МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (магістерського) рівня освіти

на тему Удосконалення автоматизованої системи управління ділянкою ковпакових печей з метою підвищення ефективності виробництва

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1744-дн
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно -інтегровані технології
та робототехніка
освітньої програми Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
О. В.Петрик
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н. Коваленко В. Л.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»
І.А. Курілець
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно -інтегровані технології та робототехніка
Спеціалізація _____
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«___» _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Петрику Олегу Валентиновичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Розробка та дослідження автоматизованої системи оптимального розподілу сировинних та паливно-енергетичних ресурсів комплексу доменних печей
керівник роботи Коваленко В. Л., професор, докт.техн.наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «19» вересня 2025 року № 1304-с
2 Строк подання студентом роботи 12 лютого 2026 р.
3 Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): техніко-економічне обгрунтування проекту;аналіз роботи технологічної ділянки;схема інформаційних потоків;технічне завдання до верхнього рівня АСУТП;розробка автоматизованої системи управління блоком ковпакових печей;вибір математичної моделі об'єкту управління;моделювання АРМ оператора-технолога;проєкт АСУ блоком ковпакових печей;диспетчерский пункт АСУ блоку ковпакових печей;розрахунок надійності верхнього рівня АСУ
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема доменного виробництва; математичне забезпечення показників доменного процесу; алгоритм розрахунку оптимального розподілу ресурсів

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	проф. Коваленко В. Л.		

7 Дата видачі завдання24.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	**Примітка**
1	Вивчення особливостей конструкції технологічного процесу ковпакової печі. Визначення недолікыв існуючої системи управління.Постановка задачі дослідження	27.01.2025 – 25.02.2025	
2	Аналіз роботи технологічної ділянки. Розробка схеми інформаційних потоків. Розробка технічного завдання до верхнього рівня АСУТП.	26.02.2025 – 11.04.2025	
3	Вибір та обґрунтування функціональної структури АСУ блоку ковпакових печей. Розробка структурної схеми КТЗ АСУ блоку ковпакових печей.	12.04.2025 – 11.05.2025	
4	Вибір комп'ютера для АРМ оператора-технолога. Вибір сервера. Вибір операційної системи. Вибір серверу архівування. Вибір SCADA-системи. Розробка обчислювальні мережі верхнього рівня	12.05.2025 – 25.06.2025	
5	Вибір математичної моделі об'єкту управління. Моделювання АРМ оператора-технолога АСУ блоку ковпакових печей.	26.06.2025 – 16.07.2025 01.09.2025 – 09.10.2025	
6	Розробка диспетчерского пункту АСУ блоку ковпакових печей. Створення бази данних АСУ блоку ковпакових печей	10.10.2025 – 28.11.2025	
7	Розрахунок надійності верхнього рівня АСУ. Розрахунок техніко-економічних показників АСУ. Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників. Розрахунок штучного освітлення приміщення оператора-технолога	29.11.2025 – 08.02.2026	
8	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	09.02.2026 – 13.02.2026	

Студент _____ Олег ПЕТРИК
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Віктор КОВАЛЕНКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Сергій БАШЛІЙ
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Петрик О. В. Удосконалення автоматизованої системи управління ділянкою ковпакових печей з метою підвищення ефективності виробництва.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник В. Л. Коваленко, Запорізький національний університет, Інженерний науково- навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою роботи є розробка проєктупідсистеми верхнього рівня автоматизованої системи управління відділенням ковпакових печей.

Розглянуто існуючу систему автоматизації, описано функціональну структуру АСУ блоку ковпакових печей, приведена інформація про комплекс технічних засобів, обчислювальні мережі верхнього рівня, розроблено математичну модель розрахунку теплового балансу печі, розроблено схему інформаційних потоків та описано технічне завдання во верхнього рівня АСУ блоку ковпакових печей графічний інтерфейс та програму для управління технологічним процесом, розроблено базу даних, описано диспетчерський пункт, принципову електричну схему та схему зовнішніх з’єднань.

Ключові слова: ковпакова піч, АСУ ТП, топологія мережі, fastethernet, інтерфейс, MATLAB, АРМ, SCADA-система,база данних, інтенсивність відмов, замовна специфікація, економічний ефект, техногенна безпека

ABSTRACT

O. Petryk. Improvement of the Automated Control System for the HoodFurnace Section to Increase Production Efficiency

The final master's qualifying work for completion of the higher education in the specialty 174«Automation, computer-integrated technologies and robotics» supervisor M.Yu. Paziuk, Zaporizhzhia National University, Engineering Education and Research Institute, Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems. Zaporizhzhia, 2025.

The existing automation system is considered, the functional structure of the ACS of the hood furnace unit is described, information about the complex of technical means, upper-level computing networks is provided, a mathematical model for calculating the heat balance of the furnace is developed, an information flow diagram is developed and the technical task is described in the upper-level ACS of the hood furnace unit, a graphical interface and a program for controlling the technological process, a database is developed, a dispatcher station, a schematic electrical diagram and a diagram of external connections are described.

Keywords: hood furnace, process control system, network topology, fast ethernet, interface, MATLAB, ARM, SCADA system, database, failure rate, custom specification, economic effect, technogenic safety

ЗМІСТ

Вступ……... 9
1 Техніко-економічне обгрунтування проекту……... 13
1.1 Призначення ковпакових печей…….. 13
1.2 Характеристика устаткування газових одностопних ковпакових печей…….. 14
1.3 Опис технологічного процесу……. 17
1.4 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві. 19
1.4.1 Функції системи автоматизації……... 19
1.4.2 Технічне забезпечення діючої системи……. 20
1.4.3 Недоліки існуючої системи управління…… 21
1.5 Постановка задачі дослідження……... 21
2 Аналіз роботи технологічної ділянки……... 23
2.1 Організація роботи……... 23
2.2 Схема інформаційних потоків……. 24
2.3 Технічне завдання до верхнього рівня АСУТП……. 26
2.3.1 Призначення та мета створення АСУТП……... 27
2.3.2 Вимоги до системи…….. 28
2.4 Висновки до розділу 2…….. 50
3 Розробка автоматизованої системи управління блоком ковпакових печей……... 52
3.1 Аналіз існуючих систем автоматизації…….. 52
3.2 Вибір та обґрунтування функціональної структури АСУ блоку ковпакових печей…….. 56
3.3 Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ блоку ковпакових печей. Програмно-технічне забезпечення верхнього рівня управління…… 61
3.3.1 Вибір комп’ютера для АРМ оператора-технолога……... 61

3.3.2 Вибір сервера……... 63
3.3.3 Вибір операційної системи……. 65
3.3.4 Вибір серверу архівування…….. 65
3.3.5 Вибір SCADA-системи…… 66
3.4 Обчислювальні мережі верхнього рівня……. 67
3.5 Вибір математичної моделі об’єкту управління…… 72
3.6 Моделювання АРМ оператора-технолога АСУ блоку ковпакових печей…….. 76
3.6.1 Опис графічного інтерфейсу…….. 76
3.6.2 Керування технологіним процесом…… 78
3.6.3 FBD-програма……... 80
3.7 База данних АСУ блоку ковпакових печей…… 83
3.8 Проєкт автоматизованої системи управління блоком ковпакових печей…….. 85
3.8.1 Диспетчерский пункт АСУ блоку ковпакових печей…….. 85
3.8.2 Принципова електрична схема……... 87
3.8.3 Схема зовнішніх з’єднань……... 88
3.9 Висновки до розділу 3…….. 89
4 Розрахунок надійності верхнього рівня АСУ блоку ковпакових печей……... 91
4.1 Розрахунок параметрів наближеним способом……. 91
4.2 Розрахунок параметрів надійності з урахуванням режиму роботи елементів і впливом дестабілізуючих чинників…… 94
4.3 Висновки до розділу 4…….. 98
5 Розрахунок техніко-економічних показників АСУ блоку ковпакових печей…….. 100
5.1 Розрахунок одноразових витрат на створення АСУ ТП……... 100
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування АСУ ТП…… 101

5.3 Розрахунок собівартості продукції після впровадження АСУ ТП…… 102
5.4 Розрахунок показників економічної ефективності АСУ ТП…… 105
5.5 Висновки до розділу 5……. 107
6 Охорона праці та техногенна безпека…….. 109
6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинниківвиробничого середовища…….. 109
6.2 Заходи поліпшення умов праці……... 112
6.3 Виробнича санітарія……. 113
6.3.1 Вентиляція і кондиціонування……... 114
6.3.2 Освітлення…… 114
6.3.3 Розрахунок штучного освітлення приміщення контрольно-розподільчого пункту сектору холодного проката відділу АСУ ТП... 115
6.4 Заходи електробезпеки……. 119
6.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека…….. 121
6.6 Засоби індивідуального захисту…….. 122
6.7 Висновки до розділу 6…….. 123
Висновки…… 125
Список використаних джерел…….. 126
Додаток А……... 132

ВСТУП

*Актуальність теми.*Термічна обробка − це невід'ємна ланка технологічного циклу виробництва металопрокату. Постійне посилювання вимог до якості металопрокату обумовлене вживанням легованих сталей з високою мірою чистоти, жорсткими межами хімічного складу і режимів термообробки.

Для виконання цих вимог колпакові печі повинні забезпечувати високу точність виконання заданих режимів термообробки і рівномірність температурного поля у всьому об'ємі робочого простору і за об'ємом садки при мінімальних витратах палива.

Колпакові печі знаходять широке вживання завдяки високій якості металу, що відпалюється, невеликим габаритам, високій надійності, простоти в обслуговуванні в порівнянні з іншими термічними печами, ощадним використанням енергоресурсів.

Широке поширення складних автоматизованих технологічних комплексів, що включають технологічні об'єкти управління (ТОУ) і автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП), вимагає досить високого рівня підготовки обслуговуючого їх персоналу. Складність такої підготовки обумовлена технічним прогресом в електронній і приладобудівній промисловості. За останнє десятиліття ці галузі освоїли випуск засобів автоматичного контролю, управління і регулювання нового покоління на основі мікропроцесорної і обчислювальної техніки. Ці прилади, володіють широкими функціональними можливостями, мають не дуже високу вартість, дозволяють будувати автоматизовані системи управління технологічними процесами на підприємствах. Сумісність цих засобів з обчислювальними засобами (зокрема персональними ЕОМ), дозволяє застосовувати існуючі програмні засоби для формування керуючих дій і відображення інформації про стан процесу. Все це робить АСУ ТП відпалу металу в ковпакових печах гнучкою, більш наочною, легко керованою.

Метою дослідження єрозробка проєкту підсистеми верхнього рівня автоматизованої системи управління відділенням ковпакових печей

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі сформульовано і вирішено такі завдання:

1. Проведено аналіз існуючого рівня автоматизації ділянки ковпакових печей.

2. Сформульовані вимоги до системи автоматизації иа розроблено технічне завдання на проєктування системи.

3. Проведено вибір та обґрунтування функціональної структури та комплексу технічних засобів АСУ ділянки ковпакових печей.

4. Розроблено програмно-технічне забезпечення системи управління верхнього рівня.

Об'єкт дослідження. Автоматизована система управління ділянкою ковпакових печей.

Предмет дослідження. Підсистема верхнього рівня

Методи дослідження. Для дослідження використовуються методи емпіричного дослідження: аналіз результатів попередніх досліджень та досвіду виробництва для визначення оптимальних режимів роботи обладнання; порівняння, опитування, тестування, експертна оцінка, кореляційний аналіз, факторний аналіз. Для розробки програмно-технічного забезпечення використано методи структурного синтезу і алгоритмів оптимізації розробки. Для створення математичних моделей процесу нагрівання металу використано методи математичного моделювання Ці моделі можуть використовуватися для прогнозування поведінки системи та оптимізації управління нею.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Удосконалено підхід до побудови функціональної структури АСУ ТП блоку ковпакових печей, що відрізняється інтеграцією сучасного програмно-технічного комплексу з розподіленою архітектурою та централізованою обробкою даних верхнього рівня.

2. Розроблено математичну модель теплового режиму ковпакової печі, яка враховує динаміку нагріву металу, теплообмін між муфелем, садкою та захисним газом і дозволяє підвищити точність прогнозування температурних параметрів у процесі відпалу.

3. Запропоновано алгоритмічну структуру керування режимами термообробки, що базується на рецептурному принципі формування технологічних циклів (нагрів – витримка – охолодження) та забезпечує адаптацію параметрів процесу до різних марок сталі і типів продукції.

4. Удосконалено інформаційно-аналітичну підсистему верхнього рівня АСУ ТП, яка, на відміну від існуючих рішень, поєднує функції візуалізації, архівації, формування звітності та підтримки прийняття рішень для диспетчерського персоналу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у підвищенні точності вимірювання технологічних параметрів процесу термообробки; забезпеченні персоналу оперативною інформацією про перебіг процесу; забезпеченні технологічного персоналу інформацією про витрату матеріалів та енергоносіїв.

Особистий внесок дослідника Усі результати, наведені в кваліфікаційній роботі, отримані здобувачем самостійно. Автором виконано аналіз технологічного процесу термічної обробки металу в ковпакових печах та досліджено існуючий стан автоматизації ділянки.

Здобувачем розроблено функціональну та структурну схеми автоматизованої системи управління технологічним процесом блоку ковпакових печей, обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації нижнього, середнього та верхнього рівнів системи. Самостійно виконано розробку алгоритмів керування процесами нагріву, витримки, охолодження та подачі захисного газу, а також структури програмного забезпечення контролера у вигляді функціональних блоків.

Автором побудовано математичну модель теплового режиму ковпакової печі та проведено розрахунки теплового балансу, що дозволило

оцінити ефективність технологічних режимів. Виконано розрахунок показників надійності системи та техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої АСУ ТП.

Здобувачем також розроблено структуру графічного інтерфейсу SCADA-системи, мнемосхеми та інформаційні екрани для робочих місць оператора і диспетчера. У розділі з охорони праці проведено аналіз виробничих факторів та запропоновано заходи щодо підвищення безпеки праці при експлуатації автоматизованої системи.

*Апробація результатів роботи.*Основні положення і результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися наXVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених Молода наука - 2025» (14-18 квітня 2025р., м. Запоріжжя).

*Структура та обсяг магістерської роботи.*Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, шести розділів, висновків та переліку використаних джерел інформаціїї з 59 найменувань, викладена на 135сторінках машинописного тексту, містить 12 таблиць, 22 рисунки, 1 додаток.

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

1.1 Призначення ковпакових печей

Одностопні газові ковпакові печі призначені для світлого рекристалізаційного відпалу міцно змотаних холоднокатаних рулонів і пом'якшувального відпалу гарячекатаних рулонів.

Відпал металу – процес термічної обробки, який зумовлює отримання рівноважних (стійких) структур розпаду аустеніту під час охолодження, з певних температур нагрівання в інтервалі перетворень або вище. Відпал здійснюється шляхом нагрівання сталевих листів і рулонів до (або вище) температури в інтервалі перетворень, тривалої витримки при цій температурі і подальшого повільного охолодження. У процесі відпалу відбувається зміна дисперсних фаз і розміру зерен аустеніту; в результаті виходить рівноважна структура ферито-цементної суміші, знижується твердість і підвищується пластичність і в'язкість.

Відпал застосовується з метою зняття напружень, поліпшення пластичних властивостей, усунення структурної неоднорідності.

Термообробка може бути класифікована таким чином:

- пом'якшувальний відпал;
- рекристалізаційний відпал.

Пом'якшувальний відпал проводиться для зменшення міцності гарячекатаних листів і заготовок легованих сталей. Сталь після прокатки може мати різну структуру і різні механічні властивості залежно від ступеня деформації, від температури кінця гарячої прокатки, від швидкості охолодження і т.п. Тому при виборі режиму відпалу сталі після прокатки, крім хімічного складу, враховується також структура і твердість сталі. Пом'якшувальним відпалом домагаються коагуляції карбідів сталі, збільшення розміру зерна, зняття напруги і зниження твердості.

Рекристалізаційний відпал – процес термічної обробки, який зумовлює виправлення викривлень кристалічної решітки, отриманої при холодному деформуванні металу. Рекристалізаційний відпал здійснюється шляхом нагрівання сталі до температури на вище температури рекреста лізації (початку зростання нових зерен, що утворюються натомість деформованих), но нижче температури фазового перетворення витримки при цій температурі і подальшого повільного охолодження. При рекристалізаційному відпалі відбувається зростання нових зерен, що утворилися натомість легованих, зняття наклепу і внутрішніх напружень при коагуляції цементиту та утворення зернистого перліту, збільшення пластичності сталі, зниження властивостей міцності[1].

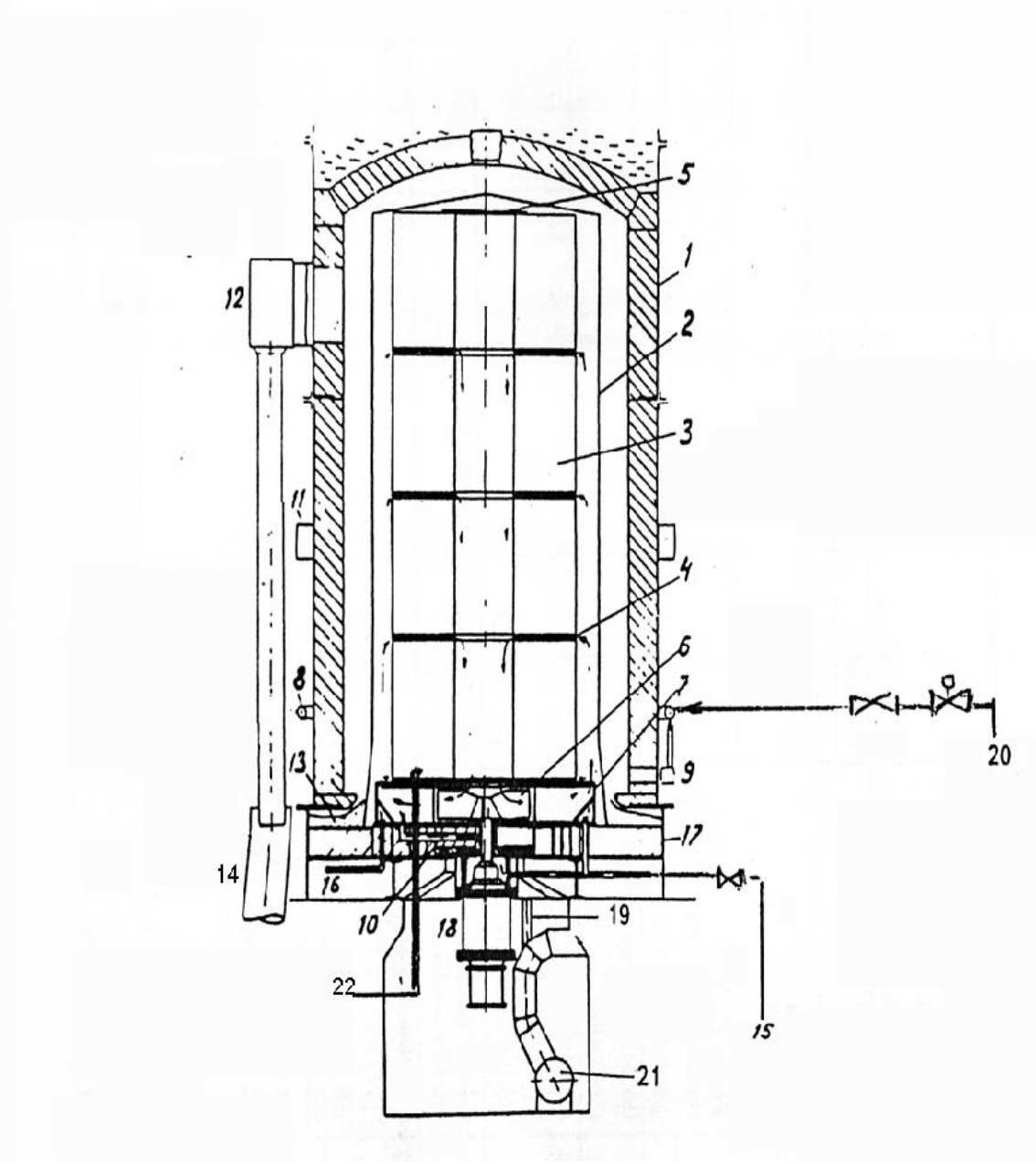
1.2 Характеристика устаткування газових одностопних ковпакових печей

Ковпакові печі (рис.1.1) згруповані в блоки. У відділенні 16 блоків печей: 15 блоків з відпалом в атмосфері HNx-газу і один блок з відпалом в атмосфері сухого водню.

До складу блоків 2-11, 17-19 входить по 15 стендів, 6 нагрівальних ковпаків, 15 муфелів, комплект конвекторних кілець.

До складу блоків №№15,16 входить по 21 стенду, 8 нагрівальних ковпаків, 21 муфелю, комплект конвекторних кілець.

Стенди обладнані вдосконаленими направляючими апаратами, крилатками і конвекторними кільцями. Для прискорення процесу охолоджування під муфелем у відділенні використовуються ковпаки прискореного охолоджування (КПО). Для видалення продуктів згорання кожен блок має систему боровів, приймальні патрубки (по два на кожен стенд) і, для посилення тяги, димар заввишки 25-32 м з ежектором в основі димаря.



1 - нагрівальний ковпак; 2 - муфель; 3 - стопа рулонів; 4 - конвекторна прокладка; 5 - кришка; 6 - робоче колесо стендового циркуляційного вентилятора; 7 - направляючій апарат вентилятора; 8 - газопровід природного газу; 9 - газовий пальник; 10 - байпас; 11 - повітряний колектор; 12 - повітряний ежектор; 13 - пісчаний затвор; 14 - приймальний патрубок димовідводу; 15 - підведення захисного газу; 16 - відведення захисного газу; 17 - стенд; 18 - електродвигун; 19 - підведення охолоджувальної води; 20 - колектор природного газу; 21 - колектор підведення повітря; 22 - стендова термопара

Рисунок 1.1 - Ковпакова піч

Газові колпакові печі опалюються природним газом. Тиск газу в цеховому колекторі не менше 0,80 кгс/см^2: оптимальний в умовах стабільного завантаження відділення 0,85-0,90 кгс/см^2, в умовах різкої зміни (зменшення) кількості працюючих ковпаків 0,90-0,95 кгс/см^2.

Як паливоспалювальні пристрої на ковпаках встановлено по 8 інжекційно-атмосферних пальників, розташованих тангенціально в один ярус в нижній частині нагрівального ковпака. Продукти згорання з-під нагрівального ковпака по двох димовідвідних трубах, обладнаним повітряними ежекторами, віддаляються в систему боровів і далі на димову трубу.

Повітря на ежектори подається від вентиляційної станції цеху з тиском в колекторі 300-400 мм вод. ст.

На печах застосовується безежекторна система видалення продуктів згорання. Між димовідведними трубами нагрівального ковпака і димоприймальними патрубками боровів є розрив, що забезпечує незалежність тиску під нагрівальним ковпаком від розрідження в димопровідній системі.

Для зменшення підсосу повітря з довкілля в димопровідну систему на приймальних патрубках стендів передбачені відкидні кришки, які мають бути закриті за відсутності на стенді працюючого нагрівального ковпака.

Технічні характеристики газової колпакової печі:

- максимальна витрата природного газу на один ковпак, м^3/г 62-68
- максимальна витрата газу на один пальник, м^3/г 8,4
- максимальна витрата повітря для двох ежекторів, м^3/г 400
- теплотворна здатність природного газу, ккал 8050

Мдж 33,7

- мінімальний тиск захисного газу перед печами, мм вод.ст. 60
- тиск природного газу, кгс/см^2 0,80-0,95
- загальна кількість димових газів після ежекторів, м^3/г 1300
- максимальна кількість продуктів згорання, м^3/г 900

1.3 Опис технологічного процесу

Перед пакуванням металу на стенді відбувається очищення його від сміття, піску, пилу; перевірка на стенді стану труб, що підводять і відводять захисний газ, щоб вони не були закупорені піском, сміттям, і вихід газу з труб був з натиском;візуальна перевірка стану і положення термопари;перевірка роботи вентиляторів короткочасним включенням;перевірка стану стенду; чистоти і кількісті піску, необхідного для створення піщаного затвору;перевірка надходження води на охолодження електродвигуна.

Після перевірки стану стенду та визначення його придатності до роботи відбувається упаковка стенду металом. Установка металу на стенд проводиться вантажником печей спільно з термістом, що готував стенд до упаковки.

Для створення щільного піщаного затвора використовується пісок. Знову використовуваний пісок попередньо просушують на стенді при температурі 700 ^{0}С протягом 2 -х годин.

Рулони для відпалу, щільно зв’язані металевою стрічкою, встановлюються на стенді в стопу за допомогою кліщового захвату.

Установка рулонів на стенд в стопу повинна проводитися обережно, плавно, без ударів. Пошкодження кромки і поверхні рулонів не допускаються. Зверху внутрішній отвір стопи закривається кришкою. Забороняється упаковувати на стенд рулони з розпушеними витками.

Після упаковки стенду садка металу накривається муфелем. Перед установкою муфеля на стенд шляхом візуального огляду перевіряється його цілісність (відсутність тріщин і інших дефектів). Муфель необхідно опускати плавно, кран на відведення захисного газу повинен бути відкритий, на подачі - закритий (щоб уникнути вибивання пісочного затвора).

Після установки муфеля навколо нього ретельно підгортають пісок для створення щільного піщаного затвора (висота пісочного насипного конусного затвора не менше 200 мм) і відкривається кран подачі захисного газу для продувки підмуфельного простору печі. Перевіряється наявність тиску підмуфельного простору.

Тривалість холодної продувки підмуфельного простору для всіх груп сталей встановлюється не менше півгодини (30 хв), для металу експортного призначення − не менше 1 години. Режими гарячої продувки відповідно до технологічних карт. Після закінчення продувки вентиль вихлопної труби закривається. Захисний газ продовжує безперервно подаватися під муфель через вхідний вентиль до зняття муфеля.

Після накривання садки муфелем проводиться установка на стенд нагрівального ковпака.

Перенесення нагрівального ковпака здійснюється головним підйомом електромостового крана. При установці нагрівального ковпака необхідно, щоб направляючі кільця ковпака вільно сідали на направляючі штирі стенду.

Після установки ковпака проводиться пуск печі.

Після підключення системи управління нагрівом проводиться підключення природного газу та ежекторного повітря.

Розпалювання пальників. Нагрівання металу відбу при справно працюючих пальниках і здійснюється:

- тепловипромінюванням від нагрітої стінки муфеля;

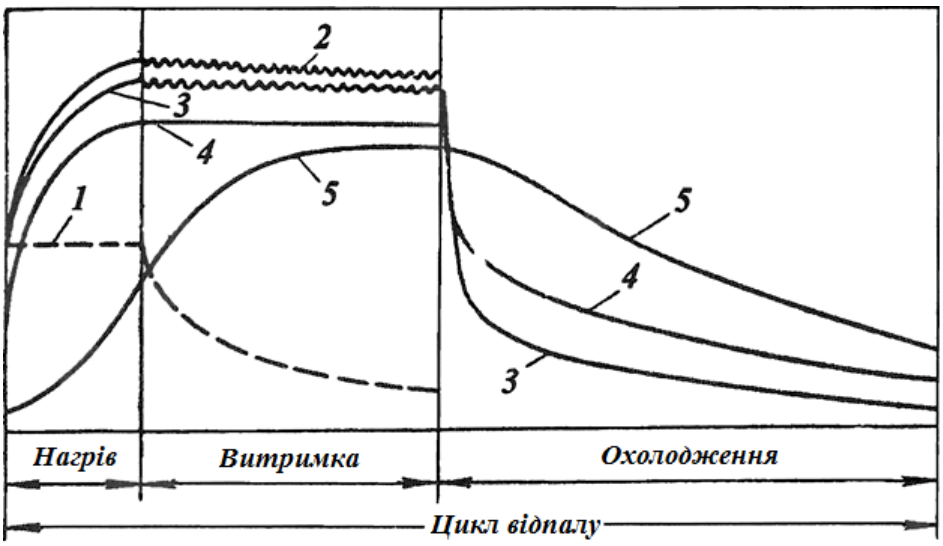
- конвекцією від циркулюючого захисного газу: циркуляційний вентилятор направляє захисний газ в простір між стінкою муфеля і стопою металу, де газ нагрівається від стінки муфеля, піднімається вгору і, проходячи через конвекторні прокладки (кільця), нагріває торці рулонів, а потім опускається вниз. Така подача тепла є найбільш сприятливою, так як теплопровідність рулонів в радіальному напрямку через прошарки повітря між витками значно (приблизно в 10 разів) менше, ніж в осьовому напрямку.

