основні небезпеки: кислоти, луги, токсичні пари.

Працювати тільки в хімічній витяжній шафі.

Обов’язкове використання ЗІЗ:

- гумові або нітрилові рукавички;
- захисні окуляри або щиток;
- фартух або лабораторний халат.

Реактиви мають бути в промаркованих ємностях з написами.

Не допускати змішування кислот і лугів без дозволу та знань про їх реакцію.

У разі розливу – нейтралізувати розчин згідно з інструкцією (наприклад, нейтралізатором або содовим розчином).

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Зберігати травильні розчини згідно з вимогами хімічної безпеки (окремі полиці з ванночками).

5.2.3. Безпека під час шліфування та полірування зразків

Основні небезпеки: порізи, пил, бризки суспензії, електротравми.

Перед вмиканням перевірити стан кабелів, заземлення і захисних кожухів.

Не використовувати розбиті шліфувальні диски чи полірувальні кола.

Працювати у захисних окулярах або масці.

Для охолодження зразків використовувати встановлені рідини, уникати контакту шкіри з абразивними емульсіями.

Після обробки – протирати та мити зразок, очищати робоче місце.

5.2.4. Робота з мікроскопом

Основні небезпеки: ураження зору, перевантаження зору.

Перед роботою – налаштувати освітлення згідно з БДН.

Робити перерви кожні 30–40 хв, дивитись у далечінь.

Робоче місце має бути зручним, ергономічним.

Не допускати ударів або падінь мікроскопа.

5.2.5. Робота з печами або іншими нагрівальними пристроями

Основні небезпеки: опіки, займання.

Працювати лише з вимірними режимами температури.

Не відкривати гарячу піч без термостійких рукавиць та захисних окулярів.

Не залишати працююче обладнання без нагляду.

Вентиляція повинна бути ефективною, щоб уникати перегріву.

5.2.6. Електробезпека

Всі прилади повинні бути заземлені.

Заборонено працювати з мокрими руками.

Заборонено використовувати подовжувачі з механічними пошкодженнями.

У разі короткого замикання — негайно вимкнути електроживлення та повідомити відповідальну особу.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

5.2.7. Особливі інструкції для поводження з небезпечними речовинами

Список речовин:

- азотна, сірчана, соляна кислоти;
- аміачні розчини, спирти, хлориди.

Для кожної речовини підготувати паспорт безпеки (MSDS).

Викидати залишки згідно з правилами утилізації хімічних відходів.

5.2.8. Дії у разі аварійної ситуації

Хімічне ураження шкіри або очей – промити великою кількістю води протягом 15 хв, звернутися до лікаря.

Пожежа – викликати 101, використати вогнегасник (вуглекислотний, порошковий).

Поріз – обробити антисептиком, накладити пов'язку, звернутися до медпункту.

5.2.9. Документальне оформлення

Вести журнал обліку інструктажів, журнал експлуатації обладнання, інструкції на кожне робоче місце.

Забезпечити знаки безпеки, інструкції біля приладів і витяжок.

5.3. Перелік засобів протипожежної безпеки для ділянки хіміко-термічної обробки

5.3.1. Стаціонарні засоби пожежогасіння

Внутрішній пожежний водогін: обладнаний кранами, шлангами та стволами.

Автоматична пожежна сигналізація (АПС): з тепловими/димовими датчиками, які підключені до центрального пульта охорони.

Система автоматичного пожежогасіння (за можливості): аерозольного, газового або порошкового типу в печах із замкненим простором.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

5.3.2. Первинні засоби пожежогасіння

В таблиці 5.1 наведено первинні засоби пожежогасіння

Таблиця 5.1

Засіб	Кількість	Місце розміщення	Призначення
Вогнегасники порошкові (ВП-5, ВП-9)	≥ 1 на кожні 20 м ²	Біля печей, входу, щитів керування	Для гасіння твердих речовин, рідин, електрообладнання
Вуглекислотні вогнегасники (ВВК-2, ВВК-5)	1–2 в зонах із електрообладнанням	Біля електрощитів	Безпечне гасіння без пошкодження апаратури
Пісочниці з сухим піском	1–2 шт.	У зонах можливого проливу масел, рідкого пального	Засипання джерела займання
Протипожежні покривала (азбестове чи негорюче полотно)	За потребою	Біля печей, де є відкритий доступ	Ізоляція джерела вогню
Відро з водою	Лише для побутових місць	НЕ використовувати біля печей або реагентів	

5.3.3. Евакуаційне обладнання та візуальна інформація:

- чітке позначення евакуаційних виходів;
- знаки пожежної безпеки (типові, згідно ДСТУ ISO 7010);
- схеми евакуації з позначенням розміщення первинних засобів гасіння;
- освітлені аварійні вказівники "Вихід", "Пожежний щит", "Вогнегасник".
- запасний ліхтар або аварійне освітлення в разі відключення електроенергії.

