

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістрський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1411з
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми 141.00.11 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(назва освітньої програми)

Гревцев О. О.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Башлій С.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Артемчук В.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти другий (магістрський) рівень _____
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва) _____
Спеціалізація _____
(код та назва) _____
Освітня програма 141.00.11 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., доц. В.Л. Коваленко

« 01 » грудня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Гревцев Олег Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»

керівник роботи Башлій Сергій Вікторович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 598 - с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2022 р.

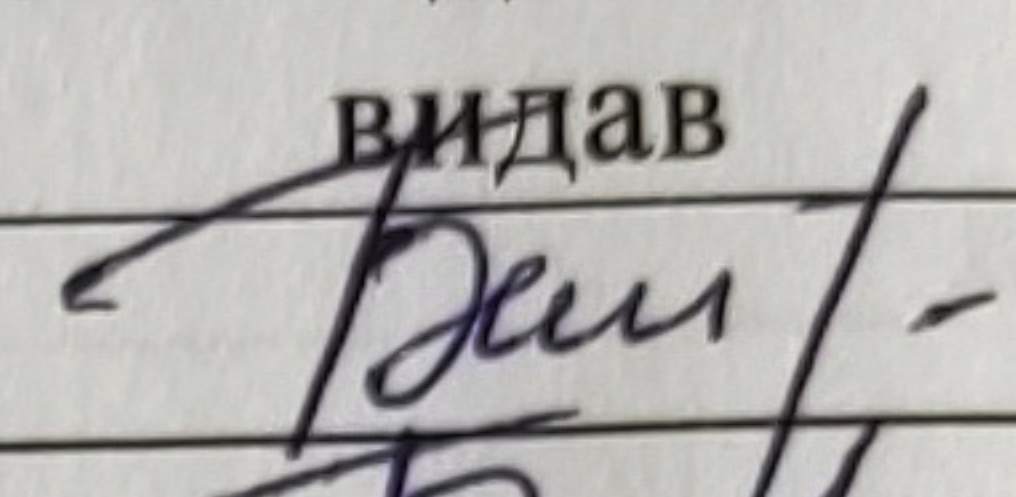