На початку і в кінці зміни терміст прокату зобов'язаний перевірити роботу вентилятора.

Режими термічної обробки смуг в рулонах.

В загальному випадку режим термічної обробки зображено на рисунку 1.2[1].

В циклі нагріву передбачений період вирівнювання температур металу, протягом якого температура печі (нагрівального ковпака) підтримується на рівні, що виключає перегрів частин садки, які найбільш швидко гріються; по мірі прогріву садки температура знижується. Після досягнення точки садки, яка гріється найбільш повільно, заданої температури термообробки, починається витримка, а потім період охолодження печі, який закінчується при досягненні заданої температури частини садки, яка вичахає найбільш повільно [2].



1 – подача палива в піч; 2 – температура нагрівального ковпака; 3 – температура муфеля; 4 – температура частини садки, яка нагрівається найбільш швидко; 5 – температура частини садки, яка нагрівається найбільш повільно

Рисунок 1.2 – Схема теплового та температурного режимів ковпакової печі

1.4 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві

1.4.1 Функції системи автоматизації

Система автоматизації газових ковпакових печей для відпалу металу в рулонах в атмосфері HN_x-газу виконує наступні функції:

- автоматична підтримка стабільності заданих значень температури в печі;

- контроль параметрів технологічного процесу:

а) тиск природного газу;

б) тиск захисного газу;

в) тиск повітря;

г) витрата захисного газу;

- світлозвукова сигналізація і автоматичне перекриття подачі природного газу при падінні тиску в трубопроводі;

- введення завдання.

1.4.2 Технічне забезпечення діючої системи

Вимірювання і регулювання температури металу в ковпаковій печі проводиться за допомогою стаціонарної хромель-алюмелевої термопари (ТХА-2088-04), пристрою контролю й реєстрації температури типу ФЩЛ - 502, подачею газу на пальники через керуючий клапан. Прилад ФЩЛ - 502 має клас точності - 0,5 та діапазон вимірювання 0 - 1100 ^{0}С. Термопара під'єднується до пристрою контролю та реєстрації ФЩЛ - 502. Регулювання температури газу може здійснюватися в автоматичному або ручному режимі.

Тиск ежекторного повітря вимірюють датчиком Сапфир 22 М ДИВ, клас точності – 0,5, верхня межа вимірювання – 5 кПа.

Тиск природного газу вимірюють датчиком Метран - 100 ДИ - 1143, клас точності – 0,5, верхня межа вимірювання – 250 кПа. Прилад Диск - 250 реєструє значення тиску природного газу, клас точності 0,5, діапазон вимірювання 0 - 1,6 кгс/см^2.

Витрату природного газу визначають по перепаду тиску на діафрагмі ДК 25, значення тиску надходить на датчик різниці тиску Метран - 100 ДД - 1411, клас точності – 0,5, верхня межа вимірювання – 2,5 кПа. Прилад Диск -

250 реєструє значення витрати природного газу 0 – 4000 $м^3$/г, клас точності 0,5.

Тиск захисного газу вимірюють датчиком Сафір М 5120, клас точності - 0,5, верхня межа вимірювання – 2,5 кПа. Прилад Диск - 250 реєструє значення тиску захисного газу, клас точності 0,5, діапазон вимірювання 0 - 250 кгс/$м^2$.

Витрату захисного газу визначають по перепаду тиску на діафрагмі ДК 25, значення тиску надходить на датчик різниці тиску Метран - 100 ДД - 1420, клас точності – 0,5, верхня межа вимірювання – 10 кПа. Прилад Диск - 250М реєструє значення витрати захисного газу 0 - 2500 $м^3$/г, клас точності 0,25.

Всі прилади встановленого на щиті контрольно - вимірювальних приладів (КВП) у приміщеннях контрольно розподільних пунктів (КРП).

1.4.3 Недоліки існуючої системи управління

Піч має невисоку ефективність та надійність роботи із-за наявності таких недоліків:

- відсутності надійного автоматичного управління в широкому (350...850 ^{0}С) діапазоні зміни температурних режимів;
- відсутності централізованого збору даних;
- відсутності системи верхнього рівня;
- застарілого обладнання;
- не зручність фіксування та стеження персоналом, за інформацією про приналежністьвідпалу, марки металу, часу посаду в піч, велика кількість записів на папері вторинних приладів, складності зберігання і документування даних про технологічний процес, на відміну від цифрового документування і зберігання даних, можливі помилки працівників.

1.5 Постановка задачі дослідження

Метою даного дослідження є розроблення та обґрунтування технічних і програмних рішень з модернізації системи автоматизації відділення газових одностопних ковпакових печей для відпалу металу в рулонах з метою підвищення ефективності, надійності та безпеки технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати існуючий технологічний процес відпалу та діючу систему керування, визначити її функціональні та технічні недоліки, а також оцінити відповідність застосованих засобів автоматизації сучасним вимогам до промислових систем керування. Особливу увагу слід приділити питанням точності вимірювання та регулювання температури, контролю параметрів газового господарства, збору, обробки та зберігання технологічних даних.

У межах дослідження передбачається вибір сучасного програмно-технічного комплексу автоматизації на базі промислового контролера, розроблення структури системи керування та людино-машинного інтерфейсу АРМ оператора, а також визначення вимог до інформаційного обміну між рівнями автоматизації. Результати роботи мають забезпечити підвищення якості керування процесом відпалу, зменшення впливу людського фактора та створення передумов для подальшої цифровізації виробництва.

2 АНАЛІЗ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЛЯНКИ

2.1 Організація роботи

На металургійному комбінаті повного циклу функціонують основні виробництва:

- агломераційний цех;
- доменний цех;
- мартенівський цех;
- цех підготовки сталерозливних потягів;
- ливарний цех;
- обтискний цех;
- цех гарячої прокатки тонкого листа;
- цехи холодної прокатки.

А також допоміжні цехи:

- інструментальний;
- ремонтний;
- енергетичний;
- обслуговуючих хазяйств: складські, транспортні.

Основні відділення та ділянки цеху холодної прокатки:

- травильне відділення;
- відділення прокатних станів;
- термічне відділення;
- відділення виробництва жерсті;
- ділянка прийому та відвантаження готової продукції;
- відділ ремонту електроустаткування;
- відділ ремонту механо-енергоустаткування;
- виробничо-диспетчерське бюро;
- бюро охорони праці;
- бюро економічного аналізу;
- бюро обліку;

- ділянка КВП і А.

З цеху гарячої прокатки тонкого листа транспортуються гарячекатані рулони по конвеєру, який знаходиться під поревхнею землі (під проїзджою частиною), далі рулони потрапляють в травильне відділення для зняття поверхневого шару забруднень, оксидів, жирової плівки. Далі в прокатне відділення, де на прокатних станах прокатують рулони стрічки. Потім рулони переміщують в термічне відділення, там вони проходять термічну обробку в колпакових печах. Після термічної обробки рулони транспортують в відділення дресирування металу. Призначення дресирування полягає в тому, щоб створити деяке зміцнення поверхневих шарів металу, щоб попередити утворення ліній текучості і зламів при отриманні виробів методом глибокої витяжки. Крім того, дресируванням на гладких твердих валках досягається поліпшення поверхні листів. Поверхня стає рівною і гладкою. Така поверхня забезпечує кращий вигляд зовнішнього покриття: забарвлення, лакування, лужіння і т. п. Потім на апаратах повздовжнього різання рулони розрізають на необхідний споживачам розмір. І далі в відділі прийому та відвантаження продукція пакується і транспортується споживачам. Також в цеху є відділ жерсті, де виготовляють чорну та білу жерсть гарячого лужіння. А також в є допоміжні відділи, які обслуговують основні відділи та цех в цілому [3].

2.2 Схема інформаційних потоків

З позиції АСУ ТП інформація ділиться на вхідну, проміжну і вихідну. Вхідна інформація є даними, що поступають від первинних вимірювальних приладів, які встановлені на технологічному агрегаті. Проміжна інформація – це інформація, що виходить в процесі обробки і перетворення. Вихідна інформація є діями, що управляють. Вихідною інформацією також є дані про хід технологічного процесу.

Таким чином, для якісного ведення процесу нагріву металу необхідно мати уявлення про процес, як про систему технологічного устаткування і інформаційних потоків усередині цієї системи.

На схемі інформаційних і матеріальних потоків (рис. 2.1) зображено вихідний матеріал, що поступає на об’єкт управління – сортовий прокат, кінцева продукція – термічно оброблений метал. На об’єкт, окрім сортового прокату подається повітря, природний та захисний газ, а відводяться димові гази.

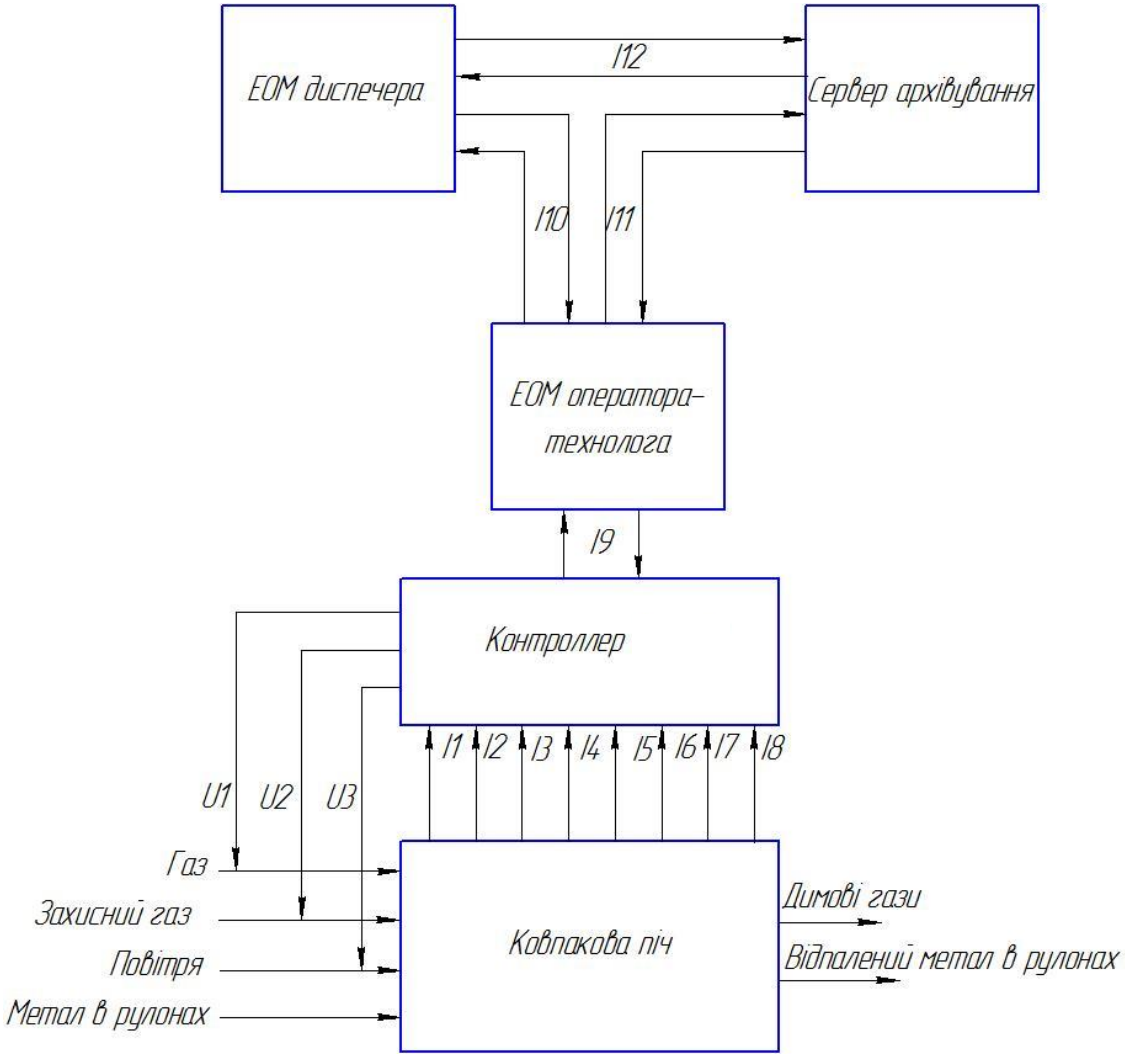


Рисунок 2.1- Схема інформаційних та матеріальних потоків

Від датчиків та вторинних приладів на мікропроцесорний контролер SIMATIC S7-1500(Siemens)подається наступна інформація:

I1 - температура під муфелем;

I2 –розрідження у димовому каналі;

I3 – тиск природного газу;

I4 – тиск захисного газу;

I5 – тиск ежекторного повітря;

I6 –витрата природного газу;

I7 – витрата повітря на ежектори;

I8 – витрата захисного газу.

Інформація про хід технологічного процесу I9 з контролера поступає на ЕОМ оператора-технолога, оператор відповідно до вибраного режиму відпалу та алгоритму управління, вводить в контролер технологічні завдання. Використовуючи SCADA-систему контролює технологічний процес.

Після обробки за заданим алгоритмом, контролер видає сигнали, які управляють виконавчими механізмами. Виконавчі механізми здійснюють управління положенням регулювальних органів, що регулюють подачу природного газу U1, захисного газу U2 та повітря U3.

Інформація про результат відпалу I10 (кількість відпалених рулонів, показники витрат, затрачений час на технологічні операції, звіт тривог та ін.) з ЕОМ оператора передається на ЕОМ диспечера, звідти передається інформаці планування роботи термічного відділення (режими та цикли відпалу, формування стоп, данні про рулони та ін).

Необхідна інформація передається на ЕОМ оператора I11 і ЕОМ диспечера I12 з сервера, і передається з ЕОМ оператора та ЕОМ диспетчера на сервер для архівування.

2.3 Технічне завдання до верхнього рівня АСУТП

Створення автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) є необхідною умовою підвищення ефективності, надійності та безпеки сучасного металургійного виробництва. Застосування АСУ ТП дозволяє забезпечити стабільність технологічних режимів,

оперативний контроль параметрів процесу, зменшення впливу людського фактора та підвищення якості готової продукції. У зв’язку з ускладненням технологічних процесів і зростанням вимог до енергоефективності та інформаційної прозорості виробництва виникає потреба у формуванні чітких вимог до АСУ ТП, що визначають її функціональні можливості, технічну структуру та умови експлуатації [4].

2.3.1 Призначення та мета створення АСУТП

АСУТП блоку копвакових печей термічного відділення призначена для:

- дистанційного, автоматичного або ручного управління процесом відпалу металу в ковпакових печах, шляхом видачі керуючих впливів на виконавчі механізми;

- сигналізаціїї виходу параметрів за встановлені межі;

- стабілізації заданих режимів роботи;

- візуального контролю за технологічними параметрами,

- виявлення відмов в роботі технічних засобів та видачі відповідних повідомлень;

- збору, архівування та передачі інформації на верхній рівень АСУ ТП та на сервер;

- поліпшення умов праці робітників, шляхом спрощення процесу стеження, фіксування, зберігання та ведення документаціїї данних про хід технологічного процесу.

У проєкті в результаті робіт по зміні системи автоматизації відділення ковпакових печей з впровадженням розробленої АСУТП намічається зниження поточних ремонтів, збільшення продуктивності, зниження споживання природного газу. У результаті можна домогтися збільшення річного обсягу виробництва, зниження собівартість тони продукції, зростання рентабельності продукції.

Таким чином, створення АСУ ТП дозволить:

- підвищити надійність роботи засобів контролю, вивільнити з роботи засоби контролю та реєстрації, які відпрацювали свій технічний ресурс;

- підвищити ефективність роботи установки і забезпечити резерви для її подальшого розширення та модернізації;

- поліпшити якість процесів контролю та управління технологічним процесом за рахунок устаткування виробництва сучасними технічними засобами;

- підвищити безпеку роботи установки завдяки запобіганню помилкових дій персоналу та локалізації аварій у разі їх виникнення;

- посилити технологічну дисципліну технологічного та обслуговуючого персоналу шляхом контролю і фіксуванню дій;

- поліпшити умови роботи технологічного і обслуговуючого персоналу за рахунок централізації функцій контролю, діагностики;

- забезпечити керівників і фахівців інструментарієм та інформацією для більш ефективного управління технологічним процесом.

2.3.2 Вимоги до системи

Вимоги до системи в цілому

Вимоги до структури та функціонування системи

АСУ ТП блоку ковпакових печей повинна виконувати такі функції:

- централізований контроль технологічних параметрів, сигналізація виходу параметрів за встановлені межі;

- визначення параметрів теплового режиму печей, необхідних для термообробки;

- введення завдання;

- стабілізація параметрів теплового режиму на рівні зазначених значень;

- формування, зберігання на зовнішніх носіях історії зміни параметрів теплового режиму печей;

- інформаційне обслуговування операторів;

- виявлення відмов в роботі технічних засобів, видача відповідних повідомлень;

- діагностика ходу технологічного процесу;

- дистанційне керування технологічним устаткуванням і виконавчими пристроями;

Вимоги до чисельності та кваліфікації персоналу і режиму роботи

Склад персоналу та їх обов’язки, який необхідний для забезпечення нормального ходу технологічного процесу АСУ ТП блоку ковпакових печей в термічному відділенні:

- інженер КВП - 12 осіб:технічне обслуговування, проведення профілактичного, поточного ремонту та налагодження всіх складових частин АСУ ТП;

- оператор-технолог – 8 осіб, спостереження за ходом технологічного процесу;

- диспетчер – 8 осіб, забезпечує взаємодію термічного відділення з іншими відділеннями, планування роботи термічного відділення (режими та цикли відпалу, формування стоп, данні про рулони та ін).

Вимоги до кваліфікації персоналу

Інженер КВП

Необхідна освіта, спеціальний досвід: повна або базова вища освіта відповідного напряму підготовки (магістр, спеціаліст або бакалавр) та підвищення кваліфікації.

Знання необхідних для виконання обов'язків законодавчих актів та нормативних документів: Закон України «Про охорону праці»; міжгалузеві, галузеві та інші нормативні акти про охорону праці в частині, що стосується виконання обов'язків; правила пожежної безпеки для підприємств чорної металургії; Закон України «Про пожежну безпеку»; порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на

виробництві; техніко-експлуатаційні характеристики, конструктивні особливості, призначення і режими роботи устаткування, правила його технічної експлуатації; керівні та нормативні матеріали, що стосуються експлуатації та ремонту засобів обчислювальної техніки, і використання обчислювачної техніки для управління технологічним процесом. Стандарти, регрегламентують порядок виконання технічної документації на стадіях впровадження та експлуатації системи АСУ ТП; архітектура і робота засобів обчислювальної техніки і нестандартного обладнання, що входить до складу експлуатованих систем; принципові схеми технічних засобів, основні зв'язки між пристроями, що входять до складу систем; фактичні електричні параметри, при яких працюють системи; схеми живлення і заземлення технічних засобів; схеми діагностики пристроїв і ЕОМ; організація ремонтного обслуговування; методи розробки перспективних і річних планів (графіків) роботи і порядок складання звітності про їх виконання; порядок складання заявок на устаткування, запасні частини, про-ведення ремонту та іншої технічної документації; інформаційне забезпечення закріплених за фахівцем систем; загальна структура, цілі і завдання окремих частин математичного та програмного забезпечення систем, закріплених за фахівцем; загальна структура, цілі і завдання систем, що вирішуються в секторі; організаційна структура підприємства, технологічний взаємозв'язок цехів, основні технологічні операції металургійного виробництва; організаційна структура відділу АСУТП і його взаємозв'язок з іншими підрозділами; основи економіки та організації виробництва і праці; Конституція України, основи трудового законодавства; Стратегія повоєнного відновленя країни; правила внутрішнього трудового розпорядку.

Оператор-технолог/диспетчер прокатного відділення

Необхідна освіта, спеціальний досвід: повна вища освіта відповідного напряму підготовки (магістр, спеціаліст) та підвищення кваліфікації.

Знання необхідних для виконання обов'язків законодавчих актів та нормативних документів:Закон України «Про охорону праці»; положення

про систему управління охороною праці на підприємстві; міжгалузеві, галузеві та інші нормативні акти про охорону праці в частині, що стосується виконання обов'язків; правила пожежної безпеки для підприємств чорної металургії; Закон України «Про пожежну безпеку»; порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві; техніко-експлуатаційні характеристики, конструктивні особливості, призначення і режими роботи устаткування, правила йоготехнічної експлуатації; стандарти підприємства;діючі стандарти підприємства інтегрованої системи менеджменту якості, енергоефективності, охорони праці та екології в області АСУ ТП; основи економіки та організації виробництва і праці; основні технологічні процеси виробництва продукції та техніко-економічні показники роботи та перспективи розвитку підприємства; техніко-експлуатаційні характеристики, конструктивні особливості, призначення і режими роботи устаткування, правила його технічної експлуатації; правила експлуатації ПЕОМ; правила експлуатації, техніко-експлуатаційні характеристики, конструктивні особливості, призначення і режими роботи електронного обладнання; основи технології агрегатів і машин цехів, в яких існують або впроваджуються нові системи АСУ ТП, їх призначення, техніко-експлуатаційні характеристики, режими роботи, конструктивні особливості; основи теорії автоматичного управління і регулювання; принципи побудови, засоби технічної та програмної реалізації експлуатованих систем АСУ ТП; інформаційне, математичне та мережеве забезпечення впроваджуваних і модернізованих систем; керівні та нормативні матеріали, що стосуються порядку обстеження функцій об'єкта, розробки технічного завдання, постановки завдання; інформаційне забезпечення закріплених за фахівцем систем; загальна структура, цілі і завдання окремих частин математичного та програмного забезпечення систем, закріплених за фахівцем; загальна структура, цілі і завдання систем, що вирішуються в секторі; організаційна структура підприємтсва, технологічний взаємозв'язок цехів, основні технологічні операції

металургійного виробництва; організаційна структура відділу АСУ ТП і його взаємозв'язок з іншими підрозділами; основи економіки та організації виробництва і праці.

Вимоги до режимів роботи персоналу:

- інженер КВП - чотирьохбригадний графік, 3 людини в одну зміну по черзі;

- оператор-технолог - чотирьох бригадний графік, 2 людини в одну зміну по черзі;

- диспетчер – чотирьохбригадний графік, 2 людини в одну зміну по черзі.

Вимоги до надійності АСУТП

Рівень надійності повинен досягатися узгодженим застосуванням організаційних, організаційно-технічних заходів та програмно-апаратних засобів.

Надійність повинна забезпечуватися за рахунок:

- застосування технічних засобів, системного та базового програмного забезпечення, відповідних класу вирішуваних завдань;

- своєчасного виконання процесів адміністрування АСУ ТП;

- дотримання правил експлуатації і технічного обслуговування програмно-апаратних засобів;

- попереднього навчання користувачів та обслуговуючого персоналу.

Час усунення відмови має бути наступним:

- при перерві і виході за встановлені межі параметрів електроживлення − не більше 4 хвилин.

- при перерві і виході за встановлені межі параметрів програмного забезпеченням − не більше 2 годин.

- при виході з ладу обладнання − не більше 5 годин.

Система повинна відповідати наступним параметрам:

- середній час відновлення не більше 40 годин;

- коефіцієнт готовності не менше 0,98;

- час напрацювання на відмову не менше 8000 годин.

Вимоги до ергономіки та технічної естетики

Взаємодію користувачів з прикладним програмним забезпеченням, що входять до складу системи має здійснюватися за допомогою візуального графічного інтерфейсу (GUI). Інтерфейс системи повинен бути зрозумілим і зручним, не повинен бути перевантажений графічними елементами і повинен забезпечувати швидке відображення екранних форм. Навігаційні елементи повинні бути виконані в зручній для користувача формі. Засоби редагування інформації повинні задовольняти прийнятим угодам в частині використання функціональних клавіш, режимів роботи, пошуку, використання віконної системи. Введення-виведення даних системи, прийом керуючих команд і відображення результатів їх виконання повинні виконуватися в інтерактивному режимі. Інтерфейс повинен відповідати сучасним ергономічним вимогам і забезпечувати зручний доступ до основних функцій та операцій системи.

Інтерфейс повинен бути розрахований на переважне використання маніпулятора типу «миша», тобто управління системою повинно здійснюватися за допомогою набору екранних меню, кнопок, значків і подібних елементів. Клавіатурний режим введення повинен використовується головним чином при заповненні та/або редагуванні текстових і числових полів екранних форм.

Всі написи екранних форм, а також повідомлення, що видаються користувачеві (крім системних повідомлень) повинні бути українською мовою.

Система повинна забезпечувати коректну обробку аварійних ситуацій, викликаних невірними діями користувачів, невірним форматом або неприпустимими значеннями вхідних даних. У зазначених випадках система повинна видавати користувачу відповідні повідомлення, після чого

повертатися в робочий стан, що передувала неправильній (неприпустимій) команді або некоректного введення даних.

Екранні форми повинні проектуватися з урахуванням вимог уніфікації:

- всі екранні форми для користувача інтерфейсу повинні бути виконані в єдиному графічному дизайні, з однаковим розташуванням основних елементів управління та навігації;

- для позначення східних операцій повинні використовуватися подібні графічні значки, кнопки та інші керуючі (навігаційні) елементи. Терміни, що використовуються для позначення типових операцій (додавання інформаційної суті, редагування поля даних), а також послідовності дій користувача при їх виконанні, мають бути уніфіковані;

- зовнішня поведінка подібних елементів інтерфейсу (реакція на наведення покажчика «миші», перемикання фокусу, натиснення кнопки) повинні реалізовуватися однаково для однотипних елементів.

Система повинна відповідати вимогам ергономіки та професійної медицини за умови комплектування високоякісним обладнанням (ПЕОМ, монітор та інше обладнання), відповідно до ДСанПіН 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів»[5].

Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і збереження компонентів сиситеми.

Умови експлуатації, а також види і періодичність обслуговування технічних засобів АСУ ТП повинні відповідати вимогам по експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і збереження, викладеним у документації заводу-виробника на них.

Технічні засоби АСУ ТП і персонал повинні розміщуватися в існуючих приміщеннях, які за кліматичними умовами повинні відповідати 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» та ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату

виробничих приміщень» (температура навколишнього повітря від 5 до 40 ° С, відносна вологість від 40 до 80% при Т = 25 ° С, атмосферний тиск від 630 до 800 мм ртутного стовпа)[6]. Розміщення технічних засобів і організація автоматизованих робочих місць повинні бути виконані відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 12.2.091:2004 Безпека електричних контрольно-вимірювальних приладів та лабораторного обладнання[7].

Для електроживлення технічних засобів повинна бути передбачена трифазна чотирипровідна мережу з глухо заземленою нейтраллю 380/220 В (±10-15)% частотою 50 Гц (±1) Гц. Кожний технічний засіб живиться однофазним напругою 220 В частотою 50 Гц через мережеві розетки із заземлюючим контактом.

Для забезпечення виконання вимог по надійності повинен бути створений комплект запасних виробів і приладів.