5.3.4. Документальне забезпечення:

- наказ про призначення відповідального за пожежну безпеку ділянки;
- Інструкція з пожежної безпеки для ділянки;
- графік та журнал проведення навчань та інструктажів з пожежної безпеки;

– паспорт на вогнегасники (з техобслуговуванням не рідше ніж 1 раз на рік);

– протоколи випробування пожежних кран-комплектів.

5.3.5. Додаткові заходи для ділянки ХТО:

а) При роботі з ендогазом:

Газові лінії повинні бути з манометрами, запобіжними клапанами, сигналізаторами витоку.

Заборонено відкривати ємності з аміаком без витяжної вентиляції.

Печі з газовим живленням повинні мати систему аварійного відключення подачі газу;

б) Для високотемпературних печей:

Обов'язкова наявність тепловідбивного щита перед піччю.

Вимикачі печей — винесені за межі теплової зони.

Після завершення зміни – контроль охолодження печей та перевірка герметичності газових шлангів.

5.3.6. Навчання та тренування

Працівники повинні:

– знати розташування засобів гасіння;

– вміти користуватись вогнегасниками;

– проходити щорічні протипожежні тренування;

– знати алгоритм дій при пожежі: сповіщення, евакуація, локалізація джерела займання.

5.3.7. Заборонені дії на ділянці ХТО:

– зберігання легкозаймистих речовин поза спеціальними шафами;

– куріння на ділянці (допускається лише у відведених зонах).

– проведення зварювальних робіт без погодження з відповідальним за пожежну безпеку.

– використання несправного електрообладнання.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ВИСНОВКИ І ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

В кваліфікаційній роботі:

1. Розглянуто декілька можливих технологічних процесів цементування, що передбачають гартування з температури даного процесу з передгартувальним охолодженням.
2. Проведені дослідження процесу насичення поверхневого шару вуглецем шляхом визначення зміни твердості від відстані до поверхні.
3. Проведені металографічні дослідження, які підтвердили правильність вибору технологічного процесу від твердості поверхневого шару.
4. Встановлено, що оптимальна мікроструктура сталі 20CrMn утворюватиметься при двоступеневому насиченні: повільний нагрів від 920 до 940 °С (1 год.), - 870°С (5,5 год.); гартуванні від температури 850°С, наступному низькому відпуску при 200 °С тривалістю 2 год.
5. Проведено опис програмування PID-контролерів рівня та температури для автоматизації процесу термічної обробки. Надано практичні рекомендації з їх налаштування
6. Розглянуто охорону праці в термічних цехах, заходи протипожежної безпеки в термічних цехах, засоби та заходи охорони праці при роботі з хімічними реагентами

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Список використаних джерел

1. Афтандіянц Є., Зазимко О., Лопатько К. Матеріалознавство. Ліра-К, Олді-Плюс. 2013. – 612 с.
2. Кузін О. А., Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. – Львів : Афіша, 2002. – 304 с. 2. Металознавство : підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко [та ін.]. ; – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – К. : ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2002. – 384 с.
3. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
4. Металознавство і термічна обробка металів і сплавів із застосуванням комп'ютерних технологій навчання : підручник / [Таран Ю. М., Калінушкін Є. П., В. З. Куцова В. З.та ін.]. ; під ред. Ю. М. Тарана – Дніпропетровськ : Дніпрокнига, 2002. – 360 с.
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : навчальний посібник / [Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О. та ін.]. – К. : Либідь, 2002. – 328 с. 12. Шиліна О. П.
6. Матеріалознавство : лабораторний практикум / О.П.Шиліна, О. В. Шаповалова. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 76 с.
7. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / [под общей ред. С. С. Некрасова]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 105 с.
8. Прокопович І.В. Металознавство: навчальний посібник. – Одеса. Екологія, 2020. – 308 с.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

9. Портал державної електронної системи у сфері будівництва. Режим доступу:

10. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення.

11. EN ISO 377. Сталь і сталеві вироби. Розташування та готування проб і випробних зразків для механічного випробування (ISO 377:2017).

12. Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach by William D. Callister and David G. Rethwisch: 2001. – 377 p.

Режим доступу: http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/Fundamentals%20of%20Materials%20Science%20and%20Engineering%20-%20William%20D%20Callister%20Jr%20%20047139551X.pdf.

					БР 2511.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57