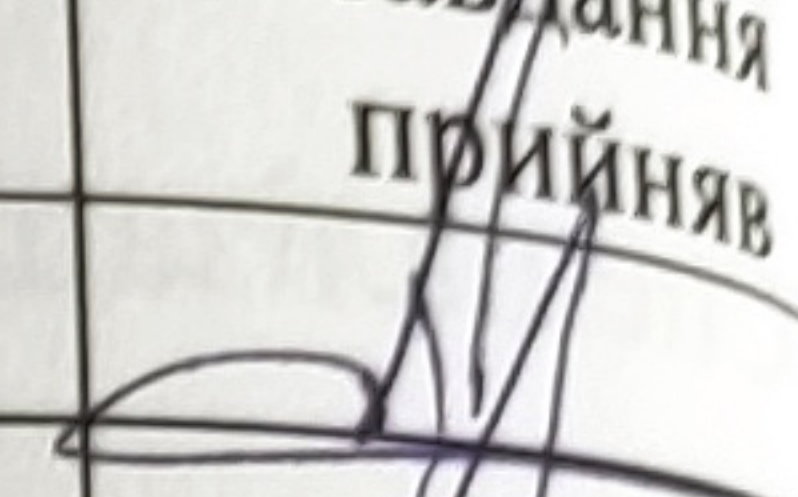
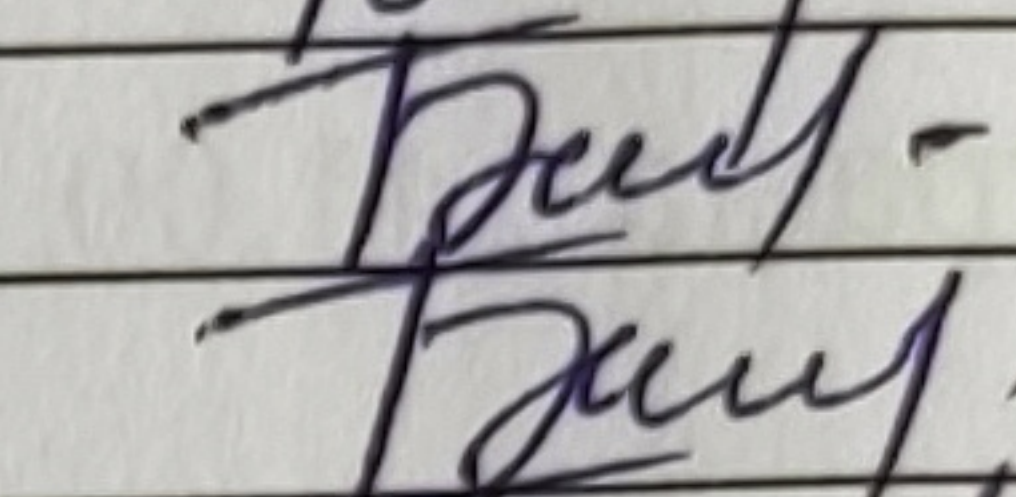
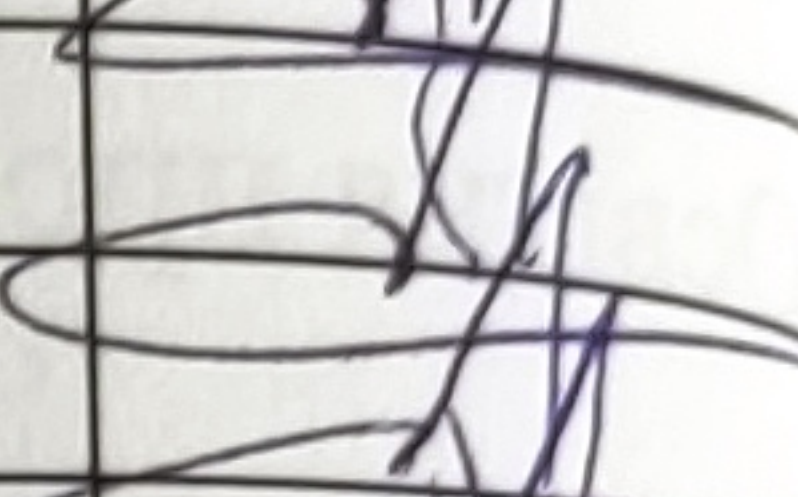
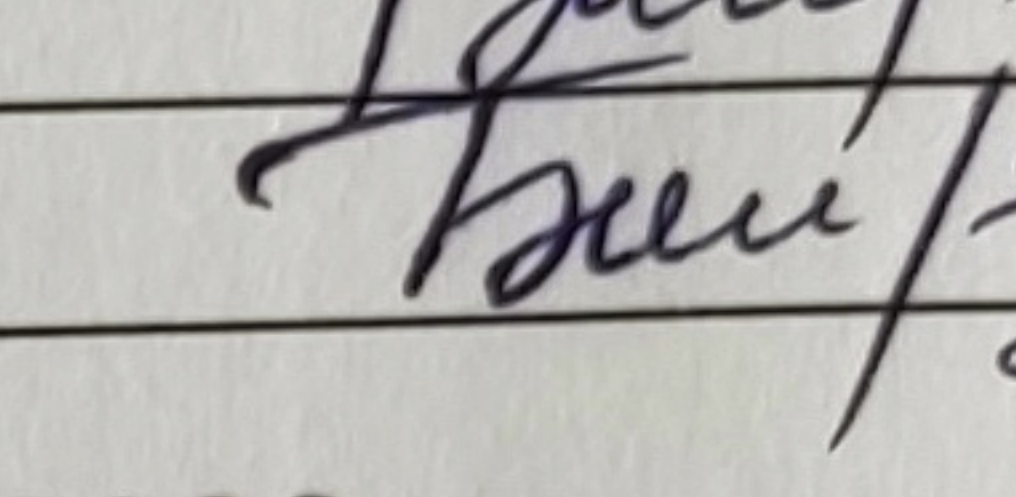
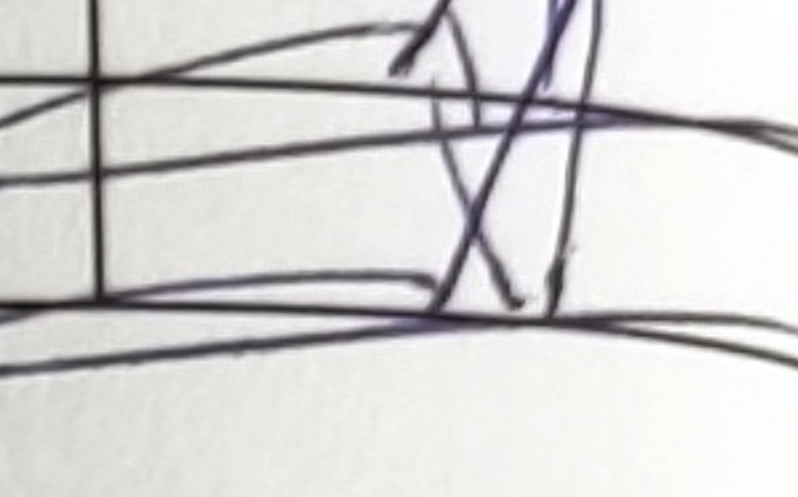
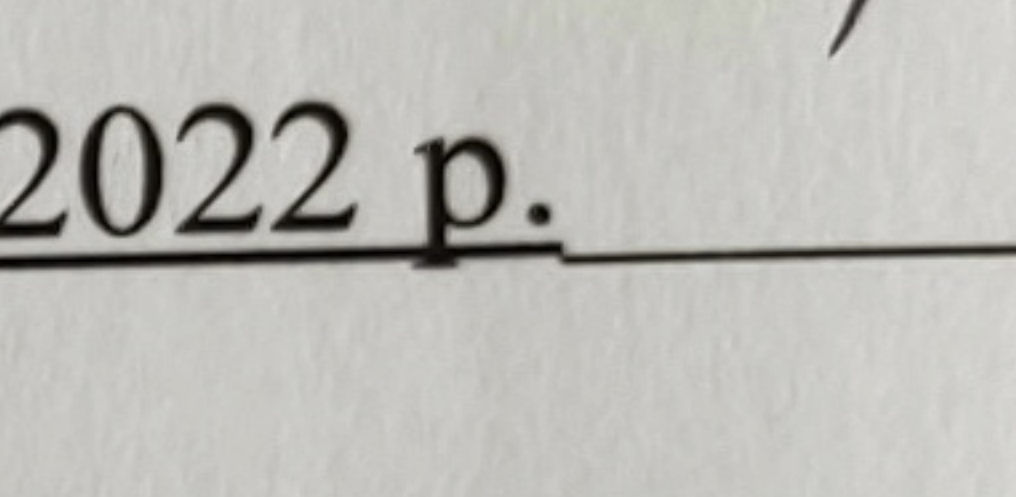
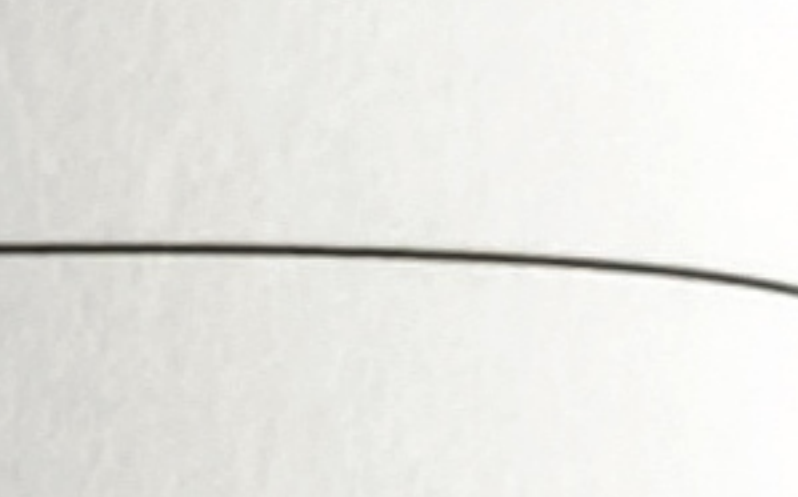
3 Вихідні дані до роботи: Параметри блоку № 14 газових ковпакових печей типу НОg 170/535 St-H₂-В фірми "Ебнер", до складу блоку входить 18 стендів, 10 нагрівальних ковпаків та 8 охолоджуючих ковпаків повітряно - водяного охолодження