Склад, місце та умови зберігання запасних виробів і приладів визначаються на етапі технічного проектування.

Вимоги до захиту від несанкціонованого доступу

АСУ ТП повинні забезпечувати:

- ідентифікацію користувача;

- перевірку повноважень користувача при роботі з системою;

- розмежування доступу користувачів на рівні завдань та інформаційних масивів.

Протоколи аудиту системи і додатків повинні бути захищені від несанкціонованого доступу як локально, так і в архіві.

Рівень захищеності від несанкціонованого доступу засобів обчислювальної техніки, обробляють конфіденційну інформацію, повинен відповідати вимогам до класу захищеності згідно з вимогами діючого законодавства та нормативним актам (ДСТУ3396.0-96 «Державний стандарт України. Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення»)[8].

Захищена частина системи повинна використовувати «сліпі»паролі (при наборі пароля його символи не відображаються на екрані або замінюються одним типом символів; кількість символів не відповідає довжині пароля).

Захищена частина системи повинна автоматично блокувати сесії користувачів і додатків за заздалегідь заданий час відсутності активності з боку користувачів і додатків.

Захищена частина системи повинна використовувати багаторівневу систему захисту. Захищена частина системи повинна бути відокремлена від незахищеною частини системи фаєрволом.

Вимоги щодо збереження інформації при аваріях

Інформація в базі даних системи повинна зберігатися при виникненні аварійних ситуацій, пов'язаних зі збоями електроживлення.

Система повинна мати безперебійне електроживлення, що забезпечує її нормальне функціонування протягом 4 хвилини у разі відсутності зовнішнього енергопостачання, і 1 хвилину додатково для коректного завершення всіх процесів.

Резервне копіювання даних повинне здійснюватися на регулярній основі, в обсягах, достатніх для відновлення інформації в підсистемі зберігання даних.

Вимоги до захисту від впливу зовнішніх дій

Технічні засоби системи автоматизації повинні відповідати вимогам «Правил улаштування електроустановок». Приміщення для розміщення компонентів АСУ ТП повинні задовольняти вимогам ДБН В.1.2-8:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров’я та захист довкілля» та ДБН А.2.2-3-2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [9,10].

Стосовно до програмно-апаратної частини АСУ ТП, висуваються такі вимоги до захисту від впливу зовнішніх дій.

Вимоги до радіоелектронної захисту:

- електромагнітне випромінювання радіодіапазону, що виникає при роботі електропобутових приладів, електричних машин і установок, прийомопередаючих пристроїв, що експлуатуються на місці розміщення АСУ ТП, не повинні призводити до порушень працездатності підсистем.

Вимоги стійкості до зовнішніх впливів:

- система повинна мати можливість функціонування при коливаннях напруги електроживлення в межах від 155 до 265 В (220 ± 20% - 30%);

- система повинна мати можливість функціонування в діапазоні допустимих температур навколишнього середовища, встановлених виробником апаратних засобів;

- система повинна мати можливість функціонування в діапазоні допустимих значень вологості навколишнього середовища, встановлених виробником апаратних засобів;

- система повинна мати можливість функціонування в діапазоні допустимих значень вібрацій, встановлених виробником апаратних засобів.

Вимоги щодо стандартизації та уніфікації

Проектована АСУТП повинна створюватися на основі діючих стандартів, норм, правил та інших нормативно-технічних документів. При модернізації повинні максимально використовуватися типові проектні рішення в АСУ ТП.

Уніфікація технічних рішень повинна забезпечуватися однаковим підходом до вирішення однотипних задач АСУ ТП.

Однаковий підхід до вирішення однотипних завдань повинен досягатися:

- уніфікацією алгоритмів функціонування АСУ ТП;

- уніфікацією функціональної структури АСУ ТП в частині інформаційних, допоміжних функцій системи і в частині зв'язків між ними;

- орієнтацією на однаковий програмно-технічний спосіб реалізації однакових функцій системи;

- використанням типізації алгоритмічних модулів та уніфікації компонентів видів забезпечення.

Уніфікація компонентів технічного забезпечення АСУ ТП повинна бути спрямована на:

- використання раціонально обмеженої кількості типів датчиків аналогових і дискретних сигналів, а також вторинних вимірювальних та інших перетворювачів з існуючих уніфікованих рядів;

- застосування у всіх частинах і на всіх рівнях системи засобів обчислювальної техніки єдиної архітектурної лінії, що володіють властивостями електричної, логічної, конструктивної та іншої сумісності та мають єдину встановлену систему інтерфейсів;

- використання однакових засобів і способів конструктивного і ергономічного компонування обладнання.

Уніфікація компонентів забезпечення АСУ ТП в частині зв'язку технічних засобів АСУ ТП з оператором повинна бути спрямована на впровадження типових автоматизованих робочих місць та діалогових методів вирішення завдань.

Уніфікація компонентів програмного забезпечення АСУ ТП повинна бути спрямована в частині:

- загального програмного забезпечення − на максимальне використання стандартних програмних засобів;

- спеціального програмного забезпечення − на використання методів структурного програмування, модульного принципу побудови програмних компонентів і однакових зв'язків між програмними модулями, прийнятих на стадіях проектування системи управління.

Уніфікація компонентів інформаційного забезпечення АСУ ТП повинна бути спрямована в частині:

- за межами машинної інформаційної бази − на використання єдиної системи ідентифікації документів і показників, єдиних методів і засобів підготовки, контролю, збору, зберігання і коригування всіх документованих відомостей і повідомлень, що використовуються в системі, а також на раціональне обмеження використовуваних форм документів;

- всередині машинної інформаційної бази − на використання уніфікованих сигналів і кодів, єдиних способів структуризації даних та побудови баз даних, управління базами даних, доступу до баз даних і методів зв'язку програм і даних.

Уніфікація компонентів організаційного забезпечення АСУ ТП повинна бути спрямована на:

- розробку і використання єдиної наскрізної системи кодування технологічного обладнання та його елементів, пристроїв автоматики та їх основних самостійних елементів, вимірюваних і регульованих параметрів;

- використання єдиних принципів, методів, засобів і процедур зв'язку і взаємодії різних категорій оперативного персоналу АСУ ТП з комплексом технічних засобів та операторським інтерфейсом;

- виконання комплекту технічної та експлуатаційної документації на систему управління, висунутого замовнику, відповідно до вимог стандартів АСУ ТП;

- використання уніфікованих форм управлінських документів, класифікаторів техніко-економічної інформації.

Уніфікація компонентів метрологічного забезпечення АСУ ТП повинна бути спрямована на:

- застосування єдиних способів нормування і форм представлення метрологічних характеристик вимірювальних каналів системи даного виду і (або) типу;

- використання єдиних показників і способів вираження точності виконуваних в системі прямих, непрямих і інших вимірів по вимірювальних каналах даного виду і (або) типу.

Вимоги до безпеки

Приміщення для розміщення компонентів АСУ повинні задовольняти вимогам ДБН В.1.2-8:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров’я та захист довкілля» та ДБН А.2.2-3-2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [9 10], ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги»[11].

Всі зовнішні елементи технічних засобів системи, що знаходяться під напругою, повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення відповідно до ДСТУ 7237:2011 та ПУЕ [12].

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне відключення при перевантаженнях і коротких замиканнях в ланцюгах навантаження, а також аварійне ручне відключення.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі загоряння не повинні виділятися отруйні гази та дим. Після зняття електроживлення повинно бути допустимим застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

Фактори, які шкідливо впливають на здоров'я з боку всіх елементів системи (у тому числі інфрачервоне, ультрафіолетове, рентгенівське і електромагнітне випромінювання, вібрація, шум, електростатичні поля, ультразвук малої частоти і т.д.), не повинні перевищувати діючих норм (ДСанНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [13]).

Вимоги до функцій що виконуються системою

Інформаційні функції АСУТП

Вимоги до параметрів, способу і частоти їх отримання в АСУТП представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 − Інформаційні функції системи

Найменування параметра	Діапазон	Спосіб отримання інформації	Місце відображення інформації
Температура під муфелем	0 - 850 °С	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L та БРУ-110 на щиті КВПіА
Розрідження у димовідвідному каналі	-15 - 5 мм.вод.ст	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L та БРУ-110 на щиті КВПіА
Тиск природного газу	0,6 - 0,95 кгс/см^2	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L на щиті КВПіА
Тиск повітря в колекторі	200 - 500 мм.вод.ст	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L на щиті КВПіА
Тиск захисного газу	50 - 200 мм.вод.ст	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L на щиті КВПіА
Витрата природного газу	0 - 68м^3/год	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L на щиті КВПіА
Витрата повітря на для двох ежекторів	0 - 400 м^3/год	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L на щиті КВПіА
Витрата захисного газу	0 - 15 м^3/год	Автоматично, оновлення 1 раз на секунду	На екрані АРМ оператора, реєстратор R10L та БРУ-110 на щиті КВПіА

Опис реалізації функції регулювання АСУ ТП:

- регулювання температури підмуфельного простору шляхом видачі керуючих впливів на виконачий механізм МЕО-100/10-0,25, який регулює положення клапану, змінюючи витрату природного газу;

- регулювання розрідження в димовідвідному каналі шляхом видачі керуючих впливів на виконачий механізм МЕО-100/10-0,25, який регулює положення заслонки, змінюючи витрату повідря на ежектори печі;

- регулювання витрати захисного газу шляхом видачі керуючих впливів на виконачий механізм МЕО-100/10-0,25, який регулює положення клапану, змінюючи витрату захисного газу.

Вимоги до видів забезпечення

Вимоги до математичного забезпечення

До математичного забезпечення висуваються наступні вимоги:

- сумісність і базування математичного забезпечення АСУТП, що розробляється, до наявного математичного забезпечення ЕОМ;

- орієнтованість обраних засобів матиматичного забезпечення на завдання АСУТП;

- достатня різноманітність засобів автоматизації програмування;

- можливість ефективного внесення змін в робочі програми;

- можливість однозначного і вичерпного опису алгоритмів;

- можливість оптимізації роботи програм приватного застосування;

- модульність побудови програм.

Вимоги до інформаційного забезечення

Вимоги до контролю, зберігання, оновлення та відновлення даних

До контролю даних висуваються такі вимоги:

- система повинна протоколювати всі події, пов'язані зі зміною свого інформаційного наповнення, і мати можливість в разі збою в роботі відновлювати свій стан, використовуючи раніше запротокольовані зміни даних.

До зберігання даних висуваються такі вимоги:

- зберігання історичних даних у системі повинно проводитися не більше ніж за 5 (п'ять) попередніх років. По закінченню даного терміну дані повинні переходити в архів;

- історичні дані, що перевищують п'ятирічний поріг, повинні зберігатися на стрічковому масиві з можливістю їх відновлення.

До оновленню та відновлення даних висуваються такі вимоги:

- для сервера збору, обробки та завантаження даних необхідно забезпечити резервне копіювання раз на 2 тижні і зберігання копії протягом 2-х місяців;

- для даних сховища даних необхідно забезпечити резервне копіювання і архівацію на стрічковий масив в наступні проміжки часу:

- холодне копіювання - щоквартально;

- логічне копіювання - щомісяця (кінець місяця);

- інкрементальне резервне копіювання - щотижня (неділя);

- архівування - щоквартально;

Вимоги до лінгвістичного забеспечення

Загальні вимоги та склад

Лінгвістичне забезпечення являє собою сукупність засобів і правил, використовуваних при спілкуванні розробників, користувачів та експлуатаційного персоналу з комплексом засобів ПТК при розробці АСУТП, монтажі та експлуатації системи.

Лінгвістичний забезпечення має бути розраховане на користувача, фахівця у своїй предметній області, що не володіє універсальними мовами програмування або опису алгоритмів.

Лінгвістичний забезпечення оператора-технолога повинно зводитися до системи відеограм і текстових повідомлень, забезпечених необхідними «меню», «підказками» і «допомогою», при організації його діалогу з

системою. Вся текстова інформація повинна бути виконана українською мовою.

Вимоги до мови програмування

Мова програмування має забезпечувати реалізацію всіх завдань прямого цифрового управління (автоматичного регулювання, логічного управління), а також завдань первинної та статистичної обробки інформації шляхом подання їх у вигляді структурних схем перетворення інформації або блок-схем покрокового логічного керування. Алгоритмічні блоки, відповідні певним законом перетворення інформації або одному кроку програм, повинні бути в межах АСУ ТП стандартизовані, а зв'язки між блоками − уніфіковані. Програми, які розроблені в проекті, повинні розроблятися на FBD, LD, ST мовах стандарту МЕК-61131-3 [44].

Вимоги до програмного забезпечення

Загальні вимоги

Програмне забезпечення (ПЗ) має базуватися на міжнародних стандартах і відповідати наступним принципам:

- ієрархічність власне ПЗ і даних;

- ефективність (мінімальні витрати ресурсів на створення та обслуговування ПЗ);

- відкритість, простота інтеграції (можливість розширення і модифікації);

- гнучкість (можливість внесення змін і переналаштування);

- надійність (відповідність заданому алгоритму, відсутність помилкових дій, захист від руйнування і несанкціонованого доступу як програм, так і даних);

- живучість (виконання покладених функцій у повному або частковому обсягах при збоях і відмовах, відновлення після збою);

- стійкість (збій у роботі окремих додатків не повинен призводити до відмови системного ПЗ і системи в цілому);

- уніфікація рішень;

- простота і наочність.

ПЗ поділено на базове (фірмове), що поставляється розробником програмно-технічного комплексу (ПТК), і прикладне (ПЗ користувача), яке може розроблятися як постачальником ПТК, так і розробником АСУ ТП.

Повинні бути передбачені заходи щодо захисту інформації та недопущення внесення змін до базового ПЗ без залучення розробника ПТК. Повинна бути можливість завдання паролів і встановлення меж санкціонованого доступу при внесенні змін до прикладного ПЗ АСУ ТП.

Фірмове ПЗ повинно супроводжуватися експлуатаційною документацією.

Вимоги до базового (фірмовому) програмного забезпечення

Базове ПЗ поділяється на системне ПЗ та ПЗ інструментальних засобів розробки, налагодження та документування.

Системне ПЗ включає в себе:

- стандартні операційні системи;

- пакети програмної підтримки обміну даними;

- системи управління локальними і розподіленими базами даних.

Програмне забезпечення інструментальних засобів розробки, налагодження та документування включає в себе:

- засоби налаштування базового ПЗ, діагностики та самодіагностики працездатності ПТК;

- засоби створення і налагодження прикладного ПЗ;

Операційні системи пристроїв верхнього рівня АСУ ТП повинні відповідати таким вимогам:

- висока продуктивність, підтримка багатозадачного режиму;

- високий ступінь стійкості і надійності;

- підтримка обмінів інформацією по використовуваних в АСУ ТП локальним мережам;

- зручний і зрозумілий користувачеві графічний інтерфейс, простота і ефективність використання;

- можливість роботи з мультимедіа;

- можливість конфігурування під конкретні умови використання.

Рекомендовано використовувати операційні системи − Windows 11Professional. Серверна операційна система −Windows Server 2022.

Інструментальні засоби повинні базуватися на діючих стандартах і забезпечувати вирішення найбільш складних питань, пов'язаних з автоматизацією процесів створення АСУ ТП і прикладних програм: прийом та обробка сигналів, організація автоматичного управління виконавчими пристроями, візуалізація виміряних величин (в тому числі у вигляді графіків, гістограм і т .п.), ведення архівів і генерації звітів. Результатом проектування повинні бути компоненти системи управління, повністю готові до запуску.

Інструментальні засоби повинні поєднувати в собі функції розробки і тестування.

Інструментальне ПЗ повинно включати наступні програмні засоби:

- SCADA-системи;

- бібліотеку програмних модулів стандартних алгоритмів збору і обробки технологічної інформації, управління, регулювання та технологічних захистів;

- пакети програм створення фрагментів і їх окремих елементів;

- організації та обслуговування баз даних;

- проведення самодіагностики і тестування апаратури і програмного забезпечення;

- розробки та включення до складу математичного забезпечення програмно-технічного комплекса і АСУ ТП програм, написаних на універсальних мовах програмування;

Інструментальні засоби, крім перерахованих вище, повинні також включати засоби контролю та діагностики функціонування програмно-

технічного комплекса, а також його корекції, модернізації та налагодження на об'єкті.

Вимоги до прикладного програмного забезпечення

Прикладне (користувальницьке) програмне забезпечення повинне забезпечувати реалізацію програмно-технічного комплекса всіх функцій управління і обробки інформації, включених в технічне завдання на АСУТП.

Повинна передбачатися можливість збереження вихідних програм користувача на магнітних носіях і при необхідності завантаження користувача програм через інтерфейсні канали в пам'ять контролерів. Аналогічна можливість повинна передбачатися і для програмного забезпечення верхнього рівня АСУТП.

Повинна передбачатися (у разі необхідності) можливість підготовки, зміни або корекції (у допустимих межах, передбачених при створенні АСУ ТП) користувача програм в процесі роботи програмно-технічного комплекса у складі АСУТП і технологічного устаткування. При цьому, як правило, повинна бути виключена необхідність залучення розробників або професійних програмістів. Коригування окремих програм повинна бути локальною і не повинна вимагати втручання в інші програми[14].

Вимоги до технічного забезпечення

Всі елементи АСУ ТП повинні бути об'єднані багаторівневої мережею зв'язку, по якій проводиться обмін інформацією між цими елементами.

Програмно-технічний комплекс повинен являти собою ієрархічну, розосереджену, розподілену мікропроцесорну систему, що складається з апаратно і програмно сумісних технічних засобів.

Програмно-технічні комплекси та їх складові елементи повинні бути пристосовані до безперервно-дискретного режиму роботи в жорстких умовах промислової експлуатації (висока температура, наявність пилу, вологи, вібрації).

Засоби передачі інформації

Всі елементи АСУТП повинні бути об'єднані багаторівневої мережею зв'язку, по якій проводиться обмін інформацією між цими елементами.

Мережеві засоби АСУТП повинні забезпечувати необхідний рівень гальванічного розподілу територіально розосереджених пристроїв (від 500 В до 2,5 кВ і більше), різний для окремих сегментів мережі, який визначається протяжністю сегментів і зовнішніми чинниками.

Зв'язок з автономними підсистемами автоматичного управління, збору інформації, повинний забезпечуватися при використанні сучасних мережевих засобів і протоколів обміну, які знайшли широке застосування, або прийнятих в якості міжнародного стандарту.

Контролери

У складі програмно-технічного комплекса, як правило, повинні використовуватися контролери, реалізовані на базі сучасних мікропроцесорів відповідно до загальноприйнятих у світовій практиці промисловими стандартами, з розвиненою системою команд, що дозволяють реалізувати в реальному часі передбачені алгоритми контролю і управління технологічним процесом. Контролери повинні також ефективно (оперативно і без втрат) обробляти внутрішні і зовнішні події і обмінюватися інформацією та командами з іншими елементами системи.

Розробка прикладного програмного забезпечення контролерів повинна здійснюватися з використанням інструментальних засобів програмно-технічного комплекса на звичайному персональному комп'ютері.

Інформаційно-обчислювальна підсистема АСУ ТП, складається з робочих станцій і серверів, оснащених фірмовим (базовим) програмним забезпеченням.

Робочі станції і сервери призначені для:

- подання, зберігання і обробки технологічної інформації;
- виконання функцій і завдань розрахункового характеру;
- реалізації загальносистемних функцій АСУТП

- організації зв'язку користувачів з системою і ПТК.

Станція оператора повинна бути побудована на базі промислового компьютера. Станція диспетчера оператора повинна бути побудована на базі ПК офісного виконання. До складу станцій крім системного блоку і монітора включені звичайна і функціональна клавіатура (промисловій ПК станції технолога), оптична «миша». Функціональні клавіатури повинні бути промислового виконання.

Промисловий комп'ютер АРМ оператора-технолога повинени відповідати критеріям:

- процесор − IntelCorei3/i5 або аналогічний
- ОЗУ –мінімум 8 ГБ
- простір на жорсткому диску − 500ГБ
- відповідність процесора, пам'яті і апаратних можливостей до обраного програмного забезпечення;
- кількість LAN-портів не менше 2, USB-портів не менше 4;
- ступінь пиловолого захисту не нижче IP65.

Монітори (дисплеї) операторської і диспетчерскоїх станцій, є основними засобами відображення оперативної інформації користувачам. У робочих станціях повинні застосовуватися кольорові графічні дисплеї високого роздільної здатності. Напрацювання на відмову дисплеїв повинна становити не менше 20 тис. год.

Для отримання друкованих копій екранів моніторів і друку інформації (ведення протоколів, складання звітів, відображення результатів розрахунків тощо) у складі АРМ оператора-технолога і диспетчера повинні бути передбачені багатофункціональні пристрої друку.

Вимоги до метрологічного забезпечення

Метрологічне забезпечення вимірювальних систем повинні відповідати таким нормативно-правовими документам: Закон «Про метрологію та метрологічну діяльність», Закон «Про забезпечення єдності вимірювань»,

«Типове положення про державні наукові метрологічні центри (ДНМЦ) Держспоживстандарту України».

Засоби вимірювання (ЗВ), що входять в систему контролю, управління повинні мати сертифікат про затвердження типу ЗВ, опис типу ЗВ, методику повірки. Всі методики вимірювання, які використовуються в сфері державного метрологічного контролю та нагляду, повинні бути атестовані. Для вимірювальних каналів ЗВ повинні бути представлені рекомендації (інструкції) з повірки (калібрування), затверджені в установленому порядку. Всі метрологічні характеристики вимірювальних і управляючих засобів повинні бути представлені фірмою-виробником в документації на технічні та програмні засоби. Межі допустимих значень похибки вимірювальних каналів не повинні перевищувати норм технологічного регламенту. Для технічних засобів, що беруть участь в процесі вимірювання контрольованих параметрів повинні бути забезпечені відповідні умови експлуатації (температура, вологість). Повинен бути забезпечений контроль умов їх експлуатації в приміщеннях управління.

2.4 Висновки до розділу 2

У розділі 2 виконано аналіз та обґрунтування технічних рішень щодо побудови автоматизованої системи керування блоком ковпакових печей для термообробки металу. На основі аналізу технологічного процесу визначено основні вимоги до системи керування, збору, обробки та архівування технологічної інформації, а також до надійності та безперервності роботи обладнання.

Обґрунтовано вибір програмно-апаратної структури АСУ ТП з використанням промислового контролера Siemens SIMATIC S7-1500, що забезпечує високу точність регулювання температурних режимів, масштабованість системи та сумісність із сучасними промисловими протоколами обміну даними. Для організації людино-машинного інтерфейсу

обрано SCADA-систему Siemens WinCC Unified, яка дозволяє реалізувати ефективний моніторинг, керування та діагностику технологічного процесу в реальному часі.

Розглянуто структуру промислової мережі з використанням інтерфейсів RS-485 (Modbus RTU) та Gigabit Ethernet, що забезпечує надійний обмін даними між польовим рівнем, сервером архівування та робочими місцями операторів. Також визначено вимоги до апаратного забезпечення АРМ оператора-технолога і диспетчера.

Запропоновані рішення відповідають сучасним вимогам промислової автоматизації, нормативним документам та забезпечують ефективне керування технологічним процесом термообробки.

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЛОКОМ КОВПАКОВИХ ПЕЧЕЙ

3.1 Аналіз існуючих систем автоматизації

Система управління відпалом і стеження за рулонами на ділянці колпакових печей листопрокатного виробництва

Відділення колпакових печей сформовано з 18 печей фірми «Ебнер», газозмішувальної станції захисного газу. Виробляє рекристаллізаціонний відпал холоднокатаного металу по одноступеневому, двоступеневому або температурно-швидкісному режимах залежно від сортаменту металу, що нагрівається.

Функції системи автоматизації[15, 16]:

- розрахунок і видача завдань на контролери для ведення відпалу;
- автоматичне керування відпалом металу в печах згідно розрахованої програми;
- автоматичне керування газозмішувальною станцію;
- візуалізація технологічного процесу;
- регулювання температурного режиму відпалу;
- збір і індикація даних про процес відпалу;
- реєстрація технологічних даних;
- зв'язок з верхнім рівнем;
- діагностика несправності обладнання.

Налаштування на процес:

- налаштування системи повідомлень;
- налаштування зв'язку з конролерами і засобів перевірки зв'язку;
- налаштування параметрів програмних регуляторів в контролерах;
- введення і коригування режимів відпалу;
- протокол метрологічної атестації.

На рисунках 3.1-3.4 наведено інтерфейси існуючої системи автоматизації відділення ковпакових печей, що забезпечують оперативне керування процесом рекристалізаційного відпалу, контроль параметрів технологічного режиму та взаємодію оператора з системою.

«Основний екран» (рис. 3.1) відображає загальний стан відділення ковпакових печей у реальному часі. На цьому екрані оператор отримує зведену інформацію про роботу всіх печей, стан стендів, наявність рулонів металу, а також ключові технологічні параметри: температуру, стадію циклу відпалу, час перебування металу в печі та стан допоміжних систем. Екран виконує функцію оперативної диспетчеризації та дозволяє швидко оцінити завантаження обладнання і виявити відхилення від нормального режиму роботи. Кольорове виділення станів обладнання забезпечує зручність сприйняття інформації та зменшує ймовірність помилок з боку оператора.

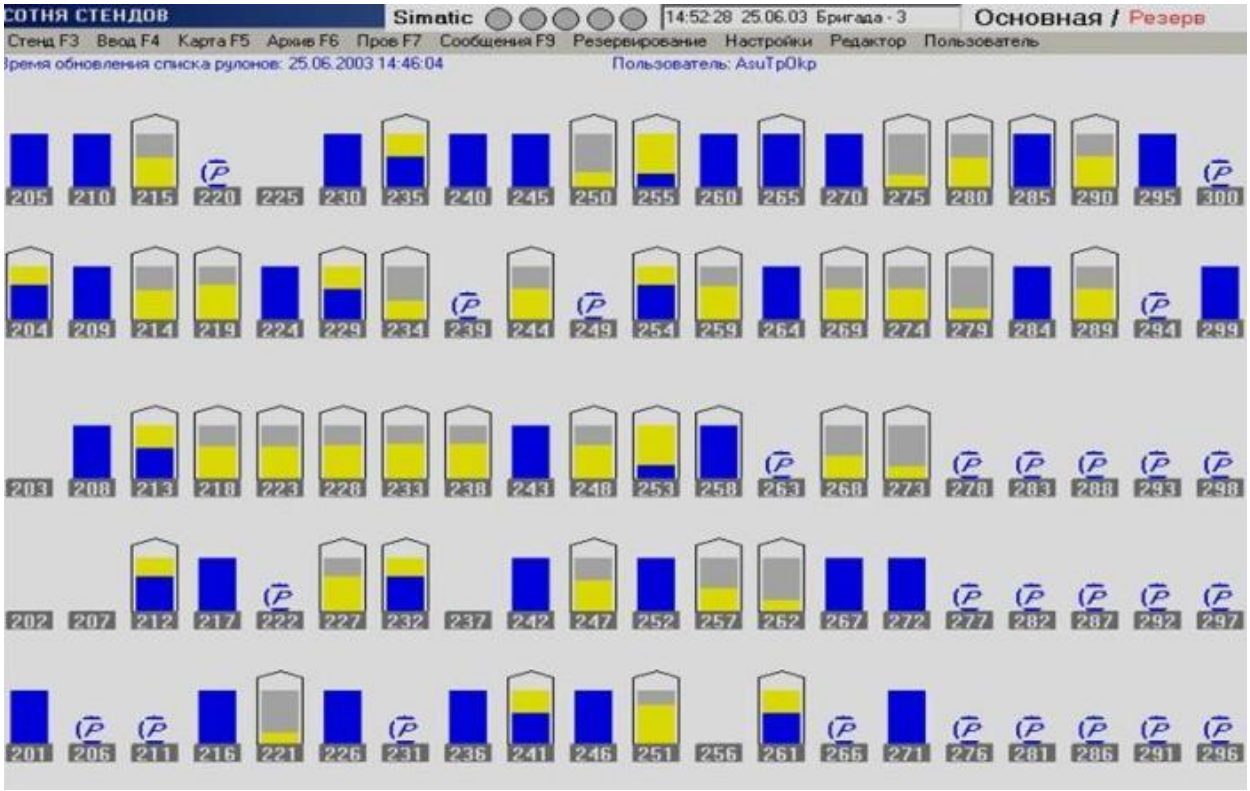


Рисунок 3.1 − Основний екран

На рис. 3.2 представлено вікно формування та коригування технологічного завдання для конкретного стенду або печі. У цьому

інтерфейсі оператор вводить основні параметри циклу відпалу: тип металу, режим нагріву, швидкість підйому температури, витримку, охолодження та інші технологічні характеристики. Система автоматично перевіряє коректність введених даних і передає сформоване завдання на контролери нижнього рівня, які реалізують керування нагрівальними елементами та газовим середовищем. Таким чином, цей екран забезпечує зв’язок між технологічним персоналом і системою керування процесом.

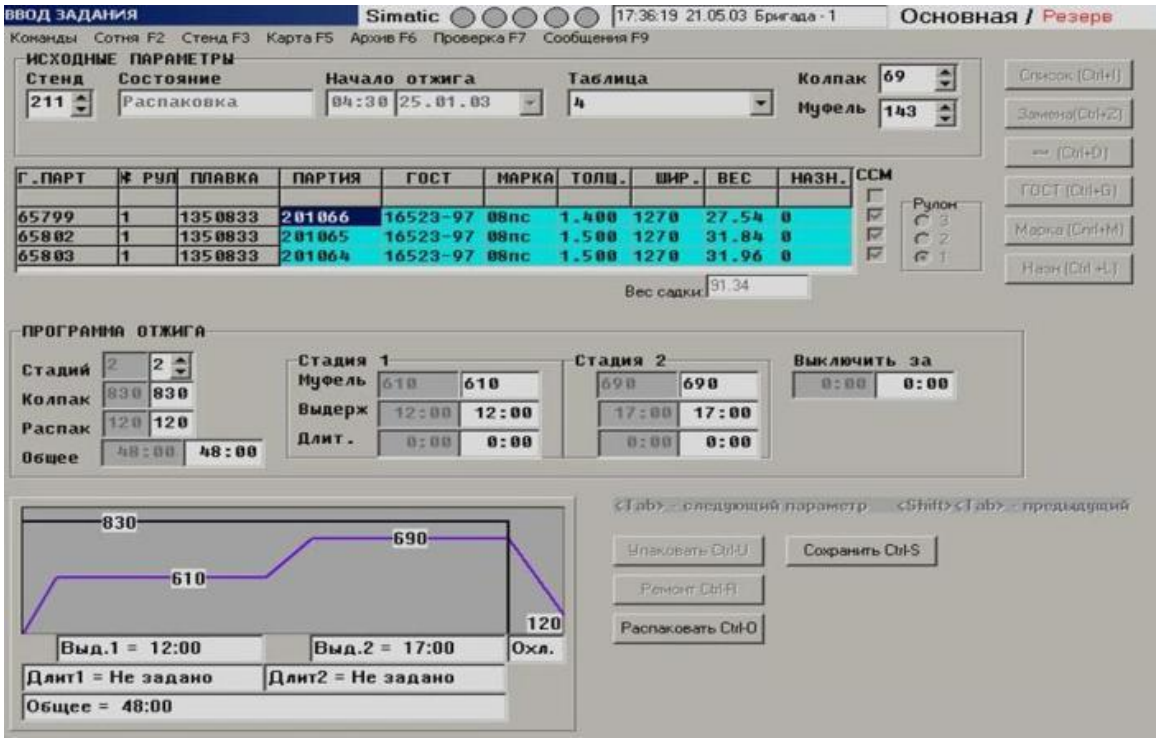


Рисунок 3.2 − Введення завдання на відпал

Детальна інформація про вибраний стенд ковпакової печі наведено на рис. 3.3. Тут виводяться поточні значення температури, стан виконавчих механізмів, положення клапанів, режим подачі захисного газу, а також сигнали аварійної та попереджувальної сигналізації. Даний екран використовується для локального контролю процесу відпалу на конкретному робочому місці та дозволяє оператору швидко реагувати на відхилення або несправності.

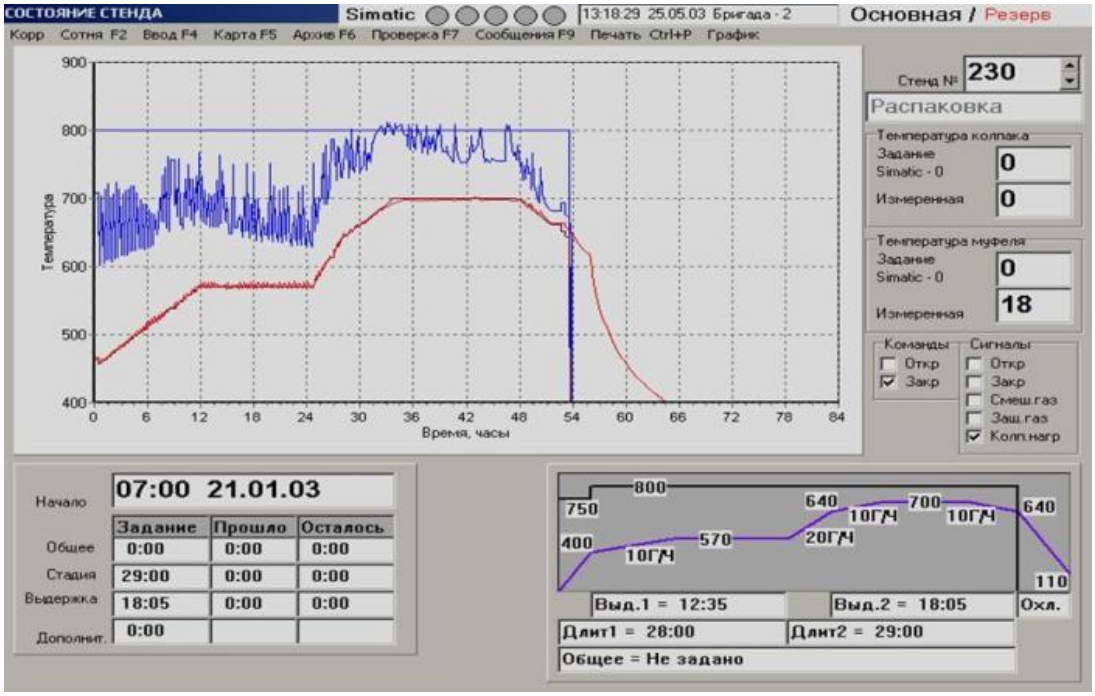


Рисунок 3.3- Стан стенду

Узагальнена інформацію про проходження технологічного циклу для конкретного рулону металу або партії міститься у «Карті відпалу» (рис. 3.4). У картці фіксуються основні параметри відпалу, тривалість стадій процесу, досягнуті температури, а також можливі відхилення від заданого режиму. Цей інтерфейс виконує функцію електронного технологічного журналу та використовується для аналізу якості відпалу, ведення архіву та формування звітної документації.

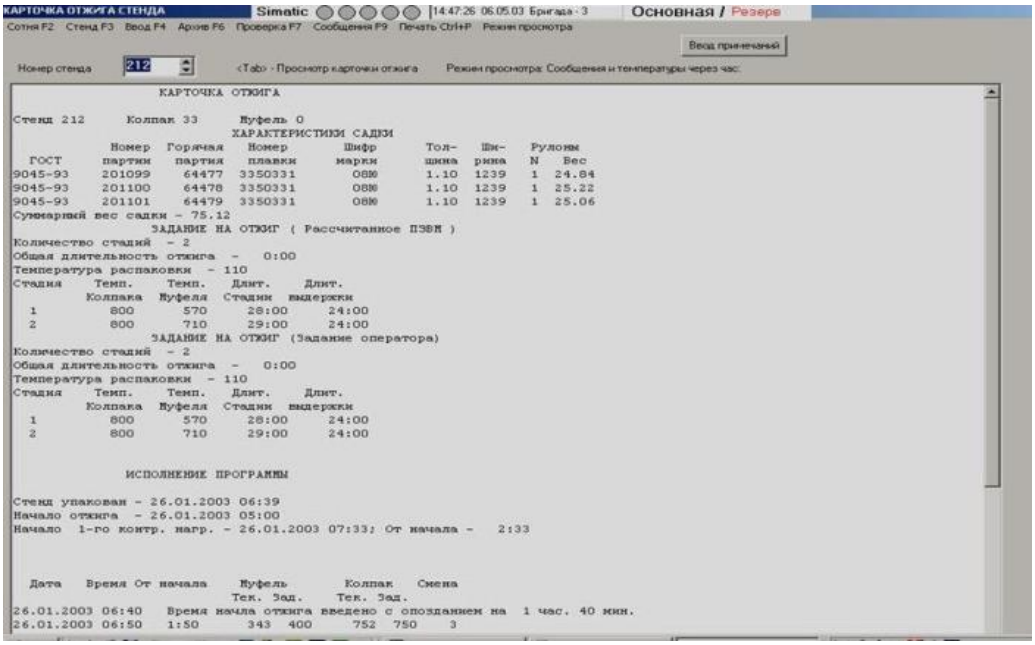


Рисунок 3.4-Картка відпалу

Загалом наведені інтерфейси демонструють, що існуюча система автоматизації забезпечує повний цикл інформаційної підтримки процесу відпалу: від введення завдання до реєстрації результатів. Разом із тим структура екранів свідчить про орієнтацію системи на локальне керування та потребує подальшої інтеграції з сучасними засобами диспетчеризації та аналітики, що обґрунтовує доцільність модернізації АСУ ТП.

3.2 Вибір та обґрунтування функціональної структури АСУ блоку ковпакових печей

АСУ блоку ковпакових печей має ієрархічну трирівневу структуру, розподілену на нижньому рівні і централізовану на середньому і верхньому рівнях. Є багатофункціональною, інформаційно-керуючою системою[17]. Загальна структура АСУ ТП наведена на рис. 3.5

Нижній рівень забезпечує збір і обробку інформації про технологічні параметри, автоматичне управління процесами нагріву і охолодження, формує попереджувальну і аварійну сигналізацію, здійснює автоматичний захист і необхідні блокування для запобігання аварійним ситуаціям, проведення діагностики технічних засобів системи і устаткування, забезпечує обмін даними з робочою станцією оператора-технолога.

Технічно нижній рівень реалізований на базі мікропроцесорного контролера Siemens SIMATIC S7-1500, технічних засобів КВПіА: первинних перетворювачів температури (ТХАс-2088-04), тиску (Сафір М 5120, Сафір М 5410,Сафір М 5320); цифрових реєстраторів R10L; блоків ручного керування БРУ-110; перетворювачів положення виконавчих механізмів ППМ-2; частотних перетворювачівVLT Micro FC 51; виконавчих механізмів МЕО-100/10-0,25; регулюючих органів [18, 19]. Загальний вигляд технічних засобів автоматизації наведено на рис. 3.6 – 3.8.

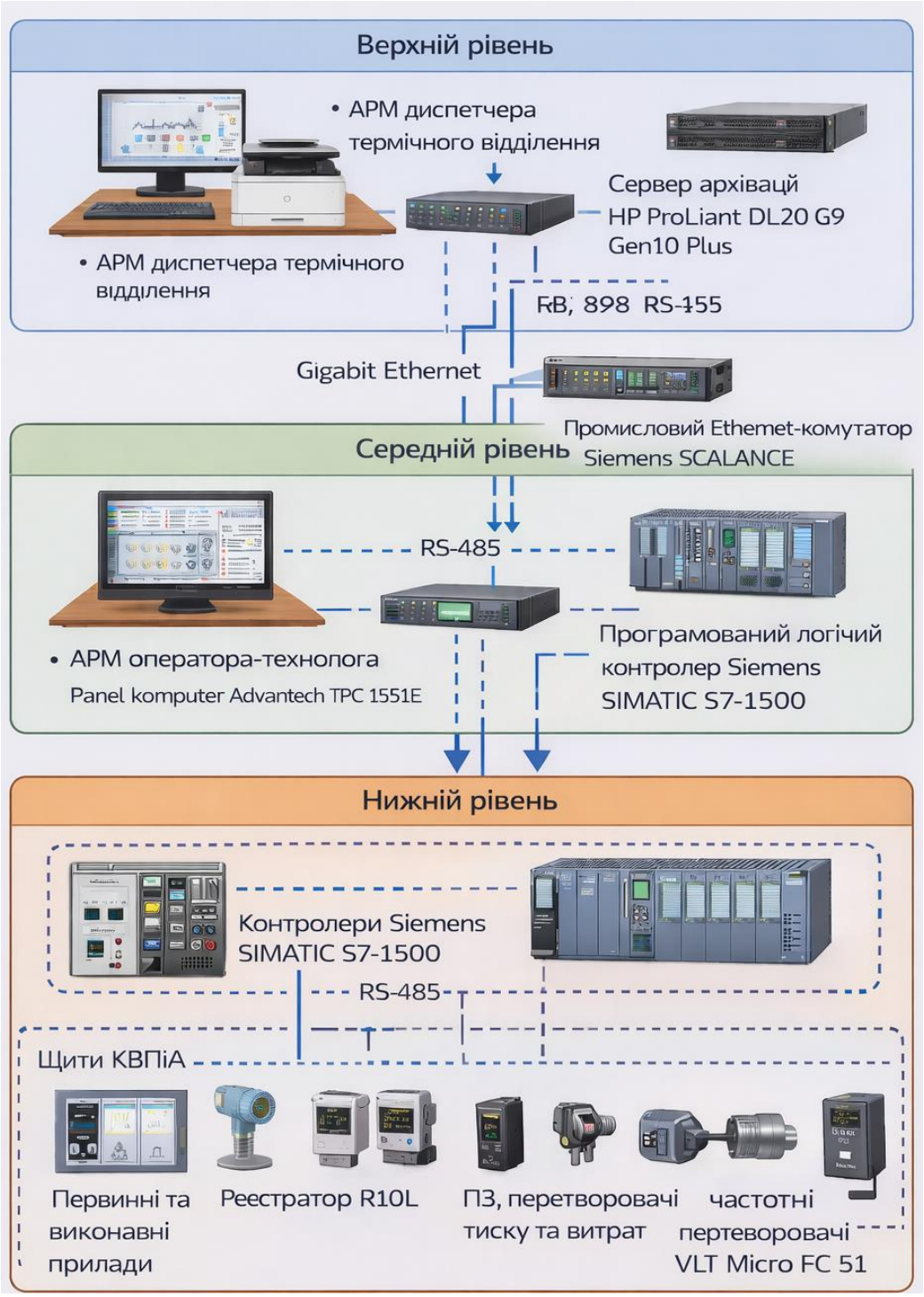


Рисунок 3.5 – Структура АСУ блоку ковпакових печей



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд контролера Siemens SIMATIC S7-1500



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд частотного перетворювачаVLT Micro FC 51



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд блоку ручного керування БРУ-110

Нижній рівень блоку печей оснащений панельним компьютером Advantech TPC-1551T-E3AE (рис. 3.9), встановленим в приміщенні КВПіА,

для забезпечення завдання поточної технологічної операціїї стендів печей[20].



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд панельного компьютера Advantech TPC-1551T-E3AE

Середній рівень АСУ ТП складається з автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-технолога, що управляє блоком печей. Середній рівень здійснює прийом, по інтерфейсу RS-485, підготовленої на нижньому рівні інформації, візуалізацію і контроль технологічного процесу на кожному стенді, управління процесами термообробки на кожному стенді (оператор-технолог визначає режим/программу відпалу і встановлює початок циклів нагріву і охолодження), відображення і друк інформації про вихід значень параметрів за технологічні допустимі межі, відображення і друк інформації у вигляді звітно-технологічних документів і рапортів, організація введення інформації оператором в діалоговому режимі.

Технічно середній рівень АСУ ТП реалізується на базі програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1500, який забезпечує збір даних з технологічних датчиків, реалізацію алгоритмів ПІД-регулювання температури, керування виконавчими механізмами печей та обмін даними з верхнім рівнем системи[21].

Верхній рівень АСУ ТП реалізується на базі АРМ диспетчера термічного відділення, що вирішує завдання контролю роботи блоків печей і підвищення ефективності виробництва, планування роботи термічного

відділення (режими та цикли відпалу, формування стоп, данні про рулони та ін).

Технічно верхній рівень АСУ ТП реалізується на базі сучасного промислово-орієнтованого ПК (HP ProDesk 400 G9), на якому розгорнуто АРМ диспетчера з функціями візуалізації, архівації, аналізу технологічних параметрів та планування режимів термообробки[22].

Для збереження даних про технологічний процес в АСУ ТП використовується сервер архівації промислового виконання (HPE ProLiant DL20 Gen10 Plus), який забезпечує надійне зберігання архівів, журналів подій та історичних даних SCADA-системи [23].

Робочі станції верхнього та середнього рівнів і сервер архівації об’єднані промисловим керованим комутатором Gigabit Ethernet (Siemens SCALANCE), що забезпечує надійний та швидкісний обмін даними між рівнями АСУ ТП [24].

Для забезпечення безперебійної роботи серверного обладнання та АРМів використовується джерело безперебійного живлення типу APC Smart-UPS SMT1500, яке забезпечує коректне завершення роботи системи та захист від збоїв електроживлення[25].

На АРМ оператора-технолога і диспетчера для друку документаціїї використовуються багатофункціональні пристрої HP LaserJet MFP M236 [26].

Мають бути передбачені автоматичний, дистанційний та ручний режими управління роботою печі.

У автоматичному і дистанційному режимах повинні здійснюватися:

- централізований контроль технологічних параметрів;

- на робочій станції відображуватися хід технологічних процесів, попереджувальні і аварійні повідомлення.

У автоматичному режимі, окрім перерахованих функцій, АСУ ТП відповідно до заданих оператором режимів термообробки автоматично контролює і управляє процесами нагріву і охолодження.

У дистанційному режимі управління оператор-терміст з робочої станції має можливість управляти відсічними клапанами, встановлювати необхідне значення параметрів шляхом регулювання положення виконавчих механізмів кнопками Більше/Менше.

Для кожного стенду передбачене ручне управління з щита КВПіА, на випадок виходу з ладу мікропроцесорних контролерів. Ці щити оснащені показуючими приладами, інформації якої вистачає для ручного управління технологічними процесами.

У при управлінні в ручному режимі, дії робочої станції блокуються.

Вибір режимів управління автоматичний/дистанційний або ручний проводитися з пульта ручного управління, а автоматичний або дистанційний – з робочої станції.

Дані про порушення технологічного процесу і режими управління (ручний/автоматичний/дистанційний) фіксуються в рапортах.

АСУ блоку ковпакових печей розрахована на можливість функціонального розширення і адаптації до змін технології.

3.3 Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ блоку ковпакових печей. Програмно-технічне забезпечення верхнього рівня управління

3.3.1 Вибір комп’ютера для АРМ оператора-технолога

Автоматизоване робоче місце оператора-технолога реалізується на базі промислового комп’ютера з процесором Intel Core i5, 8 ГБ оперативної пам’яті та накопичувачем SSD обсягом не менше 500 ГБ, який забезпечує роботу SCADA-системи, архівацію технологічних даних та взаємодію з ПЛК Siemens SIMATIC S7-1500.

Для реалізації АРМ оператора-технолога використовується промисловий панельний комп’ютер Advantech TPC-1251T-E3AE [20], призначений для роботи в системах автоматизації та диспетчеризації

технологічних процесів. Комп’ютер забезпечує візуалізацію параметрів роботи печей, керування технологічними режимами, архівацію та обмін даними з програмованим логічним контролером Siemens SIMATIC S7-1500 по промисловій мережі Ethernet.

Технічні характеристики промислового ПК наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики комп’ютера для АРМ оператора

Характеристика	Значення
Модель	Advantech TPC-1251T-E3AE
Тип	Промисловий LCD-монітор
Діагональ	21.5″
Роздільна здатність	1920 × 1080 (Full HD)
Тип матриці	TFT LCD
Яскравість	250 кд/м²
Контрастність	1000:1
Відеоінтерфейси	VGA, DVI-D, HDMI
Сенсорний екран	Опціонально
Ступінь захисту	IP65 (фронтальна панель)
Монтаж	Панельний / настінний
Ступінь захисту	IP65 (фронтальна панель)
Температурний діапазон	0…+50 °C
Монтаж	Вбудований у щит керування

Для відображення технологічної інформації та роботи оператора-технолога використовується промисловий монітор Advantech FPM-2150G**,** який забезпечує надійну роботу в умовах промислового середовища, має високий ступінь пиловологозахисту та підтримує тривалу безперервну експлуатацію[27].

Таблиця 3.2 – Характеристики монітору комп’ютера для АРМ оператора

Характеристика	Значення
Модель	Advantech FPM-2150G
Тип	Промисловий LCD-монітор
Діагональ	21.5″
Роздільна здатність	1920 × 1080 (Full HD)
Тип матриці	TFT LCD
Яскравість	250 кд/м²
Контрастність	1000:1
Відеоінтерфейси	VGA, DVI-D, HDMI
Сенсорний екран	Опціонально
Ступінь захисту	IP65 (фронтальна панель)
Монтаж	Панельний / настінний
Робоча температура	0…+50 °C

Таким чином, для реалізації автоматизованого робочого місця оператора-технолога обрано промисловий панельний комп’ютер Advantech TPC-1251T-E3AE та промисловий монітор Advantech FPM-2150G, які відповідають вимогам надійності, продуктивності та ступеню захисту, а також забезпечують повну сумісність з програмованим логічним контролером Siemens SIMATIC S7-1500 і SCADA-системою.

3.3.2 Вибір сервера

Одним із ключових елементів автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) є сервер, який виконує функції збереження, обробки та централізованого доступу до даних. Вибір серверного обладнання має вирішальне значення, оскільки від його продуктивності, надійності та масштабованості безпосередньо залежить стабільність роботи всієї системи.

Основними вимогами до сервера в АСУ ТП є:

- висока продуктивність, яка забезпечує швидке опрацювання даних у режимі реального часу;

- надійність і відмовостійкість, що дозволяє уникнути простоїв технологічного процесу у випадку збоїв обладнання;

- масштабованість, завдяки якій можливе подальше розширення системи без повної заміни апаратного забезпечення;

- підтримка сучасних протоколів і систем управління базами даних, необхідних для інтеграції з програмними засобами АСУ ТП.

У межах даного проєкту використано сервер Dell PowerEdge R750, який відповідає зазначеним вимогам. Даний сервер належить до сучасного покоління серверного обладнання та широко застосовується в корпоративних і промислових автоматизованих системах [28].

Його використання дозволяє забезпечити:

- швидку обробку інформації від контролерів у режимі реального часу;

- централізоване збереження технологічних даних з можливістю резервного копіювання;

- високу надійність роботи системи за рахунок застосування RAID-масивів і дубльованих блоків живлення.

Таким чином, обраний сервер є оптимальним варіантом для впровадження в АСУ ТП і здатний забезпечити ефективне функціонування системи протягом тривалого періоду експлуатації.

У таблиці 3.3 наведено основні технічні параметри обраного серверного обладнання.

Таблиця 3.3-Технічні характеристики сервера

Характеристика	Значення
Модель сервера	Dell PowerEdge R750
Процесор	Intel Xeon Silver (3rd Gen), 2.2 GHz, 8 ядер
Оперативна пам’ять (RAM)	64 GB DDR4 ECC
Накопичувачі	4 × 2 TB SSD
Конфігурація RAID	RAID 10

Характеристика	Значення
Мережева карта	2 × 1GbE + 1 × 10GbE
Операційна система	Windows Server 2022 / Linux

3.3.3 Вибір операційної системи

Для комп’ютерів оператора-технолога та диспетчера автоматизованої системи управління блоком ковпакових печей у проєкті обрано операційну систему Windows 10 IoT Enterprise LTSC 2021. Дана операційна система спеціально орієнтована на промислові та вбудовані застосування, має розширений термін підтримки та не передбачає частих функціональних оновлень, що підвищує стабільність роботи АСУ ТП[29].

Windows 10 IoT Enterprise забезпечує сумісність із сучасними SCADA-системами, драйверами промислового обладнання та програмними засобами візуалізації і архівування технологічних параметрів. Багатозадачний режим роботи дозволяє одночасно виконувати функції моніторингу технологічного процесу, ведення архівів, обробки аварійних подій та взаємодії з сервером архівування і контролерами нижнього рівня.

Реалізація функцій реального часу в системі здійснюється на рівні програмованих логічних контролерів, що забезпечує детермінованість і надійність керування технологічним процесом, тоді як операційна система АРМ використовується для задач операторського контролю, візуалізації та аналізу даних.

3.3.4 Вибір серверу архівування

Для сервера архівування у проєкті обрано операційну систему WindowsServer 2022 Standard**,** яка забезпечує високий рівень надійності та безпеки збереження технологічних даних. Дана операційна система підтримує сучасні механізми резервного копіювання, засоби керування файловими та базами даних, а також сумісна з поширеними SCADA-системами, що використовуються в АСУ ТП [30].

Використання WindowsServer 2022 Standard дозволяє реалізувати централізоване збереження архівів технологічних параметрів (температурних режимів печей, станів обладнання, аварійних подій і трендів), забезпечити контроль доступу до даних та інтеграцію сервера архівування з іншими рівнями автоматизованої системи управління. Крім того, обрана операційна система має довгострокову підтримку виробника та забезпечує можливість подальшого масштабування системи.

3.3.5 Вибір SCADA-системи

В даному проєкті для розробки програм керування контролерами, створення мнемосхем для управління технологічним процесом та організації операторського інтерфейсу використовується інтегроване середовище Siemens WinCC Unified. Дана SCADA-система входить до складу TIA Portal та відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації. Вона забезпечує єдине середовище для проєктування, програмування, налагодження та діагностики проєктів АСУ ТП.

Програмування контролерів у проєкті здійснюється відповідно до стандарту IEC 61131-3 із використанням мов LAD, FBD, SCL та GRAPH у середовищі TIA Portal. Як SCADA-систему верхнього рівня АСУ ТП обрано Siemens WinCC Unified**,** яка забезпечує повну інтеграцію з програмованими логічними контролерами SIMATIC S7-1500[31].

WinCC Unified дозволяє автоматично формувати канали вводу-виводу на основі конфігурації контролера, зв’язувати технологічні змінні з мнемосхемами операторських панелей та реалізовувати алгоритми візуалізації і керування технологічним процесом. Завдяки єдиному інженерному середовищу забезпечується узгодженість проєктування логіки керування, операторського інтерфейсу та системи діагностики.

SCADA-система надає розвинені засоби налагодження та експлуатації, зокрема:

- онлайн-діагностику та моніторинг стану технологічного процесу в реальному часі;

- інструменти тестування та аналізу роботи програми керування (Simulation, Trace);

- засоби діагностики контролерів і комунікаційних каналів;

- автоматичне формування повідомлень про аварійні та попереджувальні події з відображенням їх на мнемосхемах.

Функції реального часу та алгоритми керування реалізуються на рівні контролерів Siemens SIMATIC S7-1500, що забезпечує детермінованість та надійність керування технологічним процесом, тоді як WinCC Unified використовується для задач візуалізації, операторського керування, архівування даних і аналізу параметрів роботи печей.

Додатковою перевагою WinCC Unified є підтримка технології WebHMI, що дозволяє організувати віддалений доступ до операторських інтерфейсів через веб-браузер з різних пристроїв, підвищуючи зручність експлуатації та гнучкість системи.