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз процесу відпалу та обладнання термічного відділення з точки зору енергоефективності 2) Розробка та впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання обладнання термічної ділянки ПАТ «Запоріжсталь» 3) Оцінка економічної ефективності заходів щодо підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь» 4) Охорона праці та техногенна безпека

5 Перелік графічного матеріалу 1) Газова ковпакова піч типу НОg 170/535 St-H₂-В "EBNER" 2) Шляхи економії у газовій ковпаковій печі 3) Фактичні

показники процесу відпалу 4) Економічне обґрунтування заходів підвищення енергоефективності ковпакових печей 5) Регулювання температури в камені відпалу 6) План цеху 7) Охорона праці та техногенна безпека

6 Консультанти розділів роботи

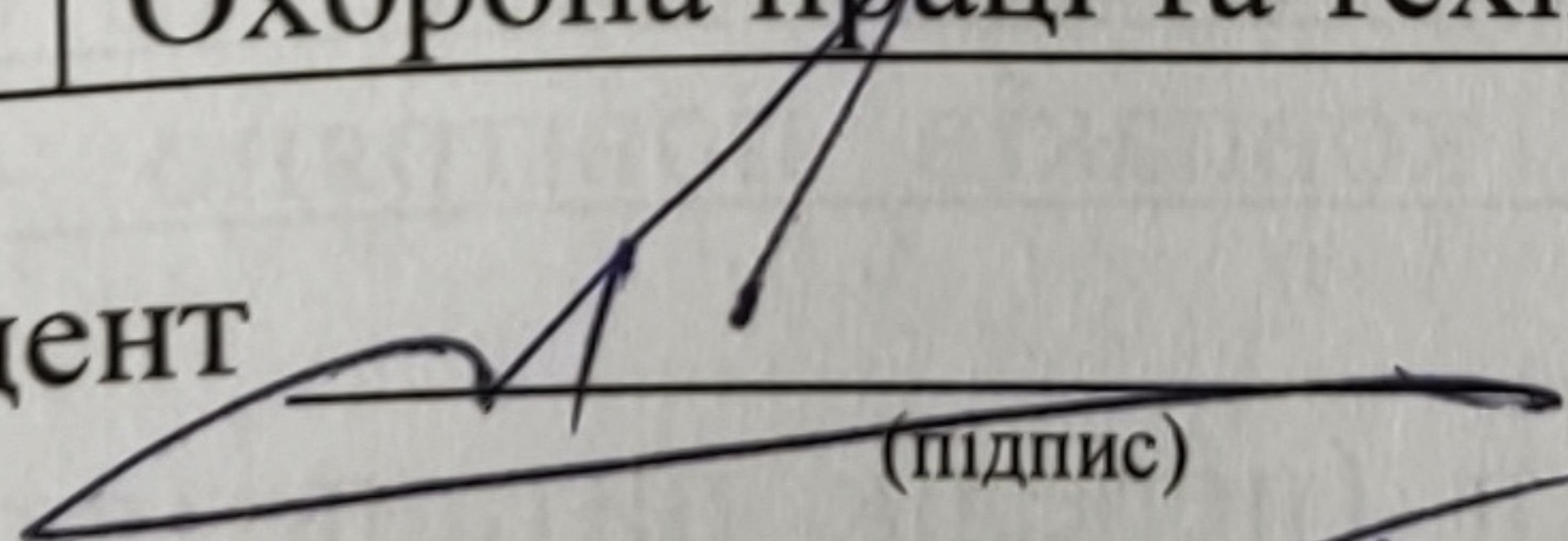
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Башлій С.В., к.т.н. доцент		
Розділ 2	Башлій С.В., к.т.н. доцент		
Розділ 3	Башлій С.В., к.т.н. доцент		
Розділ 4	Башлій С.В., к.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз процесу відпалу та обладнання термічного відділення з точки зору енергоефективності	30.09.2022	
2	Розробка та впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання обладнання термічної ділянки ПАТ «Запоріжсталь»	30.10.2022	
3	Оцінка економічної ефективності заходів щодо підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»	19.11.2022	
4	Охорона праці та техногенна безпека	30.11.2022	

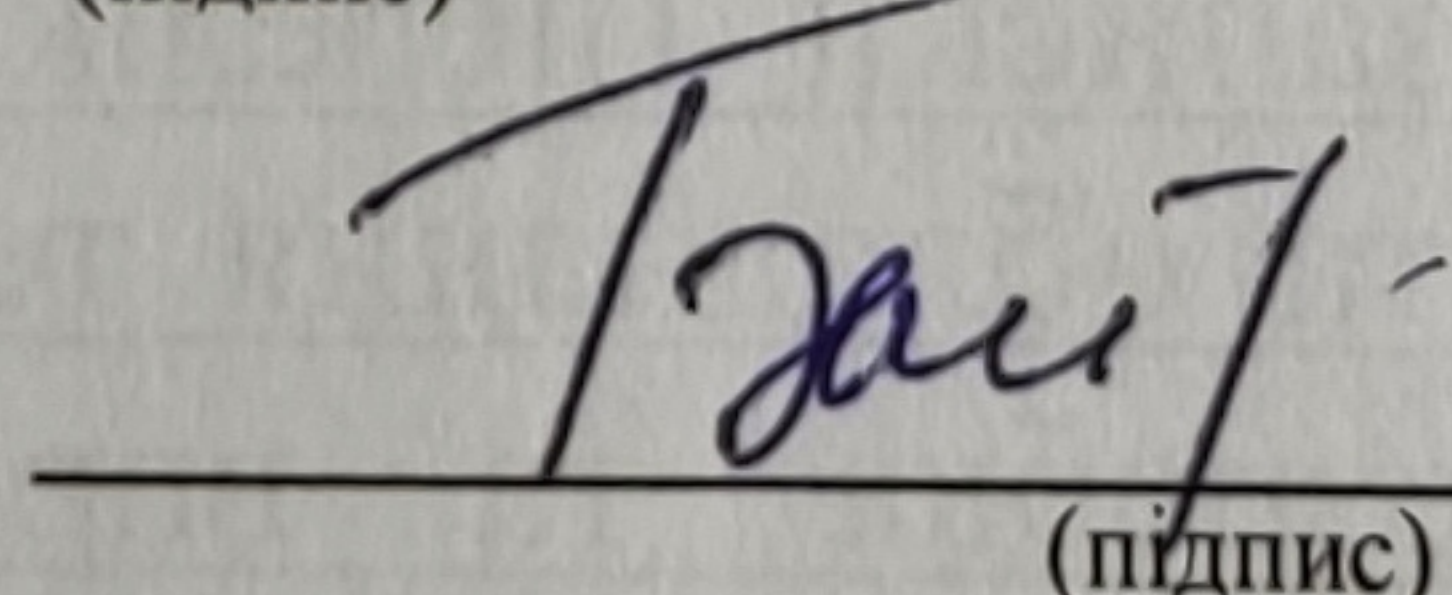
Студент


(підпис)

О. О. Гревцев

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

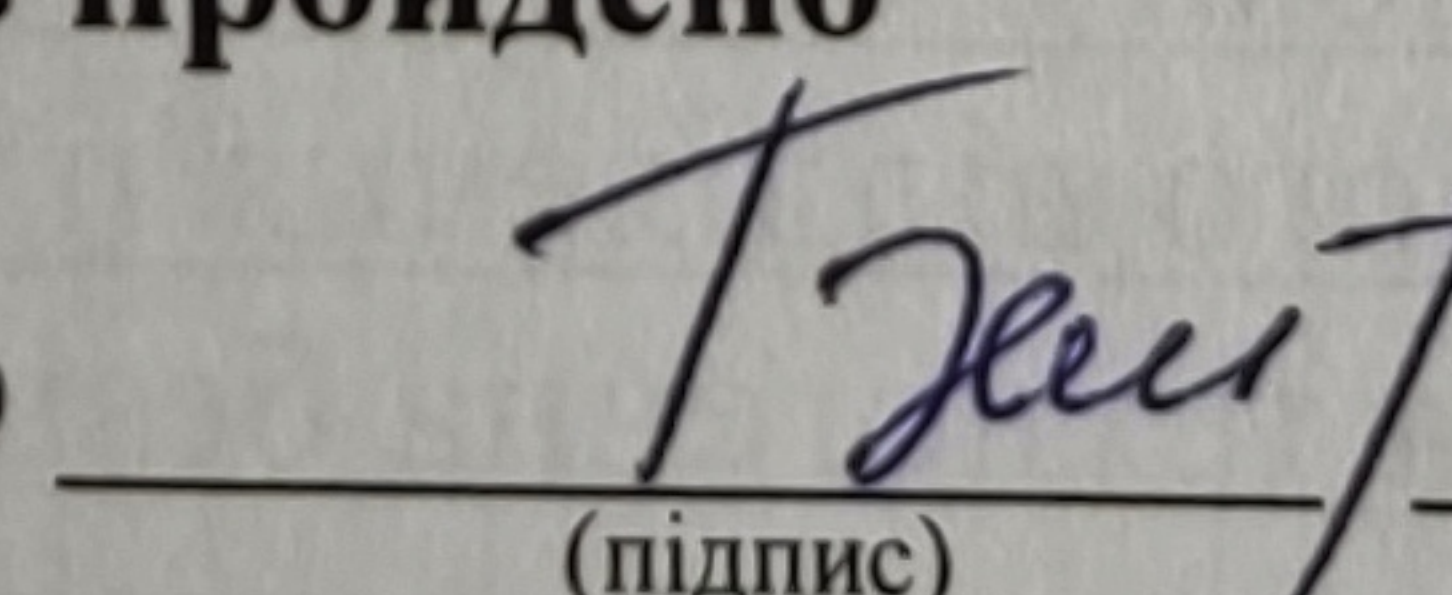

(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Гревцев О. О. Підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник С.В. Башлій. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2022.

Мета роботи - запропонувати заходи щодо підвищення ефективності енергоспоживання термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь» на основі аналізу технологічного процесу.

Для обґрунтування заходів щодо підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь» виконано розрахунок теплового балансу печі, рекуператора, розглянуто застосування конвекторних кілець, зміну схеми подачі захисного газу та регулювання температурного режиму відпалу.