Таким чином, застосування SCADA-системи Siemens WinCC Unified у поєднанні з контролерами Siemens SIMATIC S7-1500 дозволяє побудувати сучасну, інтегровану та масштабовану АСУ ТП блоку ковпакових печей, що відповідає міжнародним стандартам та вимогам промислової автоматизації.

3.4 Обчислювальні мережі верхнього рівня

У даному проєкті обмін інформацією між польовими пристроями та контролером здійснюється з використанням промислових інтерфейсів зв’язку. Дані від реєстратора R10L та блоків ручного управління БРУ-110 передаються до програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-1500 по інтерфейсу RS-485 (EIA-485) з використанням протоколу Modbus RTU. Підключення RS-485 до контролера реалізується за допомогою спеціалізованого комунікаційного модуля, встановленого в стійку PLC.

Для зв’язку між контролером SIMATIC S7-1500 та SCADA-системою WinCC Unified використовується промислова мережа PROFINET (Industrial Ethernet), що забезпечує високу швидкість обміну даними та надійність роботи верхнього рівня АСУ ТП[32].

Інтерфейс RS-485 має такі основні характеристики:

- максимальна кількість передавачів/приймачів в одному сегменті мережі - до 32;
- максимальна довжина лінії зв’язку - до 1200 м;
- спосіб передачі даних - напівдуплексний;
- топологія мережі - «загальна шина»;
- конфігурація мережі - мультиточкова.

Структура промислової мережі із топологією «загальна шина» наведена на рис. 3.10.

Передача даних по інтерфейсу RS-485 регламентується протоколом Modbus RTU, який широко застосовується в промислових АСУ ТП для обміну даними з вимірювальними приладами та допоміжним обладнанням. Типові швидкості обміну даними становлять 9,6–115,2 кбіт/с, що є достатнім для передачі технологічних параметрів у системах термообробки металу[33].

Протокол Modbus RTUреалізує принцип обміну даними за схемою «ведучий (master) – ведені (slave)», відповідно до якої в промисловій мережі може бути лише один ведучий пристрій і до 247 ведених**.** Ініціатором обміну даними завжди виступає ведучий пристрій, тоді як ведені пристрої передають інформацію лише у відповідь на отриманий запит. Обмін даними між веденими пристроями без участі ведучого не допускається, тому в кожен момент часу в мережі Modbus може виконуватися лише один цикл обміну [34].

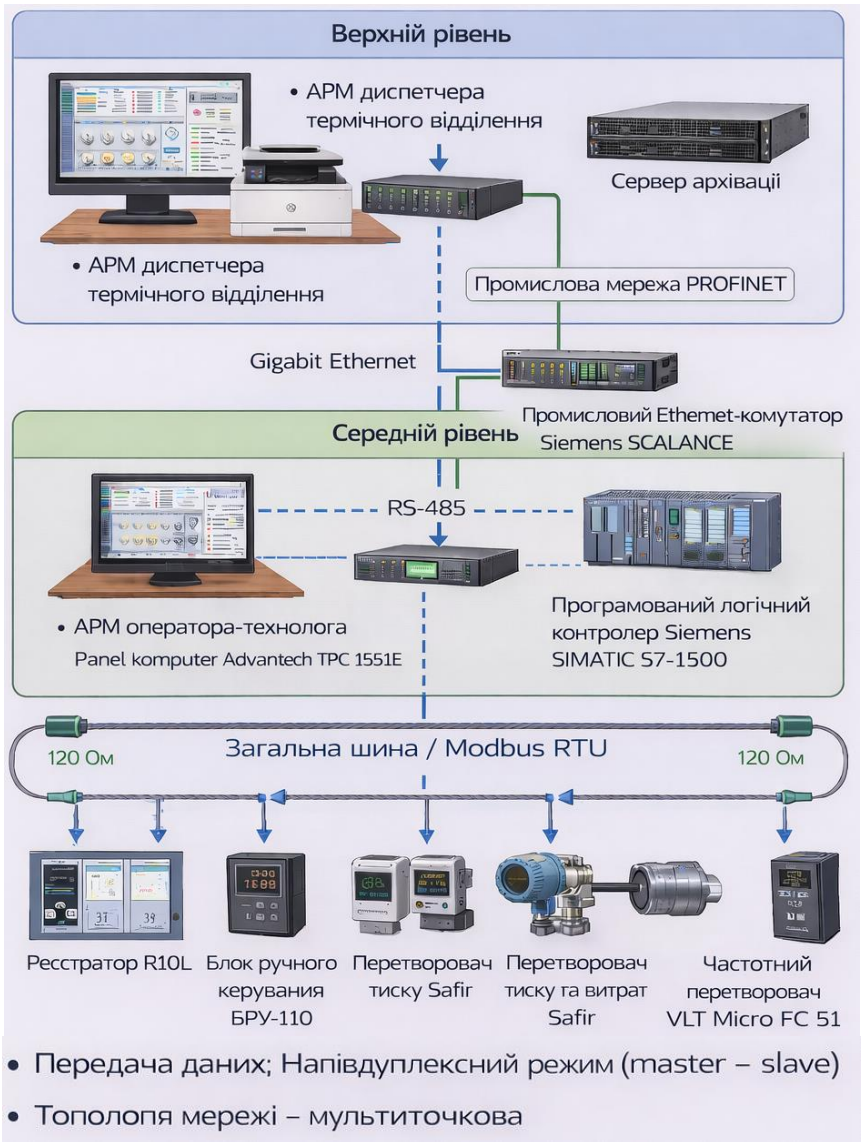


Рисунок 3.10 – Топологія мережі «загальна шина»

Адреси пристроїв у мережі Modbus знаходяться в діапазоні від 1 до 247, тоді як адреси 248-255 зарезервовані і не використовуються. Ведучий пристрій не має власної адреси, а всі ведені пристрої повинні мати унікальні адреси в межах мережі.

Ведучий пристрій може надсилати запити як окремому веденому пристрою, так і всім пристроям мережі одночасно. Для реалізації широкомовного режиму використовується адреса **0**, при якій команда приймається всіма веденими пристроями, однак відповіді на такі запити не формуються.

У протоколі Modbus RTU початок нового повідомлення визначається паузою (тишею) на лінії зв’язку тривалістю не менше 3,5 символів (еквівалентно 14 бітам). Тривалість цієї паузи в секундах залежить від швидкості передачі даних і використовується для синхронізації приймача та коректного розпізнавання кадрів.

Формат кадру показаний в табл. 3.4. Поле адреси завжди містить тільки адресу «веденого» пристрою, навіть у відповідях на команду, послану «ведучим». Завдяки цьому «ведучий» пристрій знає, від якого модуля прийшла відповідь.

Таблиця 3.4 − Формат кадру протоколу Modbus RTU

Поле кадру	Довжина в бітах
Адреса веденого пристрою	1
Код функції	1
Дані	N<254
Контрольна сума	2

Поле «Код функції» говорить модулю про те, яку дію потрібно виконати.

Поле «Дані» може містити довільну кількість байт. У ньому може міститися інформація про параметри, що використовуються в запитах «ведучого» приятрою або відповідях веденого.

Поле «Контрольна сума» містить контрольну суму CRC довжиною 2 байти.

Структура даних в режимі RTU

У режимі ModbusRTU передавання даних здійснюється у двійковому форматі, при цьому байти передаються молодшим значущим бітом уперед (LSBfirst), що є типовим для послідовних інтерфейсів на базі RS-485.

Формат передавання одного байта включає стартовий біт**,** 8 біт даних**,** біт паритету (опційно)таодин або два стопові біти**.** Тип паритету може бути парний (even)**,** непарний (odd)абовідсутній**.**

За умовчанням у режимі RTU часто використовується парний паритет (even parity), при якому біт паритету встановлюється таким чином, щоб загальна кількість двійкових одиниць у байті була парною.

У разі використання непарного паритету (odd parity) біт паритету встановлюється так, щоб загальна кількість одиниць у байті була непарною.

Якщо контроль паритету не застосовується, замість біта паритету використовується другий стоповий біт, що підвищує сумісність із різними промисловими пристроями.

Ведені пристрої Modbus RTU, як правило, підтримують усі зазначені варіанти: парний паритет, непарний паритет або режим без контролю паритету.

Структура Modbus RTU повідомлення

Повідомлення ModbusRTUпередаються у вигляді кадрів, кожен з яких має чітко визначений початок і кінець. Ознакою початку нового кадру є пауза (тиша) на лінії зв'язку тривалістю не менше 3,5 символів, що еквівалентно 14 бітам.

Кадр повинен передаватися безперервно. Якщо під час передавання виявляється пауза тривалістю більше 1,5 символу (6 біт), вважається, що кадр пошкоджений і має бути відхилений приймальним пристроєм.

Для швидкостей передавання нижче 19200 біт/с зазначені часові інтервали повинні суворо дотримуватися. При вищих швидкостях рекомендується використовувати фіксовані значення пауз: 1,75 мс для паузи між кадрами та 750 мкс для паузи всередині кадру.

Контроль помилок в Modbus RTU

У режимі Modbus RTU застосовуються два рівні контролю помилок:

- контроль паритету для кожного байта (опційно);
- контроль цілісності кадру за допомогою циклічного надлишкового коду (CRC).

Метод CRC використовується незалежно від наявності або відсутності контролю паритету. Значення CRC обчислюється ведучим пристроєм перед передаванням повідомлення та додається до кадру.

На приймальній стороні CRC обчислюється повторно для всього повідомлення і порівнюється з переданим значенням. У разі їх збігу вважається, що повідомлення не містить помилок.

Стартові, стопові біти та біт паритету не беруть участі в обчисленні CRC.

Для організації обміну даними між програмованими логічними контролерами, сервером SCADA та робочими станціями операторів використовується мережа Gigabit Ethernet (1000Base-T). Це забезпечує високу швидкість передавання даних, надійність, можливість масштабування та інтеграцію системи у сучасні промислові мережі.

Для побудови мережевої інфраструктури обрано індустріальний комутатор Advantech EKI-5528I, який має такі основні характеристики:

- 8 портів Gigabit Ethernet (10/100/1000 Мбіт/с);
- підтримка протоколів резервування мережі (RSTP/STP);
- широкий робочий температурний діапазон (–40…75 °C);
- захист від перенапруги та електромагнітних перешкод;
- можливість монтажу на DIN-рейку[24].

Таким чином, використання комбінації RS-485 (Modbus RTU) та Gigabit Ethernet у поєднанні з індустріальним комутатором дозволяє побудувати надійну, масштабовану та сучасну мережеву інфраструктуру АСУ ТП, що відповідає вимогам промислової автоматизації.

3.5 Вибір математичної моделі об’єкту управління

В данному проєкті за допомогою програми MATLAB в середовищі GUIDE (Graphical User Interface) створена математична модель для розрахунку теплового балансу, з метою дослідження впливу різних

параметрів ковпакової печі на коефіцієнт корисної роботи печі[35]. Дана математична модель знаходиться на ЕОМ диспетчера термічного відділення, де диспетчер при необхідності розраховує тепловий баланс і визначає ККД при зміні параметрів печі.

Графічний інтерфейс користувача (GUI) містить такі графічні елементи:

1. Поля введення (Edit) − для введення даних користувачем:

Параметри печі

- нижча теплота сгорання палива Qnr, кДж;
- маса садки G, кг;
- об'єм муфеля Vmuf, куб. м.;
- товщина легковагового шамоту s1, м;
- товщина діатомовогії цегли s2, м;
- площа стінки Fp, кв. м.;
- площа своду Fs, кв. м.;
- площа стенду Fst, кв. м.

2. Текст (Text) − призначені виведення статичного тексту:

Статті приходу:

- хімічне тепло палива Qt, кДж;
- фізичне тепло повітря Qv ,кДж.

Статті витрати:

- втрати теплоти на нагрів садки Qmet, кДж;
- тепло на нагрів муфеля Qmuf, кДж;
- тепло на нагрів стендової плити Qpl, кДж;
- втрати холостого ходу Qhh, кДж;
- тепло на нагрів зихисного газу Qg, кДж;
- втрати випромінюванням при перенесенні ковпака Qizl, кДж;
- тепло, що акумулюється стендом Qakk , кДж;
- невраховані втрати B, кДж;

Загальне значення приходу та витрати

Значення ККД.

3. Кнопка (Pushbutton) − для запуску розрахунку теплового балансу.

Структура програмного коду

М-файл проекту контролює роботу графічного інтерфейсу користувача і визначає його реакцію на дії користувача. М-файл містить весь необхідний код програми для запуску і роботи GUI.

Тіло програми складається з набору функцій, що виконують різні завдання. Обмін даними між функціями здійснюється за допомогою структури handles, яка виступає в ролі вхідних даних до кожної функції.

Програма складається з наступних частин:

- код ініціалізації проекту (function varargout)

- функція відкриття проекту (function Kolpakova_pech_OpeningFcn)

- Callback-функція кнопки для розрахунку теплового балансу печі (function pushbutton1_Callback)

Код програми проєкту наведено у Додатку А.

Блок-схема математичної моделі для розрахунку теплового балансу ковпакової печі представлена на рис. 3.11. При введені параметрів печі отримуємо розрахунки по статтям приходу і витрати окремо по кожій складовій та загалом.



Рисунок 3.11 – Структурна схема математичної моделі теплового балансу ковпакової печі

В результаті розрахунку ККД печі становить 66 %.

3.6 Моделювання АРМ оператора-технолога АСУ блоку ковпакових печей

Для керування процессом відпалу металу в ковпакових печах розроблено мнемосхему в Siemens WinCC Unified.

3.6.1 Опис графічного інтерфейсу

На панельному компьютері Advantech TPC-1251T-E3AE в АРМ 2 SCADA-системи, робітники, що пакують і запускають стенди в роботу, вказують процес, який зараз відбувається для кожної печі, на екранах «Технологічні операції 1-15», шляхом натискання відповідних кнопок.

На «Основному екрані» АРМ 1 зображено всі печі блоку. Кожна піч, що зображена на «Основному екрані», виділена кольором відповідно до процесу, який відбувається на кожному стенді. На кожній печі вказаний номер. Якщо на стенді відбувається процес холодної продувки, нагріву, витримки чи охолодження, то на зображені печі буде вказаний поточний час цього процесу і поточне значення темератури під муфелем. При натиснені на зображення печі, з’явиться діалогове вікно підтвердження, якщо натисунити кнопку «Ок», то відкриється екран «Управління агрегатом». На екрані розміщені кнопки для переходу на: екран «Тренд», екран «Звіт тривог», екран «Документація», «Вихід».

На екрані «Управління агрегатом» АРМ 1 схематично зображено ковпакову піч. Зліва від печі наведені данні про технологічний процес: поточна технологічна операція, номер данної печі, заданий і поточний час холодної продувки, заданий і поточний час нагріву, заданий і поточний час витримки, заданий і поточний час охолодження, кнопка «Холодна продувка» - запуск процесу холодної продувки печі, кнопка «Нагрів» - запуск процесу наргіву, кнопка «Витримка» - запуск процесу витримки, кнопка «Охолодження» - запуск процесу охолодженя, кнопка «Завершення цилку» - для завершення технологічного циклу. Також на екрані зображено данні про

технологічні параметри: задане і поточне значення температури, значення тиску і витрати повітря на ежектори печі, значення тиску і витрати природного газу, значення тиску, а також завдане і поточне значення витрати захисного газу, задане і поточне значення розрідження в димовому каналі печі. Розміщені кнопки для дистанційного відкриття/закриття регулювальних органів подачі повітря, природного та захисного газу. Зображено положення регулювальних органів, зелений колір - відкрито, червоний - закрито. Над зображенням регулюваних органів показоно на скільки відстоків він відкритий. Також є кнопка для запуску двигуна циркуляційного вентилятора. Внизу розміщені кнопки для переходу на: «Основний екран», екран «Тренд», екран «Звіт тривог», екран «Документація», «Вихід».

На екрані «Тренд» АРМ 1, відображаються (кожен параметри вибирається при окремо при натеснені зліва від лінії кожного технологічного параметра) графіки технологічних параметрів: значення температури, значення розрідження, значення витрати захисного і природного газу, тиск повітря, тиск природного і захисного газу. Внизу екрану розміщені кнопки для переходу на: «Основний екран», екран «Управління агрегатом», екран «Звіт тривог», екран «Документація», «Вихід».

На екрані «Звіт тривог» АРМ 1 відображається інформація про попередження і тривоги при виході технологічних параметрів за встановлені межі. При виході технологчних параметрівза встановлені межі, в залежності від втановлених значень в кожному каналі технологічного параметра, відображається: <W>- попередження, <A>- тревога, <E>- помилка. Коли технологічний параметр знаходиться в межах норми, відображається повідомлення - NORMA. Внизу данного екрану розміщені кнопки для переходу на: «Основний екран», екран «Управління агрегатом», екран «Тренд», екран «Документація», «Вихід» (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Мнемосхема на АРМ оператора ковпакоих печей

3.6.2 Керування технологіним процесом

При запуску в роботу мнемосхему в рельному часі відкривається «Основний екран» АРМ 1 де відображаються печі блоку. Для прикладу буде розлянута піч №1. Коли піч не працює або завантажується стенд, термісти термічного відділення на панельному компьютері Advantech TPC-1251T-E3AE в АРМ 2 SCADA-системи на екрані «Технологічні операції 1» натискають відповідну кнопку (1 або 2), і на АРМ 1 на «Основному екрані» піч відображається відповідним кольором, що вказує на поточний процес. Коли термісти підготують стенд, встановлять рулони і муфель, на екрані «Технологічні операціїї 1» АРМ 2 терміст натискає кнопку 3, що відповідає процесу − холодна продувка. На «Основному екрані» АРМ 1 пічь змінює колір на зелений. Оператор-технолог натискає на першу піч, вводить підтвердження, відкривається екран «Управління агрегатом» першої печі. Зліва показаний заданий час холодної продувки, його можна змінити при необхідності, натиснувши на поле з числом часу холодної продувки, і ввести

нове значення. Внизу праворуч показане задане значення витрати захисного газу, при необхідності його можна змінити. Для запуску процесу холодної продувки необхідно натиснути кнопку «Холодна продувка», запустити двигун циркуляційного вентилятора натисненням кнопки, і натиснути кнопку подачі захисного газу. При завершені часу холодної продувки, задане значення підсвічується зеленим кольором, це означає що процес холодної продувки завершено, кнопку «Холодна продувка» необхідно відтиснути.

Після завершення холодної продувки, термісти встановлюють нагрівальний ковпак, на екрані «Технологічні операції 1» в АРМ 2 натискається кнопка 4 − процес встановлення нагрівального ковпака. Коли ковпак встановлено можна починати процес нагріву, на екрані «Технологічні операції 1» в АРМ 2 натискається кнопка 5. На екрані «Управління агрегатом» потрібно вибрати один із 4 режимів термічної обробки, натисканням на поле напроти надпису «Режим відпалу», ввести підтвердження, і ввести номер режиму (1,2,3,4). В кожному режимі задані: завдання температури нагріву, час нагріву, час витримки, час охолодження. Потім натиснути кнопки «Нагрів» і подачі природного газу. Також натиснути кнопкуподачі повітря на ежектори печі, для створення необхідного розрідження, для видалення продуктів сгорання через димовий канал. Задане значення розрідження можна змінити. Після завершення часу нагріву, значення підсвітиться зеленим кольром, що означає кінець процесу нагріву, кнопку «Нагрів» необхідно відтиснути. Після завершення процесу нагріву, натисненням кнопки «Витримка», починається процес витримки. Після завершення часу витримки, значення підсвічується зеленим, що означає кінець процесу витримки, кнопку «Витримка» необхідно відтиснути, а також відтиснути кнопки подачі природного газу та повітря на ежектори печі.

Після завершення витримки починається процес зняття нагрівального ковпака (терміст натискає кнопку 6 на екрані «Технологічні операції 1») і встановлення ковпака прискоренного охолодження (кнопка 7 на екрані «Технологічні операції 1»). Далі процес охолодження з ковпаком

прискоренного охолодження (кнопка 8 на екрані «Технологічні операції 1») або без ковпака прискоренного охолодження (лише під муфелем) (кнопка 10 на екрані «Технологічні операції 1»). На екрані «Управління агрегатом» потрібно натиснути кнопку «Охолодження», для запуску процесу охолодження. Після завершення заданого часу охолодження, значення підсвічується зеленим, що означає завершення процесу охолодження, кнопки «Охолодження» і подачі захисного газу необхідно відтиснути. Для завершення цилу термічної обробки і можливості почати новий цикл, необхідно натиснути кнопку завершення циклу. На екрані «Технологічні операції 1» кнопка 9 − процес зняття нагрівального ковпака, кнопка 11 − розпакування стенду. Також на АРМ 2 можна відкрити «Основний екран», де термісти можуть відстежити час до завершення процесу холодної продувки, нагріву, витримки чи охолодження.

3.6.3 FBD-програма

В данному проєкті розроблена FBD-програма для керуванням процесом відпалу металу у ковпаковій печі.

Програма вибору технологічної операціїстворена для встановлення відповідного кольору технологічної операції на «Основному екрані» і відображення поточної технологічної операції на екрані «Управління агрегатом». Поточна технологічна операція вибирається натисканням кнопок на екрані «Технологічна операція 1». При натиснені одночасно двох або більше кнопок, технологічна операція не обирається.

Програма регулювання витрати захисного газу забезпечує автоматичне регулювання витрати захисного газу. Також забезпечує реалізацію процесу холодної продувки та безперервну подачу захисного газу під час процесу нагріву, витримки та охолодження. Для запуску програми необхідно щоб була обрана технологічна операція 3, натиснута кнопка «Холодна продувка», включений циркулюційний вентилятор, натиснута кнопка захисного газу. Після завершення процесу холодної продувки, забезпечується сповіщення

про завершення данного процесу, шляхом зміни кольору поля зі значенням заданого часу холодної продувки на зелений. Подача захисного газу відбувається до завершення процесу охолодження (рис. 3.13).

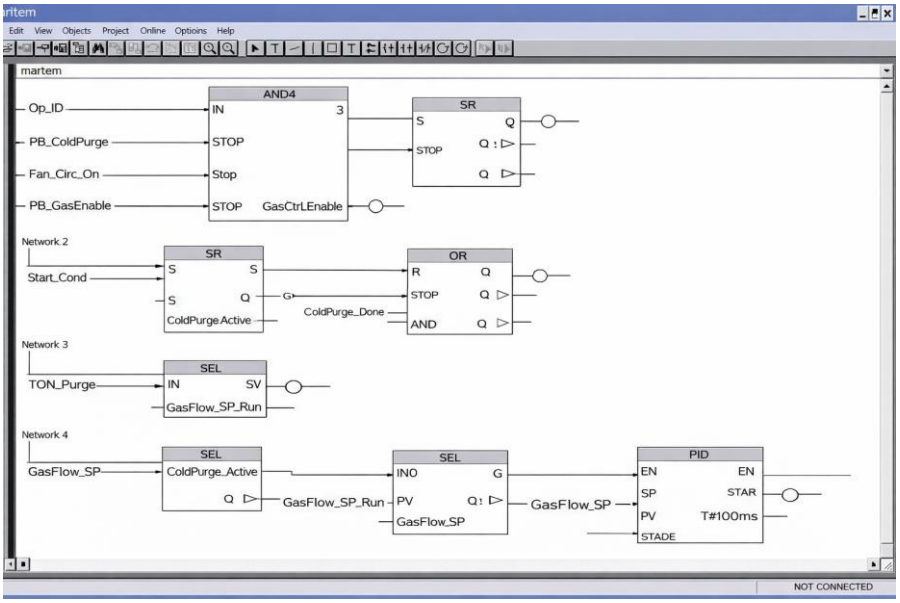


Рисунок 3.13 - FBD-програма регулювання витрати захисного газу

Программа регулювання розрідженнязабезпечує автоматичне регулювання розрідження в димовому каналі, шляхом зміни витрати повітря на ежектори печі. Для запуску програми необхідно натиснути кнопку подачі повітря.

Програма регулювання температури складається з: програми ПІД-регулювання температури під муфелем, програми нагріву, програми витримки, програми охолодження, програми встановлення завдання, програми встановлення часу нагріву, програми встановлення часу витримки, програми встановлення часу охолодження. Програма встановлення завдання, встановлення часу нагріву, встановлення часу витримки, встановлення часу охолодження обирає значення завдання (програма завдання) або час (програми нагріву, витримки, охолодження), відповідно до обраного одного з чотирьох режимів термообробки. Кожен режим має свої встановлені значення температури, часу нагріву, часу витримки та часу охолодження (рис. 3.14).

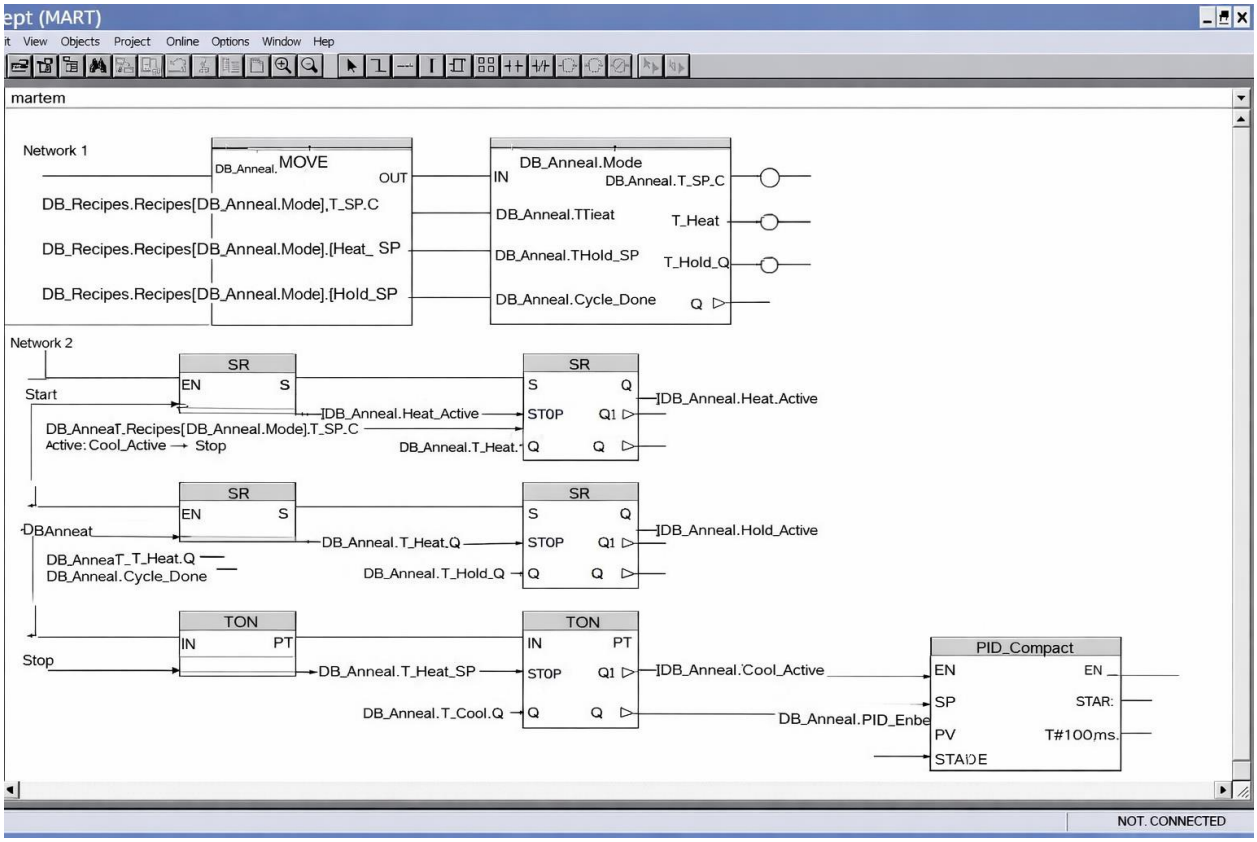


Рисунок 3.14–FBD-програма регулювання температури під муфелем

Програма регулювання температури за ПІД-законом регулює температуру під муфелем печі, шляхом зніни витрати природного газу. Для запуску програми необхідно щоб була обрана технологічна операція 5, обрано один із режимів термообробки, натисута кнопка подачі природного газу.

Програма нагріву запускається одночасно з програмою регулювання температури. Відповідно до обраного режиму, програма нагріву запускається на заданий час. Забезпечує відображення поточного часу нагріву, а також забезпечує сповіщення про завершення нагріву, шляхом зміни кольору на зелений поля зі значенням заданого часу нагріву. Для запуску програми нагріву необхідно щоб була обрана технологічна операція 5, обрано один із режимів термообробки, натиснута кнопка «Нагрів», натиснута кнопка подачі природного газу.

Програма витримки запускається після завершення програми нагріву, натисканням кнопки «Витримка» (технологічна операція 5 - залишається,

залишається вказаним режим термообробки і натиснута кнопка подачі природного газу). Відповідно до обраного режиму, програма витримки запускається на заданий час. Забезпечує відображення поточного часу витримки, а також забезпечує сповіщення про завершення витримки, шляхом зміни кольору на зелений поля зі значенням заданого часу витримки.

Програма охолодження запускається після програми витримки. Відповідно до обраного режиму, програма охолодження запускається на заданий час. Забезпечує відображення поточного часу охолодження, а також забезпечує сповіщення про завершення охолодження, шляхом зміни кольору на зелений поля зі значенням заданого часу охолодження. Для запуску програми необхідно щоб була обрана технологічна операція 8 або 10, обрано один із режимів термообробки, натиснута кнопка «Охолодження», відтиснута кнопка подачі природного газу.

Програма відображення значення поточного часу технологічного процесу в залежності від поточного технологічного процесу обирає відповідний поточний час і відображає його на основному екрані.

3.7 База данних АСУ блоку ковпакових печей

В кваліфікаційній роботі розроблена база данних блоку ковпакових печей, яка включає таблиці: Витрата енергоносіїв, Технологічні характеристики стоп, Робочі часи, Висота стопи в залежності від ширини рулона (стопа 4700 мм), а також створено звіт по Витратам енергоносіїв і Технологічним характеристикам стоп.

В таблиці витрати енергоносіїв для кожного стенду занесені данні за визначений період про загальну вагу відпаленого металу, загальна витрата захисного та природного газу, середне значення витрати м3/год захисного та природного газу. Ці данні необхідні для обліку витрати енергоносіїв і підрахунку продуктивності роботи стендів.

В таблиці Технологічні характеристики стоп наведена інформація про статус стоп рулонів холоднокатаного листа, вказана дата і час отримання відповідного статусу стоп, вказана кількість рулонів в кожній стопі, їх висота, а також режими термообробки, яким відповідають конкретні значення температури нагріву, часу нагріву, часу витримки і часу охолодження. Данна інформація необхідна для ведення обліку стоп та зручного доступу до данних про режими термообробки.

В таблиці Робочі часи вказана інформація про час роботи кожного стенду, а також час роботи двигуна циркуляційного вентилятора і час роботи термопари. Данна інформація необхідна для відстеження часу роботи стендів і можливості раціонального завантаження всіх стендів більш рівномірно. Інформація про час роботи двигуна, необхідна для проведення своєчасного обстеження та проведення профілактичних заходів. Данні про час роботи термопари, дозволять відстежети її стан, і своєчасну заміну термапари в разі перевищення допустимого терміну напрацювання.

Таблиця Висота стопи в залежності від ширини рулона (Стопа 4700 мм), містить данні для правильного формування стоп, для забепечення правильного розподілу температури.

Архівація данних

Для зберігання інформації в розробленій АСУ ТП використовуються локальний архів (інформація зберігається на ЕОМ оператора), глобальний архів (інформація зберігається на сервері), архів аварійних ситуацій.

Архів аварійних ситуацій потрібен для знаходження причини аварії, оператора, що винен у відсутності дій по усуненню аварійних ситуацій. Виставлено максимум 1000 можливих записів до архіву тривог. Цієї кількості достатньо для чотиьох діб.

Локальний архів (СПАД) дозволяє переглянути як протікав технологічний процес певний час. Один запис до СПАД-архіву важить 2

байта. До АРМ оператора-технолога с періодичністю 1с. надходить значення 120 каналу і записується в архів.

Таким чином за добу в СПАД-архів заноситься:

$$120 \cdot 86400 = 10368000 \text{ записів}$$

За три місяці роботи в архів буде занесено:

$$10368000 \cdot 90 = 933120000 \text{ записів}$$

Кожен запис займає 2 байта. Таким чином СПАД-архів через пів року буде займати:

$$933120000 \cdot 2 = 1866240000 \text{ байта} = 1866.24 \text{ МБ}$$

Глобальний архів потрібен для зберігання інформації з СПАД-архіву та архіву тривог тривалий час (3 - 5 років). Дані передаються на сервер з періодичністю 10 хвилин.

3.8 Проєкт автоматизованої системи управління блоком ковпакових печей

3.8.1 Диспетчерский пункт АСУ блоку ковпакових печей

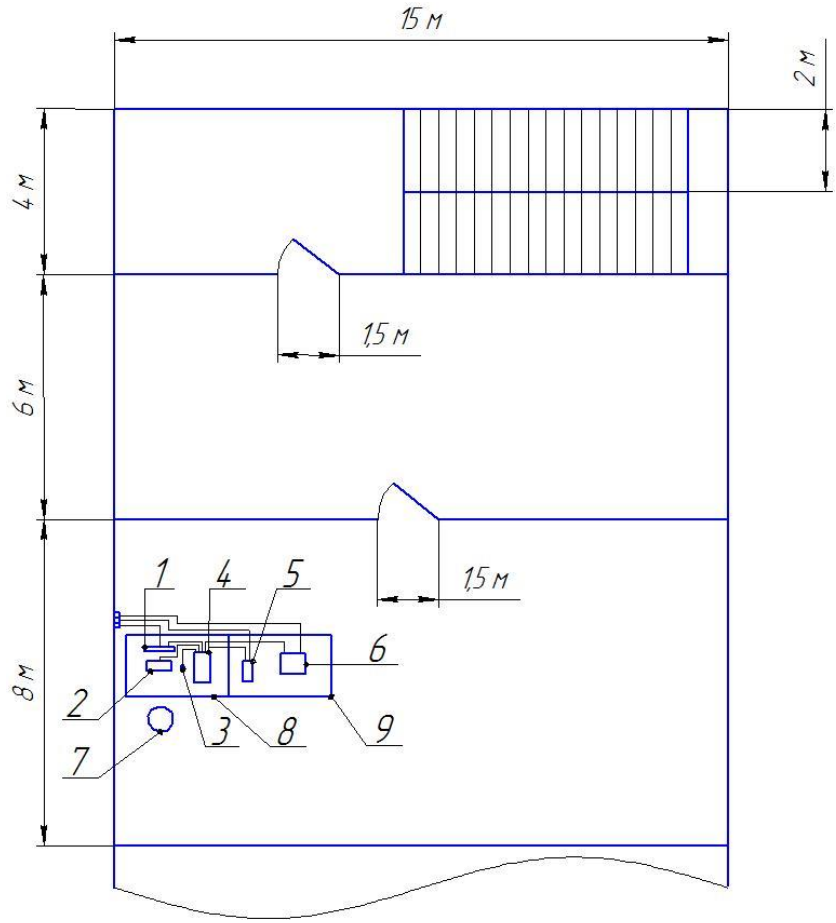
Диспетчер термічного відділення забезпечує взаємодію термічного відділення з іншими відділеннями цеху. Відповідає за планування роботи термічного відділення (режими та цикли відпалу, формування стоп, данні про рулони та ін). Забезпечує виконання змінних та добових планів. Фіксує відхилення ходу виконання завдать від планових показників. Стежить за витратами сировини та енергоносіїв. Контролює час роботи та час і причини простою печей.

Проєкт диспетчерского пункту АСУ блоку ковпакових печей зображено на рис. 3.15.

Приміщення диспетчера термічного відділення розташовано на другому поверсі контрольно-розподільчого пункту. На відміну від робочих місць операторів, диспетчерський пункт розташований у приміщенні з нормальними кліматичними умовами, що дозволяє використовувати стандартне офісне комп'ютерне та периферійне обладнання:

- монітор HPProDisplayR201 з діагоналлю 20″;
- клавіатура;
- маніпулятор типу «миша»;
- персональний комп'ютер HP ProDesk 400 G2 MT, який використовується як робоча станція оператора SCADA-системи;
- джерело безперебійного живлення APC Smart-UPS SC 420VA, що забезпечує коректне завершення роботи обладнання у разі зникнення електроживлення;
- багатофункціональний пристрій Samsung SL-M2070 для друку та обробки технологічної документації;
- робоче крісло;
- два робочі столи, на яких розміщене комп'ютерне та периферійне обладнання.

Робоча станція диспетчера забезпечує доступ до SCADA-системи, реалізованої на базі WinCC Unified, що дозволяє здійснювати моніторинг параметрів роботи ковпакових печей у реальному часі, перегляд архівних даних, аналіз аварійних та попереджувальних повідомлень, а також формування звітів щодо роботи термічного відділення.



1-7 - стілець, 8,9 - столи

Рисунок 3.15 − Приміщення диспетчера

3.8.2 Принципова електрична схема

На принциповій електричній схеміпредставлено з’єднання всіх приладів нижнього рівня печі та приладів верхнього рівня. Датчики нижнього рівня (1а, 2а, 3а, 4а, 5а, 6б, 7б, 8б) з’єднані з цифровим реєстратором R10L(10а) та блокоми живлення БП24-4к (12а, 12б). Також датчик температури ТХАс-2088-04 (1а), датчик розрідження Сафір М 5320 (2а) і датчик витрати Сафір М 5410 (6б) під’єднані до аналогових входів контролера Siemens SIMATIC S7-1500 (11а), для реалізаціїї автоматичного управління відповідним технологічним процесом, і блоків ручного керування БРУ-110 (1в, 2в, 6г), для ручного управління. Задатчики БРУ-1 (1б, 2б, 6в) з’єднані з аналоговими входами контролера Siemens SIMATIC S7-1500, для встановлення завдання атоматичного регулювання, і блоком живлення БП24-

4к (12в). Siemens SIMATIC S7-1500з'єднаний с БРУ-110, а БРУ-110 з'єднані з ПБР-21 (1г, 2г, 6д) для видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми МЕО-100/10-0,25 (1д, 2д, 6е). ППМ-2 (1е, 2е, 6ж) з'єднані з МЕО-100/10-0,25, перетворюють сигнали від індуктивного датчика МЕО в уніфікований, з'єднані з БРУ-110, де відображаються положення вала МЕО. Перетворювач частоти VLT Micro FC 51 (9а) з'єднаний з дискретними виходами контролера, управлює роботою двигуна циркуляційного вентилятора. Реєстратори R10L і контролер та блоки БРУ-110 об'єднані в мережу за допомогую інтерфейсу RS-485, та з'єднані з блоком перетворення інтефейсів БПІ-452 (14а). Реєстратори об'єднані окремо, контролери також окремо, БРУ-110 об'єднані в одну мережу для печей №1-8, друга для печей №9-15. БПІ-452 передає сигнали через інтерфейс USB на промисловий ПК Advantech ARK-3420F-S6A1E (15б). Промисловий ПК Advantech ARK-3420F-S6A1E за допомогою кабелю UTP під'єднаний до індустріального комутатора Advantech EKI-5528I (18а).До комутатора Advantech EKI-5528I також під'єднані персональний комп'ютер диспетчера HP ProDesk 400 G2 MT (16б) та сервер архівування Dell PowerEdge R740 (17б).До персонального комп'ютера диспетчера HP ProDesk 400 G2 MT через USB-інтерфейс під'єднано багатофункціональний пристрій Samsung SL-M2070 (16в), який використовується для друку звітної та технологічної документації.Панельний комп'ютер Advantech TPC-31T-E3AE (13в) використовується як операторський інтерфейс і здійснює обмін даними з програмованим логічним контролером Siemens SIMATIC S7-1500 через промислову мережу Ethernet.Для забезпечення безперебійної роботи промислового ПК, персонального комп'ютера диспетчера, сервера архівування та панельного комп'ютера використовуються джерела безперебійного живлення APC Smart-UPS SC 420VA (SC420I**)** (13а, 15а, 16а, 17а).

3.8.3 Схема зовнішніх з'єднань

Схема представлена на креслені. На схемі показано всі зовнішні з’єднання приладів, типи з’єднувальних кабелів, трубні проводки та їх довжина. Всі зовнішні з’єднання датчиків, пускачів та виконавчих механізмів виконані контрольним кабелем типу КВРБГ з кількістю жил 4, 7 або 10 та перерізом жили 1,0 мм². Прилади, об’єднані інтерфейсом RS-485 (Modbus RTU), з’єднані екранованим кабелем типу витої пари AWG 22 (2×2 або 2×2×0,64 мм), що забезпечує завадостійкість та надійність обміну даними в промислових умовах. Для об’єднання пристроїв у промислову мережу Gigabit Ethernet (1000Base-T) використовується кабель типу UTP категорії не нижче Cat.5e з провідниками AWG 24, що містить 4 виті пари (8 жил).

3.9 Висновки до розділу 3

У розділі 3 було розроблено та обґрунтовано технічні рішення з проєктування автоматизованої системи керування технологічним процесом блоку ковпакових печей, що відповідають сучасним вимогам промислової автоматизації, надійності та безпеки. На основі аналізу структури АСУ ТП визначено функціональні рівні системи, склад технічних засобів та принципи їх взаємодії.

Обґрунтовано вибір програмно-технічних засобів, зокрема промислових контролерів Siemens SIMATIC S7-1500, панельних і промислових комп’ютерів Advantech, серверного обладнання та індустріальних комутаторів. Запропоновані рішення забезпечують необхідну продуктивність, масштабованість і сумісність з сучасними SCADA-системами. Вибір SCADA-системи Siemens WinCC Unified дозволяє реалізувати інтегроване середовище керування, моніторингу та архівування технологічних параметрів із підтримкою віддаленого доступу та веб-інтерфейсів.

Розглянуто організацію інформаційних мереж АСУ ТП, зокрема застосування інтерфейсу RS-485 з протоколом Modbus RTU для зв’язку з польовими пристроями та використання Gigabit Ethernet для обміну даними

між контролерами, сервером і робочими станціями операторів. Таке поєднання забезпечує надійність передачі даних, стійкість до завад і високу швидкість обміну інформацією.

Також у розділі визначено вимоги до електроживлення та резервування, включаючи використання джерел безперебійного живлення, що підвищує відмовостійкість системи та зменшує ризик втрати даних. Запропоновані технічні рішення створюють цілісну, ефективну та безпечну АСУ ТП, здатну забезпечити стабільну роботу блоку ковпакових печей, підвищення керованості технологічного процесу та зниження впливу людського фактору.

4РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВЕРХНЬОГО РІВНЯ АСУ БЛОКУ КОВПАКОВИХ ПЕЧЕЙ

4.1 Розрахунок параметрів наближеним способом

При цьому методі враховується середньогрупові інтенсивності відмов елементів системи та досвід експлуатації аналогічних виробів [36].

Алгоритм розрахунку наступний:

1. Всі елементи системи розподіляються на групи з приблизно однаковими значеннями середніх інтенсивностей відмов (λ_{0i}) елементів та визначається кількість (m) цих елементів;

2. Розраховується добуток $\lambda_{0i} \cdot n$, який визначає долю відмов, що вносяться елементами даної групи у загальну інтенсивність відмов системи;

3. Розраховується сумарна інтенсивність відмов елементів системи:

$$\lambda_{ел} = \text{К} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{0i} \cdot n_i \frac{1}{год}, \qquad (4.1)$$

де k – узагальнений коефіцієнт, який враховує призначення АСУ ТП

λ_{0i} – середня інтенсивність відмов відповідної групи,

m – кількість груп,

n_i – кількість елементів у групі.

4. Розраховується сумарна інтенсивність відмов конструктивів та монтажних з’єднань:

$$\lambda_{\text{км}} = \text{К} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{0i} \cdot n_i \frac{1}{год}; \qquad (4.2)$$

Результати розрахунків заносимо в таблиці 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Дані і результати розрахунків параметрів надійності наближеним методом для елементів АСУ ТП

Найменування і типи елементів	Кількість елементів n_i, шт.	Узагальнений коефіцієнт, К	Середнє значення інтенсивності відмов $\lambda_{oi} \cdot 10^{-6}$, 1/год	Сумарна інтенсивність відмов $\lambda'_{ел} \cdot 10^{-6}$, $\frac{1}{год}$
ПК Advantech ARK-3420F-S6A1E	1	2,5	2,2	56,78
ПК HP ProDesk 400 G2 MT	1		3,46	
Сервер архівування HPE ProLiant DL20 Gen10 Plus	1		0,8	
ДБЖ APC Smart-UPS SMT1500	4		1,2	
БФП HP LaserJet MFP M236	2		2	
Блок перетворення інтерфейсів БПІ-452	1		3,15	
Коммутатор Gigabit Ethernet	1		2,8	
БП24-2к	1		1,5	

Таблиця 4.2 – Дані і результати розрахунків, які враховують особливості конструкції та монтажу

Найменування конструктивів та монтажу	Кількість елементів n_i, шт.	Середнє значення інтенсивності відмов $\lambda_{oi} \cdot 10^{-6}$, 1/год	Сумарна інтенсивність відмов $\lambda_{км} \cdot 10^{-6}$, $\frac{1}{год}$
Провод «Вита пара»	80	0,02	2,5
Провод USB	3	0,01	
Кабелі STP (2 «Виті пари»)	4	0,01	
Щит панельний	1	0,2	
Роз’єми	15	0,002	

Загальна інтенсивність відмов:

$$\lambda'_{заг} = \lambda_{ел} + \lambda_{км} = 61{,}15 + 2{,}5 = 64{,}65 \cdot 10^{-6}$$

Напрацювання на відмову:

$$T'_0 = \frac{1}{\lambda'_{заг}} \text{ год.}, \qquad (4.3)$$

$$T'_0 = \frac{1}{64{,}65 \cdot 10^{-6}} = 15468 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи АСУ ТП:

$$P'(t) = e^{-\lambda'_{заг}} = e^{-\frac{t}{T'_0}}; \qquad (4.4)$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Дані для побудови графіка $P'(t)$

t	0	7734	15468	23202	30936	38670	46404	54138	61872
P(t)	1	0,606	0,368	0,224	0,136	0,082	0,05	0,03	0,018

На рис. 4.1 показано залежність вірогідності відмов від часу наробітку.

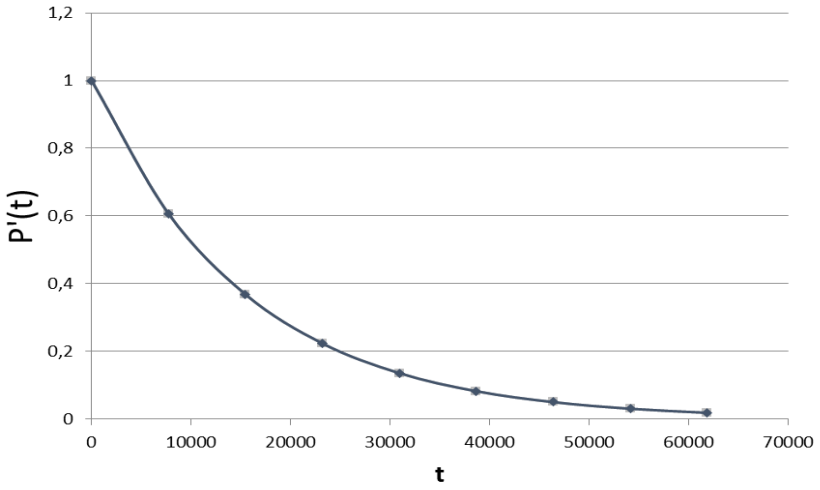


Рисунок 4.1 – Графік залежності P ' (t)

4.2 Розрахунок параметрів надійності з урахуванням режиму роботи елементів і впливом дестабілізуючих чинників

Для визначення коефіцієнтів навантаження елементів роблять розрахунки режимів роботи схеми або приймають рекомендовані коефіцієнти згідно статистичним даним. Вплив дестабілізуючих чинників враховуються за поправними коефіцієнтами, які визначаються конкретними умовами експлуатації та технічними параметрами[37].

Алгоритм розрахунку наступний:

1. Визначається кількість груп елементів (m) системи та кількість елементів у кожній групі (n_j), які мають однакові коефіцієнти навантаження $К_н$ та однакові інтенсивності відмов.

2. Згідно з коефіцієнтами навантаження та максимальній температурі визначаються поправні коефіцієнти a_j.

3. Розраховується сумарна інтенсивність відмов з урахування електричного навантаження та температури нагріву для кожної групи елементів:

$$\lambda_{0i} \cdot n_j \cdot a_j \frac{1}{год}; \qquad (4.5)$$

4. Вибираються поправочні коефіцієнти $K_{\lambda 1}, K_{\lambda 2}, K_{\lambda 3}$, які визначаються умовами експлуатації та технічними параметрами АСУ ТП;

5. Розраховується комплексний поправочний коефіцієнт:

$$K_{\lambda} = K_{\lambda 1} \cdot K_{\lambda 2} \cdot K_{\lambda 3}, \quad (4.6)$$

$$K_{\lambda} = 2{,}5 \cdot 1 \cdot 1{,}04 = 2{,}6$$

6. Розраховується сумарна інтенсивність відмов елементів САР з урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$$\lambda''_{ел} = K \cdot K_{\lambda} \cdot \sum_{i=1}^{m} \lambda_{0i} \cdot n_j \cdot a_j \ \frac{1}{год}$$

Результати розрахунку занесено у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Дані і результати розрахунків параметрів надійності уточненим методом

Найменування і типи елементів	Кількість елементів n_i, шт.	Коефіцієнт навантаження, $K_н$	Коефіцієнт, a_j
ПКAdvantech ARK-3420F-S6A1E	1	0,5	0,4
ПКНР ProDesk 400 G2 MT	1	0,5	0,2
Сервер архівування HPE ProLiant DL20 Gen10 Plus	1	0,5	0,2
Панельний комп'ютер Advantech TPC-31T-E3AE	1	0,5	0,65
ДБЖ APC Smart-UPS SMT1500	4	0,5	0,3
БФП HP LaserJet MFP M236	2	0,5	0,2
Блок перетворення інтерфейсів БПІ-452	1	0,5	0,3
Коммутатор Advantech EKI-2525	1	0,5	0,2
БП24-2к	1	0,5	0,3

Сумарна інтенсивність відмов:

$$\lambda''_{ел} = K \cdot K_{\lambda} \cdot \sum_{i=1}^{m} \lambda_{0i} \cdot n_j \cdot a_j = 2{,}5 \cdot 2{,}6 \cdot 1{,}925 \cdot 10^{-6} = 12{,}5125 \ \frac{1}{год};$$

$$\lambda''_{км} = K \cdot K_{\lambda} \cdot \sum_{i=1}^{m} \lambda_{0i} \cdot n_j \cdot a_j = 2{,}5 \cdot 2{,}6 \cdot 10{,}5 \cdot 10^{-6} = 68{,}25 \ \frac{1}{год}$$

Загальна інтенсивність відмов:

$$\lambda''_{заг} = \lambda''_{ел} + \lambda''_{км} \ \frac{1}{год}, \qquad (4.7)$$

$$\lambda''_{заг} = \lambda''_{ел} + \lambda''_{км} = 12{,}5125 + 68{,}25 = 80{,}762 \cdot 10^{-6}, \ \frac{1}{год}$$

Напрацювання на відмову:

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{80{,}762 \cdot 10^{-6}} = 12382 \text{ год.} \qquad (4.8)$$

Таблиця 4.5 – Дані для побудови графіка P``(t)

t	0	6191	12382	18573	24764	30955	37146	43337	49528
P(t)	1	0,606	0,368	0,224	0,136	0,082	0,05	0,03	0,018

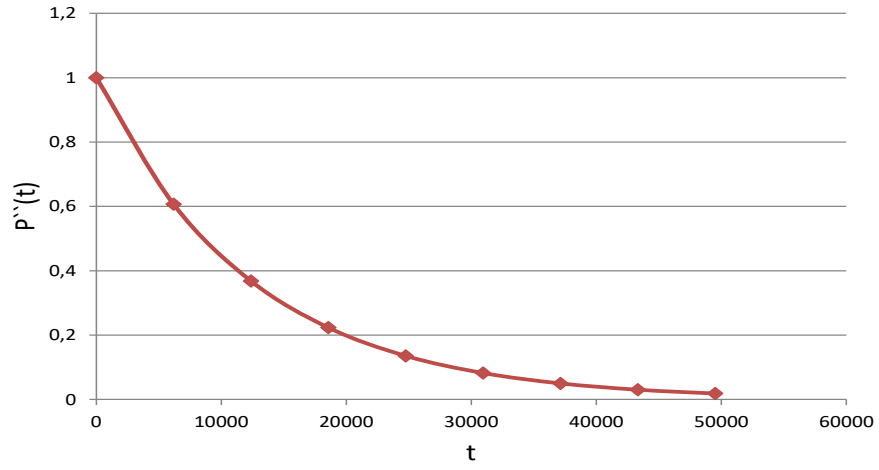


Рисунок 4.2 – Графіки залежностей P'' (t)

З графіка видно, що при розрахунку параметрів надійності при врахуванні режиму роботи елементів і впливу дестабілізуючих чинників, ймовірність безвідмовної роботи АСУ ТП протягом певного часу зменшується, ніж при наближеному методі.

Гарантійний термін роботи АСУ блоку ковпакових печей:

$$T_Г = \frac{T_o}{24 \cdot K_{дн} \cdot M} \text{ р.,} \quad (4.9)$$

де 24 − середня кількість годин роботи АСУ ТП протягом доби;

$K_{ДН}$ − кількість днів роботи в місяць;

М − кількість місяців роботи за рік

$$T_Г = \frac{12382}{24 \cdot 30 \cdot 12} = 1{,}43 \text{р}$$

Середнє значення тривалості відновлення АСУ ТП, якщо потрібне повне відновлення:

$$T_В = \sum_{j=1}^{q} T_{Bj} \cdot m_j \text{ год.,} \quad (4.10)$$

де q − кількість груп елементів, які мають однакову тривалість відновлення;

T_{Bj} −середнє значення тривалості відновлення, година;

m_j− кількість елементів в групі;

$T_В$ = 30,5 год.

Таблиця 4.6 – Дані для розрахунку тривалості відновлення

Найменування та тип елементів	Середнє значення тривалості відновлення T_{BJ}, год	Кількість елементів в групі, m_J
ПКAdvantech ARK-3420F-S6A1E	3	1
ПКHP ProDesk 400 G2 MT	1,5	1

Сервер архівування HPE ProLiant DL20 Gen10 Plus	3	1
Панельний комп'ютер Advantech TPC-31T-E3AE	4	1
ДБЖ APC Smart-UPS SMT1500	3	4
БФП HP LaserJet MFP M236	2	2
Блок перетворення інтерфейсів БПІ-452	1,5	1
Коммутатор Gigabit Ethernet	0,5	1
БП24-2к	1	1

Коефіцієнт готовності:

$$K_г = \frac{1}{1+\lambda \cdot T} = \frac{1}{1+80{,}762 \cdot 10^{-6} \cdot 30{,}5} = 0{,}999$$

(4.11)

Пропозиції щодо підвищення якості надійності та АСУ блоку ковпакових печей

Для підвищення надійності системи необхідно: підвищення надійності окремих її елементів, зменшення кількості елементів та інтенсивності відмов, підвищення тривалості неперервної роботи та інтенсивності відновлення елементів, вибір кратності і виду резервування й способу його реалізації, а також покращення умов експлуатації.