Визначено економічну ефективність заходів щодо підвищення енергоефективності термічного відділення за показниками собівартості переділу, капітальних витрат, річного економічного ефекту та терміну окупності заходів.

Ключові слова: КОВПАКОВА ПІЧ, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, РЕКУПЕРАТОР, КОНВЕКТОРНЕ КІЛЬЦЕ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ

ABSTRACT

Grevtsev O. O. Increasing the energy efficiency of the thermal department of rolling production of PJSC "Zaporizhstal".

Qualification graduation work for the degree of master's degree in the specialty 141 - Electricity, electrical engineering and electromechanics, supervisor S.V. Bashley. Zaporizhzhya National University. Engineering Institute. Faculty of

Energy, Electronics and Information Technology. Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems, 2022.

The purpose of the work is to propose measures to increase the efficiency of energy consumption of the thermal department of rolling production of PJSC "Zaporizhstal" based on the analysis of the technological process.

In order to substantiate the measures to increase the energy efficiency of the rolling production department of PJSC "Zaporizhstal", the calculation of the heat balance of the furnace and recuperator was performed, the use of convector rings, the change of the shielding gas supply scheme and the regulation of the annealing temperature regime were considered.

The economic efficiency of the measures to increase the energy efficiency of the thermal separation was determined based on the indicators of the reallocation cost, capital costs, annual economic effect and the payback period of the measures.

Key words: KOVPAKOVA FURNACE, HEAT BALANCE, RECOVERY, CONVECTOR RING, TEMPERATURE REGIME, EXPERIMENTAL RESEARCH, PAYBACK TERM

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз процесу відпалу та обладнання термічного відділення з точки зору енергоефективності.....	11
1.1 Аналіз технологічного процесу ввідпалу сталі.....	12
1.2 Відпал рулонів холоднокатаного металу в ковпакових печах	12
1.3 Характеристика сучасних ковпакових печей.....	30
2 Розробка та впровадження заходів з підвищення ефективності енергоспоживання обладнання термічної ділянки ПАТ «Запоріжсталь».....	32
2.1 Склад, технічні характеристики обладнання висококонвективної ковпакової пічної установки з газовим нагрівом.....	32
2.2 Тепловий баланс ковпакової печі.....	39
2.3 Встановлення рекуператорів та застосування радіаційно-конвективних конвекторних кілець	48
2.4 Заходи щодо прискорення примусового охолодження рулонів.....	58
2.5 Автоматизація процесу відпалу.....	67
3 Оцінка економічної ефективності заходів щодо підвищення енергоефективності термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь».....	71
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	79
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	79
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	81
4.3 Заходи електричної безпеки.....	86
4.4. Заходи з пожежної та техногенної безпеки.....	88
4.5 Розрахунок загального освітлення робочого приміщення.....	90

Висновки.....	94
Перелік посилань.....	97

ВСТУП

Металургійний комплекс, будучи базовою галуззю, робить істотний внесок в економіку України. Світове споживання холоднокатаного листа й стрічки безперервно збільшується. Термообробка такого металу проводиться в двох видах агрегатів: протяжних і ковпакових печах. Протяжні печі мають ряд переваг перед ковпаковими ; висока продуктивність , більш однорідні властивості за довжиною смуги , краща поверхню і планшетність готового листа. Однак ці агрегати дорогі в експлуатації , вимагають дуже високих капітальних витрат і практично призначені для реалізації тільки одного виду технологічного процесу. Ковпакові печі є в даний час основним агрегатом , що визначає ефективність (питомі витрати енергоносіїв та якості листа) роботи листопрокатних цехів .

Основними напрямками вдосконалення роботи електричних ковпакових печей є: підвищення якості відпаленого металу , скорочення питомих витрат електроенергії , підвищення продуктивності.

Основні шляхи економії палива в ковпакових печах:

- використання рекуператорів для підігріву повітря до 350-390 ° С, що знижує витрату палива на 17-20%;
- інтенсифікація теплообміну між нагрівальним ковпаком і муфелем (спеціальна обмазка внутрішньої поверхні нагрівального ковпака, швидкісні пальники тощо);
- розробка оптимальної конструкції конвекторних кілець, що забезпечують високу тепловіддачу до торців рулонів і мають низький гідравлічний опір;
- застосування в кладці волокнистих вогнетривких матеріалів, що дозволяють приблизно в 2 рази знизити втрати теплоти на акумуляцію кладки;
- розробка конструкції печі з умовами теплообміну на всіх торцях рулонів, схожими на умови для верхнього торця верхнього рулону;

- зміна схеми подачі захисного газу: газ подається циркуляційним вентилятором не по периферії, а по центру рулону і через конвекторні кільця викидається струменями на стінки захисного муфеля. При цьому різко збільшується тепловіддача на внутрішній поверхні муфеля, що призводить до скорочення часу циклу термообробки на 20-30% і скорочення витрати палива.

Охолодження рулонів під муфелем в атмосфері захисного газу ковпакових печей відбувається, головним чином, шляхом конвективного обміну. Тому скорочення тривалості охолодження досягають поліпшенням теплообміну між рулонами і захисним газом, циркулюючим газом і стінкою муфеля, муфелем і навколишнім середовищем.

При охолодженні муфеля на повітрі час охолодження під муфелем набагато більше часу нагрівання. Тривалість охолодження лімітує цикл відпалу і продуктивність печей тим більшою мірою, чим нижче кінцева температура охолодження під муфелем. Допустима температура розпакування стенду залежить від вимог, що висуваються до якості поверхні металу, що відпалюється. Для основної масової продукції ковпакових печей - холоднокатаної маловуглецевої рулонної сталі і жерсті - ця температура на різних заводах коливається в межах 120-180 °С (за показаннями стаціонарної стендової термопари), що відповідає приблизно температурі внутрішніх по товщині намотування витків рулонів 150-220 °С.

Скорочення тривалості охолодження рулонів на стенді ковпакової печі є основним резервом підвищення продуктивності існуючих термічних ділянок цехів холодного прокату.

Для відпалу металу в середовищі сухого водню в термічному відділенні ЦХП-1 встановлений блок № 14 газових ковпакових печей типу NOg 170/535 St-H₂-B фірми "Эбнер".

Питомі витрати енергоносіїв на тону завантаженої стопи у базовому варіанті складають: умовне паливо – 47 кг у.п./т; захисний газ – 20 м³/т; електроенергія – 18,6 кВт·год/т; технічна чиста вода – 7 м³/т.

Враховуючи, що собівартість кінцевої продукції термічної ділянки ЦХП-1 становить 5300 грн/т, а собівартість сировини (лист х/к), що потрапляє у переділ, становить 4900 грн/т, то додана вартість переділу складає 400 грн/т. З них на вартість енергоресурсів припадає близько 60 %. Тому підвищення енергоефективності ковпакових печей термічного відділення ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» є актуальним.

1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВІДПАЛУ ТА ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ З ТОЧКИ ЗОРУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Аналіз технологічного процесу ввідпалу сталі

Основна область застосування ковпакових печей - світла термічна обробка рулонів сталевих смуги. Ковпакові печі класифікують за кількістю стоп (з листів, рулонів, бунтів) металу, які розташовують на одному стенді і накривають одним ковпаком: одно-, двох-, тристопним, багатостопні. Основним типом печей є одностопна піч для відпалу рулонів смуги. Під муфелем розміщують кілька рулонів по висоті. Циркуляційний вентилятор подає захисний газ знизу в зазор між муфелем і рулонами.

Для доступу захисного газу до торцевих поверхонь рулонів між ними встановлюють конвекторні кільця, в яких є канали змінного перерізу. Через ці канали захисний газ потрапляє у внутрішні порожнини рулонів, омиває їх і повертається в циркуляційний вентилятор. Дослідження таких печей показали, що в найгірших умовах нагріву і охолодження знаходиться нижній рулон, тому всі розрахунки теплообміну виробляють стосовно до нижнього рулону. У ковпакових печах садку, встановлену на стенді і закриту муфелем, піддають світлої термічній обробці, що включає періоди нагріву, витримки та охолодження. У періоди нагріву і витримки на стенд встановлюється нагрівальний ковпак, в якому є пальника. Під муфель подають захисний газ з примусовою циркуляцією для прискорення та підвищення рівномірності нагріву.

Після закінчення періодів нагріву і витримки нагрівальний ковпак знімають і переносять на наступний стенд, а садка під муфелем починає охолоджуватися. Для прискорення охолодження застосовують різні засоби: поливання муфеля водою, обдувку муфеля повітрям під ковпаком прискореного охолодження, охолодження захисного газу в водяних

холодильниках. При нагріванні металу в ковпаковій печі тепло до зовнішньої поверхні садки передається випромінюванням від муфеля і конвекцією від захисного газу, а до зовнішньої поверхні муфеля випромінюванням і конвекцією від продуктів згоряння і випромінюванням від кладки нагрівального ковпака. При охолодженні, навпаки, тепло від садки передається конвекцією до захисного газу і випромінюванням до муфелем, а від муфеля в навколишнє середовище.