4.3 Висновки до розділу 4

У розділі виконано оцінювання надійності верхнього рівня АСУ ТП блоку ковпакових печей двома методами: наближеним та уточненим з урахуванням режимів роботи елементів і впливу дестабілізуючих чинників. За наближеним методом визначено сумарну інтенсивність відмов системи, розраховано напрацювання на відмову та отримано аналітичну залежність

імовірності безвідмовної роботи від часу. Побудований графік показав поступове зниження ймовірності безвідмовної роботи зі збільшенням тривалості експлуатації.

Уточнений розрахунок, що враховує електричне навантаження, температурні умови та експлуатаційні фактори, продемонстрував зростання сумарної інтенсивності відмов у порівнянні з наближеним методом. Це свідчить про суттєвий вплив реальних умов експлуатації на надійність системи. Визначено гарантійний термін роботи АСУ, середній час відновлення після відмови та коефіцієнт готовності, що дозволяє оцінити експлуатаційну придатність системи.

Отримані результати підтверджують необхідність застосування уточнених методів розрахунку при проєктуванні промислових АСУ ТП. Запропоновані заходи з підвищення надійності - резервування критичних вузлів, покращення умов експлуатації та зменшення інтенсивності відмов елементів - дозволяють підвищити ефективність і безперервність роботи системи.

5 РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АСУ БЛОКУ КОВПАКОВИХ ПЕЧЕЙ

5.1 Розрахунок одноразових витрат на створення АСУ ТП

Одноразові витрати на створення АСУ ТП визначаються за формулою:

$$К^{А} = К^{А}_{П} + К^{А}_{К} (5.1)$$

де $К^{А}_{П}$ – до виробничі витрати;

$К^{А}_{К}$ – капітальні витрати, грн

Довиробничі витрати на розробку АСУ ТП:

$$К^{А}_{П} = К^{А}_{ПР} + К^{А}_{ПО} К^{А}_{ИО} (5.2)$$

де $К^{А}_{ПР}$ – витрати на проектування АСУ ТП, грн;

$К^{А}_{ПО}$– витрати на розробку програмного забезпечення, грн;

$К^{А}_{ИО}$– витрати на підготовку інформаційного забезпечення тривалого користування (створення бази даних АСУ ТП), грн.

$$К^{А}_{П} = 240000 + 58000 + 21500 = 319500 \text{ грн}$$

Величина капітальних витрат визначаються за формулою:

$$К^{А}_{К} = К^{А}_{КТС} + К^{А}_{МОНТ} - К^{А}_{ВЫСВ} \quad (5.3)$$

де $К^{А}_{КТС}$– кошторисна вартість комплексу технічних засобів (КТЗ), грн;

$К^{А}_{МОНТ}$– витрату на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу, грн;

$К^{А}_{ВЫСВ}$– кошторисна вартість технічних засобів, вивільнених у результаті впровадження АСУ, грн.

$$К_К^А = 144792 + 14479{,}2 - 5200 = 154071{,}2 \text{ грн}$$

$$К^А = 319500 + 154071{,}2 = 473571{,}2 \text{ грн}$$

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування АСУ ТП

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на функціонування АСУ ТП здійснюється за формулою:

$$З_{ЭКСП} = З_{ЗП} + З_{ЭЛ} + З_А + З_{МАТ} + З_{РЕМ} \quad (5.4)$$

де $З_{ЗП}$ – річні витрати на заробітну плату спеціалістів в умовах функціонування АСУ ТП з відрахуваннями на соціальне страхування, грн;

$З_{ЭЛ}$ – річна вартість електроенергії, споживаною АСУ ТП, грн;

$З_А$ – річна сума амортизаційних відрахувань, грн;

$З_{МАТ}$ – річна вартість матеріалів, необхідних для функціонування АСУ ТП, грн;

$З_{РЕМ}$ – річна вартість ремонту обладнання, грн

Заробітна плата фахівців в умовах функціонування АСУ ТП залежить від їх чисельності, часу роботи і тарифної ставки. Відрахування на соціальні потреби в Україні здійснюються у вигляді єдиного соціального внеску (ЄСВ). За загальним правилом роботодавець нараховує і сплачує ЄСВ у розмірі 22 % від фонду оплати праці своїх працівників. ЄСВ забезпечує здійснення обов'язкового державного соціального страхування, включно з пенсійним забезпеченням, страховими виплатами тощо[38].

Річна вартість електроенергії, споживаної АСУ ТП, визначається за формулою:

$$З_{ЭЛ} = W \cdot T_{ЭФ} \cdot Ц_Э \quad (5.5)$$

деW – встановлена потужність КТЗ, кВт;

$Т_{еф}$ – ефективний фонд часу роботи КТЗ, год;

$Ц_{Э}$ – вартість 1 кВт-год електроенергії, грн.

$$З_{ЭЛ} = 170 \cdot 3200 \cdot 11{,}38 = 6190720 \text{ грн}$$

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховується за формулою:

$$З_{А} = \frac{К_{К}^{А} \cdot Н_{А}}{100} \qquad (5.6)$$

де $Н_{А}$ – норма амортизації, %

$$З_{А} = \frac{154071{,}2 \cdot 10}{100} = 15407{,}12 \text{ грн}$$

$$З_{ЭКСП} = 212500 + 619072 + 15407{,}12 + 2895{,}84 + 10135{,}44 = 860010{,}4 \text{ грн}$$

5.3 Розрахунок собівартості продукції після впровадження АСУ ТП

Величина собівартості визначається за передбачені зміни окремих видів витрат, на які впливає впровадження АСУ ТП.

Витрати на сировину і матеріали при функціонуванні АСУ ТП з урахуванням можливого збільшення обсягу виробництва і скорочення витрат на сировину та матеріали складуть:

$$С_{М}^{А} = С_{М}^{Б} \cdot у\left(\frac{100 - В_{м}}{100}\right) \qquad (5.7)$$

$$у = \frac{100 + у_{1}}{100} \qquad (5.8)$$

де $С_{М}^{Б}$ – витрати на сировину і матеріали до впровадження АСУ ТП, грн.;

у – індекс об'єму виробництва;

$у_1$ – процент збільшення об'єму виробництва в результаті впровадження АСУ ТП, %;

$В_м$ – процент можливого скорочення витрат сировини і матеріалів після впровадження АСУ ТП

$$у = \frac{100 + 2}{100} = 1{,}02$$

$$С_М^А = 328480 \cdot 0{,}5 \cdot \left(\frac{100-15}{100}\right) = 333374{,}4 \text{ грн}$$

Скорочення витрат сировини і матеріалів при впровадженні АСУ ТП досягається за рахунок стабілізації та оптимізації технологічного процесу, постійного контролю за витрачанням матеріалів, проведення аналізу відхилень фактичних витрат матеріалів від нормативів, що дозволяє забезпечити дотримання планових норм витрат сировини і матеріалів і доведення їх до прогресивного рівня.

Витрати на паливо і енергію на технологічні цілі визначаються за формулою:

$$С_Т^А = С_Т^Б \cdot у\left(\frac{100-В_т}{100}\right) \qquad (5.9)$$

де $С_Т^Б$ – витрати на паливо і енергію до впровадження АСУ ТП, грн.;

$В_т$ – процент можливого скорочення витрат палива і енергії після впровадження АСУ ТП, %

$$С_Т^А = 236520 \cdot 1{,}02\left(\frac{100-2}{100}\right) = 236425{,}4 \text{ грн}$$

Заробітна плата основних виробничих працівників в умовах функціонування АСУ ТП визначається зі врахуванням підвищення об'єму виробництва та співвідношення між темпами приросту середньої заробітної плати та продуктивності праці:

$$С_{ЗП}^{А} = С_{ЗП}^{Б} \cdot [1 + А \cdot (у - 1)] \quad (5.10)$$

де $С_{ЗП}^{Б}$– заробітна плата з відрахуваннями на соціальні потреби виробничих робітників до впровадження АСУ ТП, грн.

А – коефіцієнт співвідношення темпів приросту середньої заробітної плати та темпів приросту продуктивності праці

$$С_{ЗП}^{А} = 21500 \cdot [1 + 1{,}2 \cdot (1{,}02 - 1)] = 217600 \text{ грн}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання складаються з умовно-змінної частини, яка змінюється прямо пропорційно зростанню обсягу виробництва, і умовно-постійної частини, яка не залежить від зростання обсягу виробництва[39].

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання після впровадження АСУ ТП визначаються за формулою:

$$С_{ОБ}^{А} = С_{ОБ.ПЕР}^{Б} \cdot у + С_{ОБ.ПЕР}^{Б} \quad (5.11)$$

де $С_{ОБ.ПЕР}^{Б}$ і $С_{ОБ.ПЕР}^{Б}$– відповідно умовна-змінна і умовно-постійна частина витрат на утримання та експлуатацію обладнання до впровадження АСУ ТП, грн

$$С_{ОБ}^{А} = 18200 \cdot 1{,}02 + 15200 = 33764 \text{ грн}$$

Цехові витрати після впровадження АСУ ТП визначаються за формулою:

$$С_{Ц}^{А} = С_{Ц}^{Б} \cdot [1 + (у - 1) \cdot Д_{Ц}] \quad (5.12)$$

де $С_{Ц}^{Б}$– цехові витрати до впровадження АСУ ТП, грн;

$Д_{ц}$ – коефіцієнт залежності приросту цехових витрат від приросту обсягу виробництва

$$С_{Ц}^{А} = 15478 \cdot [1 + (1{,}02 - 1) \cdot 0{,}4] = 15601{,}82 \text{ грн}$$

Загальнозаводські витрати після впровадження АСУ ТП визначаються за формулою:

$$С^{А}_{ОБЩ} = С^{Б}_{ОБЩ} \cdot [1 + (у - 1) \cdot Д_{З}] \quad (5.13)$$

де $С^{Б}_{ОБЩ}$– цехові витрати до впровадження АСУ ТП, грн.;

$Д_{З}$ – коефіцієнт залежності приросту цехових витрат від приросту обсягу виробництва

$$С^{А}_{ОБЩ} = 21145 \cdot [1 + (1{,}02 - 1) \cdot 0{,}3] = 21271{,}87 \text{ грн}$$

Позавиробничі витрати змінюються пропорційно обсягу виробництва і розраховуються за формулою:

$$С^{А}_{ВН} = С^{Б}_{ВН} \cdot у \quad (5.14)$$

де $С^{Б}_{ВН}$– позавиробничі витрати до впровадження АСУ ТП, грн

$$С^{А}_{ВН} = 12150 \cdot 1{,}02 = 12393 \text{ грн}$$

Собівартість річного випуску продукції після впровадження АСУ ТП складає:

$$С^{А} = С^{А}_{М} + С^{А}_{Т} + С^{А}_{ЗП} + С^{А}_{ОБ} + С^{А}_{Ц} + С^{А}_{ОБЩ} + С^{А}_{ВН} + З_{ЭКСП} \quad (5.15)$$

$$С^{А} = 333374{,}4 + 236425{,}4 + 217600 + 33764 + 15601{,}82 + 21271{,}87 + 12393 + 860010{,}4 = 1730441 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок показників економічної ефективності АСУ ТП

Основними показниками економічної ефективності АСУ ТП є:

- річний приріст прибутку;
- річний економічний ефект;

- розрахунковий коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

- термін окупності витрат[40].

Річний приріст прибутку визначається за формулою:

$$E_{річ} = \frac{B^{А} - B^{Б}}{B^{Б}} \cdot П^{Б} + (C^{Б} - C^{А}) \cdot B^{А} \quad (5.16)$$

де $B^{А}, B^{Б}$ – річний випуск продукції до і після впровадження АСУ ТП, грн.;

$C^{А}, C^{Б}$ – витрати на гривню реалізованої продукції до і після впровадження АСУ ТП, грн.;

$П^{Б}$ – прибуток від реалізації продукції до впровадження АСУ ТП, грн.

$$E_{річ} = \frac{87720 - 86000}{86000} \cdot 142520 + (150{,}6 - 148{,}83) \cdot 87720 =$$
$$= 158114{,}8 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E = E_{річ} - E_{Н} \cdot K^{А} \quad (5.17)$$

де $E_{Н}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень.

$$E = 158114{,}8 - 0{,}15 \cdot 473571{,}2 = 87079{,}12 \text{ грн}$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних вкладень на створення АСУ ТП визначається за формулою:

$$E_{р} = \frac{E_{річ}}{K^{А}} \quad (5.18)$$

$$E_{р} = \frac{158114{,}8}{473571{,}2} = 0{,}33$$

Так, як $E_р > E_Н$, то впровадження даної АСУ ТП ефективно.

Термін окупності витрат визначається за формулою:

$$Т = \frac{К^А}{E_{річ}} \quad (5.19)$$

$$Т = \frac{473571,2}{158114,8} = 2,99$$

Результати розрахунку економічної ефективності зводимо у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку економічної ефективності

Найменування показника	Од. вим.	Значення показника	
		До впровадження АСУ ТП	Після впровадження АСУ ТП
1 Річний обсяг реалізованої продукції	Т.	86000	87720
2 Собівартість річного випуску продукції	грн.	1746135,8	1730441
3 Одноразові витрати на створення АСУ ТП	грн.		473571,2
4 Річний приріст прибутку	грн.		158114,8
5 Річний економічний ефект	грн.		87079,12
6 Розрахунковий коефіцієнт			0,33
7 Строк окупності капітальних вкладень	Р.		2,99

5.5 Висновки до розділу 5

У розділі проведено розрахунок техніко-економічних показників впровадження автоматизованої системи управління технологічним процесом блоку ковпакових печей. Визначено структуру одноразових витрат на створення АСУ ТП, що включають довиробничі витрати та капітальні вкладення в комплекс технічних засобів. Також виконано розрахунок річних експлуатаційних витрат, до складу яких входять витрати на оплату праці

персоналу з урахуванням єдиного соціального внеску, витрати на електроенергію, амортизаційні відрахування, матеріали та ремонт обладнання.

Аналіз собівартості продукції після впровадження АСУ ТП показав зниження витрат на сировину, енергію та експлуатацію обладнання за рахунок стабілізації технологічного процесу, підвищення точності регулювання та зменшення втрат ресурсів. Розрахунок економічної ефективності засвідчив позитивний річний приріст прибутку та наявність річного економічного ефекту. Отримане значення коефіцієнта економічної ефективності капітальних вкладень перевищує нормативне, що підтверджує доцільність реалізації проєкту. Термін окупності витрат становить менше трьох років, що свідчить про достатньо швидке повернення інвестицій.

Таким чином, впровадження АСУ ТП є економічно обґрунтованим і сприяє підвищенню ефективності виробництва.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

6.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Технологічний процес виробництва листового прокату цеху холодної прокатки складається з наступних основних відділень: травильне відділення, відділення прокатних станів, термічне відділення, відділення виробництва жерсті, ділянка прийому та відвантаження готової продукції.

Одностопні газові ковпакові печі, які знаходяться в термічному відділенні, призначені для світлого рекристалізаційного відпалу міцно змотаних холоднокатаних рулонів і пом'якшувального відпалу гарячекатаних рулонів.

Нормативні і фактичні значення чинників виробничого і трудового процесу наведенні в таблиці 6.1.

Фізичні шкідливі чинники

Підвищений рівень інфрачервоного випромінювання. Джерелами підвищеного рівня інфрачервоного випромінювання є: випромінювання від пальників печей, від муфелів печей в процесі охолоджування металу, від відпалених рулонів металу. Під впливом інфрачервоного випромінювання поряд з підвищенням температури поверхні тіла, що опромінюється, за певних умов (тривалого опромінювання значної площі) негативно впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему (збільшується частота серцебиття, змінюється артеріальний тиск, прискорюється дихання), порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до посиленого потовиділення, втрати необхідних для організму людини солей. Підвищення температури шкіри до 40 - 45 °С є межею витримки інфрачервоного випромінювання.

Таблиця 6.1 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу, які впливають на інженера КВП і А

Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	3 клас - шкідливі і небезпечні умови праці			Довготривалість дії фактора за зміну, %
			1а ступ.	2а ступ.	3я ступ.	
2	3	4	5	6	7	8
Шкідливі хімічні речовини, мг/м³						
1й клас небезпеки:						
Ангідрид хромовий	0,010	0,015	1,5			40
2й клас небезпеки:						
Оксиди марганцю ($Mn0_2$)	0,300	0,200				40
3й-4й класи небезпеки:						
Ангідрид сірчистий	10.000	8.240				40
Діоксид азоту	2,000	2,160	1,08			40
Масла мінеральні нафтові	5,000	4,280				40
Оксид вуглецю	20,000	13,100				40
Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м³: Кремнію діоксид кристалічний (граніт, шамот, слюда, сирець, вуглецевий пил) при вмісті в пилу від 10 до 70%	4,00	12,00		3		93
Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	94	2			60
Шум, дБ	80	90		10,0		93
Мікроклімат в приміщенні (теплий період):						
- температура повітря, °С	16 - 27	43			16,0	60
- швидкість руху повітря, м/с	0,2 - 0,5	0,33				93
- відносна вологість повітря, %	70	31				93
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	460		460		60
Атмосферний тиск, атм	1,3	1,35	1,3-1,8			100
Важкість праці	Середньої важкості - IIб					

Підвищене запилення. Тривале подразнення пилом дихальних шляхів здатне викликати хронічний катар з утворенням гіпертрофії із потовщенням слизової оболонки, внаслідок чого порушується фільтруюча функція носа. Слизова оболонка бронхів також реагує на постійне подразнення пилом. Від дії пилу походження розвивається хронічний пиловий бронхіт. Для нього характерна поява фіброзних змін через інгаляційну дію фіброгенних аерозолів. А також може розвинутися бронхіальна астма.

Підвищений рівень шуму. Джерелом шуму є машини і агрегати, забезпечені електричними двигунами. Виробничий шум впливає на здоров'я працюючих, сприяє травматизму, знижує продуктивність праці, знижують рефлекторну діяльність, що часто стає причиною нещасних випадків і травм. Робота в умовах шуму, протягом робочої зміни, викликає погіршення слуху, функціональний розлад центральної нервової і серцево-судинної системи, шкідливо впливає на зоровий і вестибулярний аналізатори.

Підвищений рівень вібрації. Джерелом вібрації є машини і агрегати, забезпечені електричними двигунами. Вібрація впливає на нервову систему, зір, слух, шлунково-кишковий тракт, кістково-суглобовий апарат. Довга дія вібрації на організм може привести до стійкого порушення фізіологічних функцій організму.

Фізичні небезпечні чинники

Механізми для транспортування (електромостові крани, конвеєри, рольганги, шлеппери), залізничний транспорт, внутрішній цеховий транспорт (електрокари, автонавантажувачі) і автомобільний транспорт, небезпечна для життя напруга, що діє, в електроустановках відділення, при не уважності робітників часто стають причиною нещасних випадків і травм.

Небезпека виникнення пожежі. Займання газоповітряної суміші утворюються при проведенні технологічних процесів. Вибухонебезпечні суміші утворюються при неповному згоранні палива, а також в результаті просочування газу в не герметичних місцях.

Хімічні шкідливі чинники

Джерелами хімічно шкідливих чинників є травильне відділення, в якому проводять процес травлення металу з використанням сірчаної кислоти. Підвищений вміст в повітрі ангідриду хромового дуже шкідливо впливає на організм людини. Шестивалентний хром по своїй хімічній природі (тобто по заряду і структурі) близький хроматам і сульфатам, які може заміщати в ході реакції. Тим самим він потрапляє всередину клітин за допомогою так званого сульфатного транспортного механізму, де утворює спочатку п’ятивалентний, а потім тривалентний хром, який приєднується до протеїнів, утворюючи гаптени. Після цього включається імунна реакція, яка викликає високу чутливість клітин до хрому, в тому числі таких, що містять хромові фарбники. Хромовий ангідрид відноситься до канцерогенів і мутагенів.

Психофізіологічні небезпечні чинники

Психофізіологічний чинник є джерелом всіляких роздратувань, що переробляються головним мозком, спонукаючи людину до трудової діяльності. Психофізіологічні чинники виникають в наслідок: нервово-психічних перевантажень, розумових перевантажень, емоційних перевантажень, перенапруги аналізаторів, перевантаження м'язів корпусу і ніг, зниженої вологості повітря. Надмірні фізичні та нервово-психічні перевантаження зумовлюють зміни у фізіологічному та психічному станах працівника, призводять до розвитку втоми та перевтоми. Проявами перевтоми є головний біль, підвищена стомлюваність, дратівливість, нервозність, порушення сну, а також такі захворювання, як вегето-судинна дистонія, артеріальна гіпертонія, виразкова хвороба, ішемічна хвороба серця, інші професійні захворювання.

6.2 Заходи поліпшення умов праці

Клас виробництва в цеху − I, ширина санітарно-захисної зони не менше 1000 м, територія має бути упорядкована і озеленена[41].

Для зменшення шуму, що виникає унаслідок вібрацій корпусів і деталей агрегатів, проводяться робити по зменшенню зазорів в зчленуваннях деталей і усунення неправильного їх зчленування (перекосів і тому подібне), це змнешує рівень шуму на 5 дБ.

Для зменшення шуму регулярно проводиться змащування мастилом працюючих деталей агрегатів, що знижує шум на 5 -12 дБ [42].

Окремі агрегати розміщені в звукоізолюючих кожухах, що зменшує шум на 9 -15 дБ [43].

Для послаблення вібрації проводяться роботи що до усунення дефектів і розташування окремих частин агрегатів, які виникають в процесі роботи.

В окремих агрегатах встановлені пружини та упругі прокладки з гуми між деталям та узлами, які викликають вібрацію[44].

Регулярно проводяться роботи що до змащування мастилом деталей та узлів агрегатів.

Як засоби індивідуального захисту працюючих використовується спеціальне взуття на масивній гумовій підошві [45].

6.3 Виробнича санітарія

Гігієнічна оцінка умов праці: умови і характер праці відносяться до 3-го класу 3-го ступеню [46]. Оцінка технічного і організаційного рівня: робоче місце відповідає проектній і технічній документації.

Атестація робочого місця: умови праці на робочому місці відносяться до особливо шкідливих середньої важкості категорії IIб [47]. В холодний період року температура повітря не перевищує допустиму 16 - 27 °С. В теплий період температура повітря значно перевищує допустиму, фактичне значення температури 38 - 43 °С . В теплий і холодний періоди вологість повітря 30 %, що є нижче оптимальної 40-60 %. Швидкість руху повітря не перевищує оптимальну 0,2 – 0,5 м/с [48].

6.3.1 Вентиляція і кондиціонування

У ЦХП природна вентиляція здійснюється за допомогою повної аерації, тобто природного повітрообміну в літній і зимовий періоди. Для аерації влаштовано 3 ряди отворів в подовжніх стінах будівлі: перший ряд - на рівні 1,2 м від підлоги, другий - на рівні 4 м від підлоги і третій - на рівні підкранових балок. На даху встановлений витяжний ліхтар.

Крім того, передбачена механічна вентиляція при якій повітрообмін досягається за рахунок різниці тиску, що створюється вентилятором, який приводиться в рух електромотором. При цьому забруднене повітря віддаляється через вентиляційні короби. Тип вентиляційної установки ПС-1, продуктивністю 2000 м³/год, потужність тягового електродвигуна 9 кВт, яка застосовується для видалення шкідливих випарів кислот в травильному відділені. Також по периметру цеху, в найбільш забруднених місцях: біля травильних ванн, прокатних станів, місцях різання металу встановлена місцева витяжна вентиляція.

6.3.2 Освітлення

Приміщення уеху за умовами зорової роботи відноситься до VIII розряду, підрозряд *б*, це приміщення, в яких проводиться розрізнення об'єктів при нефіксованій лінії зору і огляд навколишнього простору (виробничі приміщення, в яких ведеться лише нагляд за роботою технологічного устаткування).

Природне освітлення комбіноване, сонячне світло проникає через аераційні ліхтарі на даху цеху і через бічні вікна, але через високе запилення вікон є недостатнім. Нормативне значення коефіцієнта природного освітлення – 0,7 % [49].

Штучне освітлення забезпечується газорозрядними джерелами світла. Нормативне значення загальної освітленості для VIII розряду зорової роботи - 50 лк[50], а для комбінованого та загального штучного - 50–75 лк[51].Для

штучного освітлення цеху застосовуються LED-світильники промислового типу Rosa Iskra LED LB:

-потужність:80 Вт;

-світлова віддача:110–130 лм/Вт (типове значення: ~120 лм/Вт);

-світловий потік: ≈ 9600 лм;

-тривалість горіння (ресурс):50 000–70 000 год;

-колірна температура: 4000–5000 К (нейтральне або холодне біле світло);

-ступінь захисту: IP65 (для промислових умов).

Розряд зорової роботи для приміщення контрольно-розподільчого пункту сектору холодного прокату відділу АСУ ТП - V, підрозряд б (малої точності). Нормативне значення штучної освітленості - 200 лк[49].

Для штучного освітлення приміщення КВП і А використовуються лампи Luminaire CREE1304 2×7W LED:

-потужність:2×7 Вт = 14 Вт загальна;

-світлова віддача: 80–100 лм/Вт (типове значення: ~90 лм/Вт);

-світловий потік: ≈ 1260 лм;

-тривалість горіння (ресурс): 25 000–30 000 год;

-колірна температура: 3000–4000 К (тепле/нейтральне світло).

6.3.3 Розрахунок штучного освітлення приміщення контрольно-розподільчого пункту сектору холодного проката відділу АСУ ТП

Метою даного розрахунку є визначення кількості та сумаої електричної потужності світильників, що розміщені в приміщенні контрольно- розподільчого пункту, в якому виконуються зорові роботи малої точності (V розряд, підрозряд *в* (малий контраст на світлому фоні)).

Розрахунок будемо проводити методом світлового потоку.

Для визначення кількості світильників використовуватимемо формулу:

$$N = \frac{E_{\min} \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi_{Л} \cdot n \cdot \eta},$$

де $E_{\min}$ – найменша освітленість робочої поверхні, лк;

K – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

S – площа приміщення, м²;

Фл – значення світлового потоку, лм;

n – кількість ламп в світильнику, шт.;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Розміри приміщення: довжина a = 15 м, ширина b = 7 м, висота H = 3,5.

Відповідно до вибраного розряду зорових робіт найменша освітленість робочої поверхні Emin приймається рівною 200 лк.

Коефіцієнт запасу кврахову запиленість приміщення, зниження світлового потоку ламп в процесі експлуатації. Для приміщення контрольно-розподільчого пункту з люмінисцентними лампами K = 1,8.

Коефіцієнт нерівномірності освітленості Z характеризує нерівномірність освітлення. Він є функцією багатьох змінних і найбільшою мірою залежить від відношення відстані між світильниками до розрахункової висоти (L / h).

При розташуванні світильників в лінію (ряд), якщо відношення L / h не перевищує встановлених значень, для люмінесцентних ламп рекомендується приймати Z = 1,1.

Коефіцієнт η визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення i, коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $\rho_{стелі}$ = 70%, $\rho_{стін}$ = 50%.

Висота робочих поверхонь (столів) h_p = 0,7 м.

Для освітлення прийнято світильники типу ЛСП02, які підвішуються до стелі; відстань від світильника до стелі $h_{св}$ = 0,5 м.

Визначаемо висоту підвісу світильників над підлогою:

$$ho = H - h_{св}$$

$$ho = 3{,}5 - 0{,}5 = 3 \text{ м}$$

Для свіильників загального освітлення з люмінесцентними лампами потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою повинна бути 2,6 -4 м, в залежності від характеристики світильника.

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = ho - h_p$$

$$h = 3 - 0{,}7 = 2{,}3 \text{ м}$$

Показник приміщення *i* вираховується за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$i = \frac{15 \cdot 7}{2{,}3 \cdot (15 + 7)} = 2{,}07,$$

де *a, b, h* – довжина, ширина і розрахункова висота (висота підвісу світильника над робочою поверхнею) приміщення, м

По довідкових таблицях методом знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 56\%$.

Для освітлення приміщень застосовуються світлодіодні світильники промислового виконання, які забезпечують світловий потік не менше 3800 лм при значно меншому енергоспоживанні та більшому терміні служби порівняно з люмінесцентними лампами.Площа приміщення:

$$S = a \cdot b$$

$$S = 15 \cdot 7 = 105 \text{ м}^2$$

Визначаємо кількість N світильників, вважаючи, що кожен світильник містить дві (n = 2) лампи:

$$N = \frac{200 \cdot 1{,}8 \cdot 105 \cdot 1{,}1}{3800 \cdot 2 \cdot 0{,}566} = 9{,}66$$

Приймаємо 10 світильників, які для забезпечення рівномірності освітлення розташовуємо в два ряди по п’ять штук в кожному.

Загальна довжина усіх світильників у ряді становитиме:

$$\sum L_{св} = 1{,}2 \cdot 5 = 6\,\text{м}$$

Це значення менше довжини приміщення, тому між світильниками будуть розриви 1,5 м.

Для освітлення виробничих та технічних приміщень у межах АСУ ТП використано сучасні LED-світильники промислового типу. Вони забезпечують рівномірний світловий потік, високу енергоефективність та довгий термін служби. Так, обрано світильник Luminaire CREE1304 2×7W LED з яскравістю ~560 лм для локального освітлення робочих місць, та Rosa Iskra LED LB 80 Вт як потужніше рішення для загального освітлення більших площ.

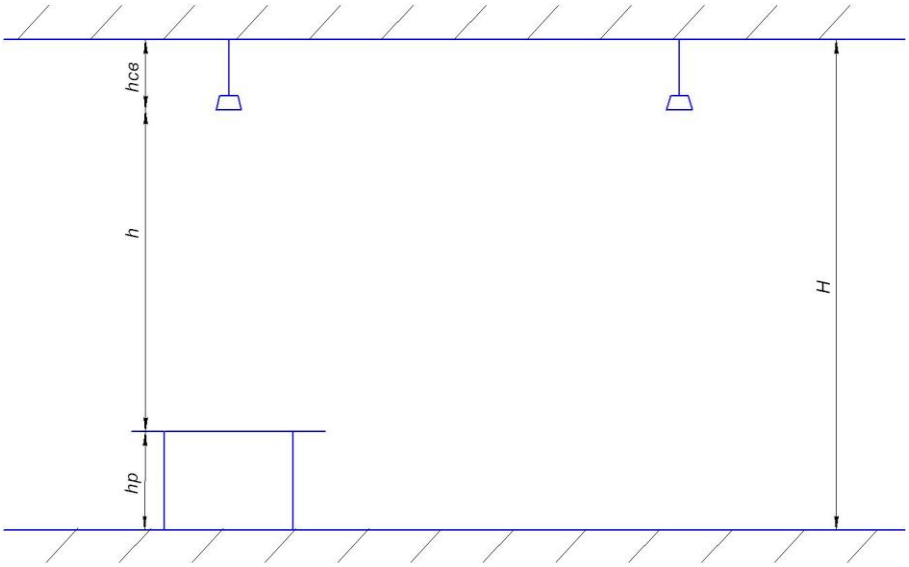


Рисунок 6.1 – Схема визначення висоти підвісу світильника

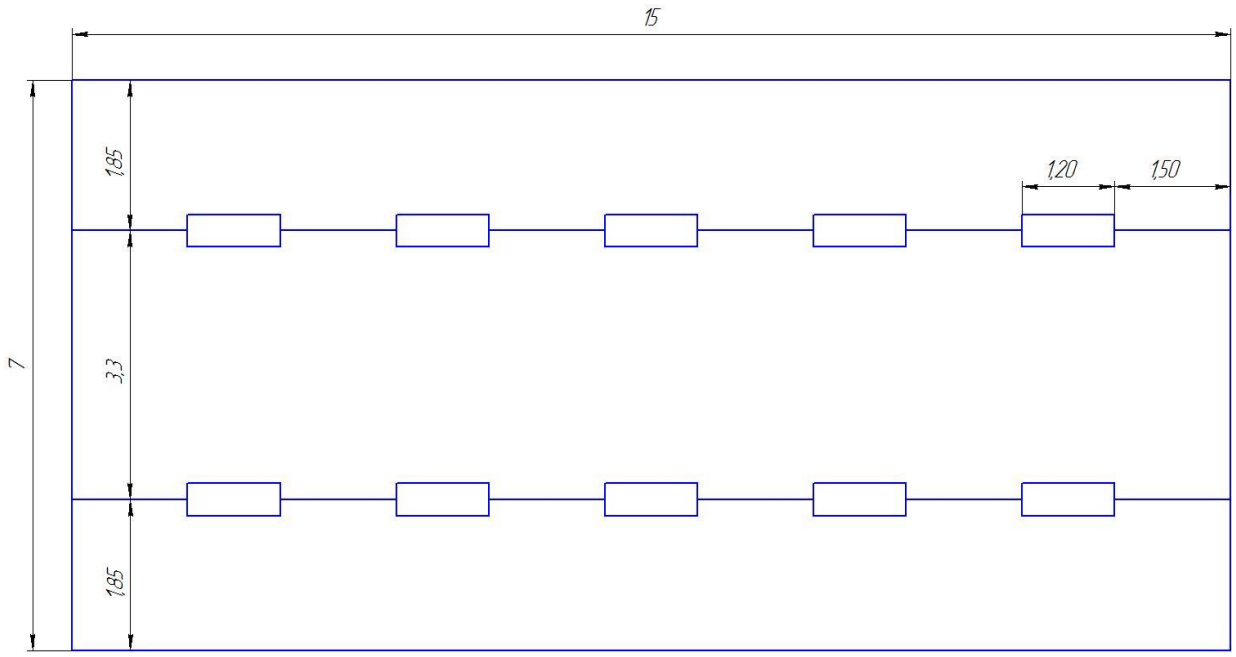


Рисунок 6.2 – Схема розташування світильників Luminaire CREE1304 2×7W LED

Визначаємо сумарну електричну потужність всіх світильників, встановлених приміщені:

$$\sum P_{СВ} = P_{Л} \cdot N \cdot n$$

$$\sum P_{СВ} = 80 \cdot 10 \cdot 2 = 1600 \text{ Вт}$$

6.4 Заходи електробезпеки

Прокатне відділення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом належить до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки температура повітря в ньому перевищує 35 °С, а також наявний струмопровідний технологічний пил. У процесі виробництва пил у значній кількості осідає на проводах та проникає всередину електроустаткування.

Електричні машини й апарати, що застосовуються в електроустановках прокатного відділення, мають герметичне виконання з підвищеним ступенем захисту оболонки, що забезпечує захист від проникнення пилу та вологи.

Для підведення живлення до електроустановок використовується закрита електропроводка, виконана кабелями марок АППР, АПВ, АППВ, ПРТО, АПРТО, ПВ, які прокладаються у вінілпластових трубах, рідше - у сталевих.

За класом пожежної небезпеки електроустановки прокатного відділення належать до зони П-III, а ступінь захисту електрообладнання відповідає класу IP44.

До експлуатації електроустаткування допускається персонал, який пройшов відповідне навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці та електробезпеки в обсязі, передбаченому для виконуваних робіт, та має кваліфікаційну групу з електробезпеки, встановлену правилами експлуатації електроустановок напругою до 1 кВ, підключених до трифазної чотирипровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Стійки, корпуси та кожухи електричних машин, вимикачів, щитів керування, приладів КВП, трансформаторів та інших металевих частин, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені.

Під час експлуатації здійснюється контроль опору ізоляції електроустаткування, який у будь-якій не заземленій точці повинен бути не менше 1 МОм, а опір ізоляції обмоток електродвигунів (без з’єднувальних проводів) - не менше 0,5 МОм. Опір ізоляції обмоток електродвигунів типу П-200/800 відносно корпусу при температурі, близькій до робочої, повинен бути не менше 0,75 МОм.

Вимірювання опору ізоляції виконується мегомметром при напрузі 500–1000 В, а для електронної апаратури застосовуються низьковольтні вимірювальні прилади.

Усе електроустаткування повинно проходити випробування підвищеною напругою промислової частоти протягом 1 хвилини. Під час випробувань усі проводи силових кіл і безпосередньо під'єднані до них кола керування з'єднуються між собою, а напруга прикладається між цими проводами та заземленими металевими частинами обладнання.

Кожна шафа КВП повинна бути заземлена двома незалежними заземлювальними провідниками. Усі роботи з відключення та підключення шин і кабелів до трансформаторів та іншого електроустаткування, а також виконання періодичних оглядів дозволяються лише за повністю знятої напруги відповідно до вимог чинної нормативно-технічної документації[52, 53].

6.5 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), приміщення цеху за пожежною небезпекою відноситься до класу П-1- приміщень, у яких можливе використання або зберігання горючих рідин з температурою спалаху понад 61 °С [54].

Вибухонебезпечні зони в приміщеннях цеху відсутні, оскільки за умов нормальної експлуатації не утворюються вибухонебезпечні суміші горючих газів або парів легкозаймистих рідин з повітрям. Можливість утворення таких сумішей може виникати лише у разі аварійних ситуацій або порушення технологічного режиму, що відповідає характеристиці зон класу В-1а згідно з вимогами ПУЕ [55].

Виробничий процес у прокатному (термічному) відділенні належить до категорії Г за вибухопожежною та пожежною небезпекою. До цієї категорії відносяться технологічні процеси, пов'язані з обробкою негорючих речовин і матеріалів у гарячому, розжареному або розплавленому стані, які супроводжуються виділенням променистого тепла, іскор або полум'я, а також спалюванням горючих газів чи рідин як палива [56].

6.6 Засоби індивідуального захисту

У виробничому приміщенні термічного відділення працівники повинні використовувати належні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), які відповідають характеру виконуваних робіт, умовам середовища та вимогам охорони праці. Використання ЗІЗ спрямоване на забезпечення захисту від механічних, термічних, електричних, хімічних та інших виробничих небезпек[57].

До основних засобів індивідуального захисту, що застосовуються в цеху, належать:

1. Спеціальний одяг

- костюми, куртки класу М- забезпечують захист від механічних пошкоджень, подряпин, стирання та незначних ударів;
- костюми, куртки класу Т- виготовлені з матеріалів, що витримують вплив підвищених температур, і забезпечують захист від нагрітих поверхонь, бризок розплавлених матеріалів та короткочасного теплового опромінювання.

2. Спеціальне взуття.Працівники використовують спецвзуття з підвищеним захистом, такі як чоботи із верхом із натуральної шкіри та гумовою підошвою, забезпечують надійне зчеплення з поверхнею, захист від проколів, порізів, а також тепловий захист від гарячої підлоги й розплавлених бризок.

3. Засоби захисту рук

Рукавиці мають бути підібрані відповідно до характеру ризику:

- клас Мп- забезпечують захист від механічних пошкоджень (порізи, проколи);

- клас Тв- теплоізоляційні рукавиці, що захищають руки під час контакту з гарячими поверхнями (температура понад 400 °С);

- клас Ен/Ев- діелектричні рукавиці для захисту від електричного струму: Ен- для напруг до 1000 В, Ев- для напруг понад 1000 В.

4. Засоби захисту голови

Універсальна захисна каска із ударостійкого матеріалу є обов’язковою для захисту від ударів, падіння предметів та електричної небезпеки, особливо у зонах з підвищеною ймовірністю травмування.

5. Додаткові засоби захисту в окремих умовах

- протипилові або протиіскорні окуляри - при роботі із пилозабрудненими середовищами чи іскроутворенням;

- захисні щитки - для робіт з відкритими джерелами тепла чи іскрінням;

- респіратори або протигази - за необхідності при наявності шкідливих газів/аерозолів.

Вибір і використання конкретних ЗІЗ повинні відповідати оцінці професійних ризиків, затвердженій на підприємстві, та інструкціям з охорони праці, а також правилам безпеки електроустановок (ПУЕ), вимогам ДСТУ та галузевих норм[58, 59].

6.7 Висновки до розділу 6

У розділі проведено комплексний аналіз умов праці під час експлуатації автоматизованої системи управління технологічним процесом блоку ковпакових печей у термічному відділенні. Встановлено, що на працівників впливають фізичні, хімічні, психофізіологічні та небезпечні виробничі чинники, зокрема підвищене інфрачервоне випромінювання, запиленість повітря, шум, вібрація, підвищена температура, а також ризики ураження електричним струмом і виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

За результатами гігієнічної оцінки умови праці віднесено до шкідливих, що потребує впровадження комплексу організаційних і технічних заходів.

У роботі обґрунтовано застосування ефективних засобів зниження шуму та вібрації, покращення мікроклімату, раціональної організації освітлення та вентиляції, а також заходів електробезпеки й пожежної безпеки відповідно до чинних нормативних вимог. Важливу роль відіграє забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, що знижує ризик професійних захворювань і травматизму.

Реалізація запропонованих заходів дозволяє зменшити вплив шкідливих факторів виробничого середовища, підвищити рівень безпеки праці персоналу та забезпечити надійну й безпечну експлуатацію обладнання АСУ ТП у термічному відділенні.

ВИСНОВКИ

1. Удосконалено підхід до побудови ієрархічної структури АСУ ТП блоку ковпакових печей, який передбачає інтеграцію сучасних програмно-технічних засобів із розподіленим нижнім рівнем і централізованими функціями моніторингу та аналізу на верхньому рівні.

2. Розроблено математичну модель теплового режиму ковпакової печі, що враховує взаємодію муфеля, садки металу та захисної атмосфери, і дозволяє точніше описати динаміку зміни температури під час нагріву, витримки та охолодження.

3. Уперше для даного типу термічних агрегатів запропоновано алгоритмічну структуру керування технологічним циклом на основі рецептурного принципу, що забезпечує автоматичну адаптацію параметрів процесу до різних режимів термообробки.

4. Удосконалено метод керування витратою захисного газу, який поєднує режими холодної продувки та безперервної подачі газу протягом усього циклу термообробки, що підвищує стабільність газового середовища в печі.

5. Розроблено структуру програмного забезпечення контролера у вигляді взаємопов’язаних функціональних блоків, що дозволяє реалізувати модульний принцип побудови алгоритмів керування та спрощує подальшу модернізацію системи.

6. Удосконалено інформаційно-візуалізаційну підсистему АСУ ТП, яка забезпечує комплексне відображення технологічних параметрів, стану обладнання та аварійних повідомлень у реальному часі.

7. Запропоновано підхід до інтеграції даних технологічного процесу з архівною підсистемою, що забезпечує накопичення даних для подальшого аналізу, оптимізації режимів та підвищення якості продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Термічна обробка металів : навч.-метод. матеріали. URL: https://vpu17.dp.ua/wp-content/uploads/2024/10/Лекції-Термічна-обробка-металів-133.pdf (дата звернення: 03.02.2025).

2. Єремєєв І. С., Кисель В. Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами : навч. посіб. Одеса : Гельветика, 2022. 324 с.

3. ПАТ «Запоріжсталь» : офіц. сайт. URL: https://zaporizhstal.com/uk-ua/ (дата звернення: 23.05.2025).

4. ДСТУ Б А.2.4-14:2005. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Технічне завдання. Держспоживстандарт України. Київ, 2005.

5. Санітарні норми і правила «ДСанПіН 3.3.6.096-2002» : при роботі з джерелами електромагнітних полів. МОЗ України. Київ, 2002.

6. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. МОЗ України. Київ, 1999.

7. ДСТУ ГОСТ 12.2.091:2004. Безпека електричних контрольно-вимірювальних приладів та лабораторного обладнання. Держспоживстандарт України. Київ, 2004.

8. ДСТУ 3396.0-96. Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення. Держспоживстандарт України. Київ, 1996.

9. ДБН В.1.2-8:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Гігієна, здоров’я та захист довкілля. Мінрегіонбуд України. Київ, 2021.

10. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. Мінрегіонбуд України. Київ, 2014.

11. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. Мінрегіонбуд України. Київ, 2016.

12. Правила улаштування електроустановок. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ, 2017.

13. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища. МОЗ України. Київ, 2020.

14. Міняйло Н. О., Ніколаєнко А. Н. Програмно-технічні комплекси засобів автоматизації : метод. вказівки. Запоріжжя, 2007. 36 с.

15. Автоматизована система управління : визначення та основні функції. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автоматизована_система_управління (дата звернення: 03.02.2026).

16. Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП): моніторинг, обробка, аналіз даних : навчальний матеріал. URL: https://vseosvita.ua/lesson/avtomatyzovani-systemy-upravlinnia-tekhnolohichnymy-protsesamy-asutp-532543.html (дата звернення: 03.02.2026).

17. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: загальні характеристики, структура, функції : навчальний матеріал. URL: https://kemt.kiev.ua/assets/library/files/rep-ek-229030-uchebnik-avtomatizacziya-orig.pdf (дата звернення: 04.02.2026).

18. Реєстратор багатоканальний R10L : технічний опис виробу. URL: https://lpz.com.ua/production/r5-r10l-r10m-r12/ (дата звернення: 15.10.2025).

19. Перетворювач тиску 626-05-LED : технічні характеристики. URL: https://www.svaltera.ua/catalog/758/5659.php (дата звернення: 15.10.2025).

20. AdvantechTPC-1551T-E3AE : технічні характеристики панельного промислового комп’ютера. URL: https://www.mouser.com/ProductDetail/Advantech/TPC-1551T-E3AE (дата звернення: 04.02.2026).

21. SIMATICS7-1500 : програмовані логічні контролери. Опис сімейства / SiemensAG. URL: https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1500.html (дата звернення: 04.02.2026).

22. HPProDesk 400 G9 DesktopPC : технічні характеристики персонального комп’ютера / HPInc. URL: https://www.hp.com/ua-uk/products/desktops/product-details/product-specifications/2101843853 (дата звернення: 04.02.2026).

23. HPE ProLiant DL20 Gen10 Plus Server : технічні характеристики серверного обладнання / Hewlett Packard Enterprise. URL: https://www.servercomputeworks.com/DL20-Gen10-Plus.asp (дата звернення: 04.02.2026).

24. SCALANCEX-200 GigabitSwitches : промислові Ethernet-комутатори / SiemensAG. URL: https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/industrial-ethernet/industrial-ethernet-switches-scalance-x/scalance-x-200-managed.html (дата звернення: 04.02.2026).

25. APC Smart-UPS SMT1500 : технічні характеристики джерела безперебійного живлення / Schneider Electric. URL: https://www.apc.com/shop/ua/uk/products/APC-Smart-UPS-SMT1500-230V/P-SMT1500I-2U (дата звернення: 05.02.2026).

26. HPLaserJetMFPM236 : технічні характеристики багатофункціонального пристрою / HPInc. URL: https://www.hp.com/ua-uk/printers/product-details/laserjet-mfp-m236 (дата звернення: 05.02.2026).

27. AdvantechFPM-2150G : технічні характеристики промислового монітора / AdvantechCo., Ltd. URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/331408/ADVANTECH/FPM-2150G.html (дата звернення: 05.02.2026).

28. DellPowerEdgeR750 : технічні характеристики серверного рішення / DellTechnologies. URL: https://www.dell.com/uk-ua/work/shop/povnyj-assortiment/server-rack-servers/poweredge-r750/pd (дата звернення: 05.02.2026).

29. Windows 10 IoT Enterprise LTSC 2021 : життєвий цикл та особливості / Microsoft Corporation. URL: https://learn.microsoft.com/windows/iot/iot-enterprise/whats-new/windows-10-iot-enterprise-ltsc-2021 (дата звернення: 05.02.2026).

30. Windows Server 2022 Standard : технічні характеристики та можливості / Microsoft Corporation. URL: https://learn.microsoft.com/windows-server/get-started/windows-server-2022 (дата звернення: 06.02.2026).

31. WinCCUnified : SCADA-система для автоматизації виробничих процесів / SiemensAG. URL: https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc-scada/hmi-scada/wincc-unified.html (дата звернення: 06.02.2026).

32. PROFINET : промислова мережа Industrial Ethernet / PROFIBUS & PROFINET International. URL: https://www.profibus.com/technology/profinet/ (дата звернення: 06.02.2026).

33. RS-485 : стандарт інтерфейсу промислового зв’язку. URL: https://www.ti.com/interface/rs-485/overview.html (дата звернення: 06.02.2026).

34. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3 : специфікація протоколу Modbus. URL: https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf (дата звернення: 06.02.2026).

35. Build Graphical User Interfaces Using GUIDE : навчальні матеріали / MathWorks. URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/about-guides.html (дата звернення: 08.02.2026).

36. Reliability Method : approximate analysis methods. URL: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/reliability-method (дата звернення: 06.02.2026).

37. Бакунов О. О. Розрахунок надійності системи технічного об’єкта з урахуванням режиму роботи елементів та впливом дестабілізуючих чинників : навч.-метод. матеріали. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. URL: https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/24616/1/Бакунов О.О.pdf (дата звернення: 06.02.2026).

38. Єдиний соціальний внесок в Україні : офіційна інформація / Державна податкова служба України. URL: https://tax.gov.ua/en/mass-media/news/920979.html (дата звернення: 06.02.2026).

39. Гущин Ю. І., Шутенко О. М. Економіка підприємства : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 456 с.

40. Брагін О. П., Осауленко В. П. Економіка підприємства : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 520 с.

41. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : ДСП 173-96. Київ : МОЗ України, 1996.

42. Жидецький В. Ц. (ред.). Охорона праці. Захист від шуму на виробництві : довідкові матеріали. Львів : Афіша, 2019.

43. ДСТУ ISO 11690-1:2016. Акустика. Рекомендації щодо проектування малошумних робочих місць. Частина 1. Стратегії зниження шуму. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

44. ДСТУ ISO 10816-1:2007. Механічна вібрація. Оцінювання вібрації машин за результатами вимірювань на невибертових частинах. Частина 1. Загальні настанови. Київ : Держспоживстандарт України, 2007.

45. НПАОП 0.00-4.01-08. Положення про порядок забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Київ : Держгірпромнагляд України, 2008.

46. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу : наказ МОЗ України від 08.04.2014 № 248. Київ : МОЗ України, 2014.

47. Класи умов праці та ступені їх шкідливості : методичні матеріали. Київ : МОН України, 2015.

48. Нормування параметрів мікроклімату на робочому місці : навчальний посібник. Київ : Центр навчальної літератури, 2018.

49. Нормування зорових робіт та коефіцієнта природного освітлення : довідковий матеріал. Київ : Освіта України, 2017.

50. ДБН В.2.5-28:2006. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінбуд України, 2006.

51. Нормовані значення КПО та освітленості для виробничих приміщень згідно ДБН В.2.5-28 : навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2019.

52. Правила улаштування електроустановок : затв. наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. Київ : Міненерговугілля України, 2017.

53. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258. Київ : Мінпаливенерго України, 2006.

54. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міненерговугілля України, 2017.

55. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2016.

56. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

57. ДСТУ 2298:2015. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.

58. Правила безпеки систем та установок електропостачання : наказ Держенергонагляду України від 04.07.2011 № 408. Київ : Держенергонагляд України, 2011.

59. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2016.

Додаток А

Код програми для розрахунку тепового балансу

```
function varargout = Kolpakova_pech(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @Kolpakova_pech_OpeningFcn,
...
                   'gui_OutputFcn',  @Kolpakova_pech_OutputFcn,
...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end


function Kolpakova_pech_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = Kolpakova_pech_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function text6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
G=str2double(get(handles.edit15,'String')) ;
Vmuf=str2double(get(handles.edit14,'String'));
s1=str2double(get(handles.edit17,'String'));
s2=str2double(get(handles.edit16,'String'));
Fp=str2double(get(handles.edit13,'String'));
Fs=str2double(get(handles.edit22,'String'));
Fst=str2double(get(handles.edit16,'String'));
```

```
%Хімічне тепло палива
Qnr=str2double(get(handles.edit3,'String'));
T=14000;
Qt=(Qnr*T)/100000;
set(handles.text52,'string',num2str(Qt));

%Фізичне тепло палива
Lv=11.27;
Iv=42;
Tv=14000;
Qv=(Lv*Iv*Tv)/10^5;
set(handles.text26,'string',num2str(Qv));

%Нігрів садки
ik=406;
in=2.4;
Qmet=(G*(ik-in))/1000;
set(handles.text28,'string',num2str(Qmet));

%Нагрів муфеля
Gmuf=600;
ik2=543;
in2=58.6;
Qmuf=((ik2-in2)*Gmuf)/1000;
set(handles.text30,'string',num2str(Qmuf));

%Нагрів стендової плити
Gpl=400;
ik3=448;
Qpl=(Gpl*(ik3-in2))/1000;
set(handles.text29,'string',num2str(Qpl));

% Втрати холостого ходу
%Втрати тепла через стінку ковпака
t_sv=900;
t_oks=20;
lam1=0.7;
lam2=0.172;
alfa1=12.4;
q1=(t_sv-t_oks)/((s1/lam1)+(s2/lam2)+(1/alfa1));
Qst=Fp*q1;

%Втрати тепла через звід
s3=0.23;
s4=0.25;
lam3=0.69;
```

```
lam4=0.189;
alfa2=12.12;
q2=(t_sv-t_oks)/((s3/lam3)+(s4/lam4)+(1/alfa2));
Qsv=Fs*q2;

%Втрати через стенд
lam5=0.71;
lam6=0.172;
alfa3=12.12;
q3=(t_sv-t_oks)/((s1/lam5)+(s2/lam6)+(1/alfa3));
Qsd=Fst*q3;

%Втрати тепла через все футерування ковпака
Qf=Qst+Qsv+Qsd;

%Втрати теплових коротких замикань
Qkz=0.5*Qf;


Qhh=(Qf+Qkz)/1000;
set(handles.text37,'string',num2str(Qhh));

%Нагрів захисного газу
Vs=1.54;
Vg=((pi*(1.26)^2)/4)*(Vmuf-Vs);
Cg=1.38;
tg=800;
Qg=(Vg*Cg*tg)/1000;
set(handles.text38,'string',num2str(Qg));

%Втрати випромінюванням при перенесенні ковпака
Qizl=29000/1000;
set(handles.text43,'string',num2str(Qizl));

%Тепло, що акумулюється стендом
%Тепло, що акумулюється шаром легковагового шамоту
ik_5=800;
in_5=100;
Fl1=2.01;
Pl1=1300;
G1=Fl1*s1*Pl1;
C1=0.91
Q1=G1*C1*(ik_5-in_5);

%Тепло, що акумуляються шаром діатомітовії цегли
ik_6=442;
```

```
in_6=100;
Pl2=600;
C2=0.838;
G2=Fl1*s2*Pl2;
Q2=G2*C2*(ik_6-in_6);

%Тепло, що аккумулюється каркасом
G3=750;
C3=0.55;
ik_7=60;
in_7=20;
Q3=G3*C3*(ik_7-in_7);

Qakk=(Q1+Q2+Q3)/1000;
set(handles.text45,'string',num2str(Qakk));

%Не враховані втрати
B=(Qmet+Qmuf+Qpl+Qhh+Qizl+Qg+Qakk)/(Qt+Qv);
set(handles.text46,'string',num2str(B));

%Прихід
Prihod=(Qt*B)+(Qv*B);
set(handles.text32,'string',num2str(Prihod));

%Витрата
Rashod=Qmet+Qmuf+Qpl+Qhh+Qizl+Qg+Qakk;
set(handles.text33,'string',num2str(Rashod));

KPD=(Qmet/(Qmet+Qmuf+Qpl+Qhh*26.87*3.6+Qizl+Qg+Qakk))*100;
set(handles.text40,'string',num2str(KPD))
```