В основному ковпакові печі застосовуються в тих випадках, коли тривалість циклу термообробки дуже велика, і служить для масової термообробки (ТО), тому в пічному відділенні розташовують велике число печей (стендів), іноді кілька сотень штук. Найбільш тривалим в циклі термообробки є період охолодження, який в 2-3 рази перевищує період нагріву і витримки. Тому один нагрівальний ковпак обслуговує декілька стендів.

1.2 Відпал рулонів холоднокатаного металу в ковпакових печах

Нагрівальний ковпак являє собою металевий кожух циліндричної форми, футерований всередині шамотною цеглою. Між кожухом і кладкою прокладають азбест для компенсації розширення кладки і поліпшення теплоізоляції. Звід ковпака виконаний з вогнетривкого матеріалу. По нижній частині ковпака розміщені пальники, які установлюються в один або два ряди.

На кожусі розташовані два димових канали і два ежектора повітря, за допомогою яких видаляють продукти горіння в борови. На кожусі також розташовані газовий і повітряні колектори, по яких під ковпак подають газ і повітря.

Загальний вид широко використовуваної в ЦХП одностопної ковпакової печі з нижнім розташуванням ежектора і радіальним розміщенням інжекційних пальників наведено на рисунку 1.1.

Паливом служить суміш природного та доменного газів , яка спалюється в інжекційних пальниках , розташованих у ковпаку . Загальна витрата газу 670 м³ / год. Рекристалізаційний світлий відпал стопа з 3-4 рулонів у цій печі здійснюють при 650-710 ° С (залежно від товщини і необхідних властивостей смуги) в атмосфері захисного газу , що складається з 95-97 % азоту і 5 - 3 % водню , допускається присутність до 1-1,5% окису вуглецю. Витрата захисного газу за цикл відпалу становить 8-9 м.

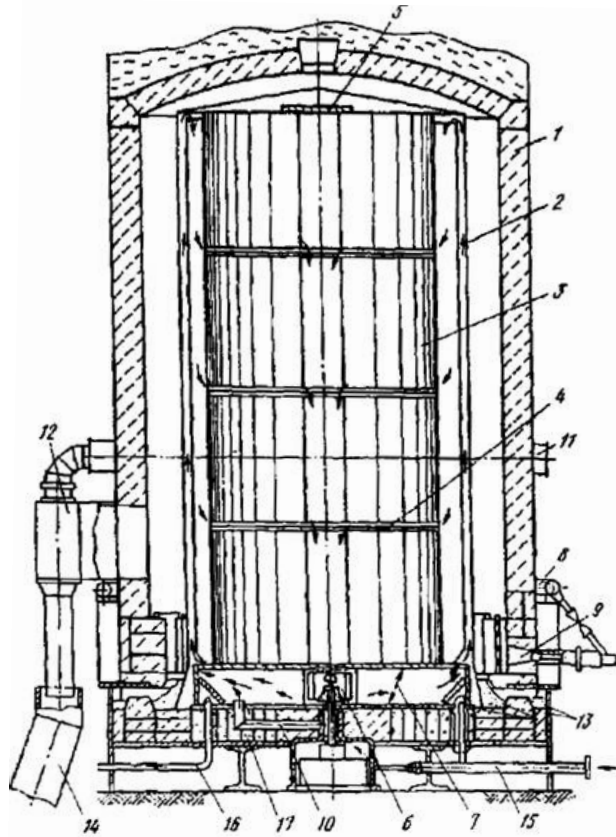


Рисунок 1.1 – Одноstopна ковпакова піч для випалювання холоднокатаних рулонів

На рисунку 1.1 використовуються такі позначення: 1 - нагрівальний ковпак ; 2 - муфель ; 3 - стопа рулонів ; 4 - конвекторні прокладки ; 5 - кришка ; 6 - вентилятор ; 7 - направляючий апарат ; 8 - газовий колектор ; 9 - інжекційний пальник ; 10 - байпас ; 11 - повітряний колектор ; 12 - ежектор ; 13

- пісочний затвор; 14 - димохід ; 15 - труба для подачі захисного газу; 16 - труба для виходу захисного газу.

В таблиці 1.1 наведено параметри ковпаків та садок.

Таблиця 1.1 – Розміри ковпаків , маси садки і ширини рулонів

Маса садки , т	75	120	180
Ширина смуги , мм	350	1550	1550
Розміри ковпака , мм:			
висота	6970	6250	6860
зовнішній діаметр	3820	3502	4780
Маса ковпака , т	18,35	18,35	35

Муфель відокремлює стопу рулонів від продуктів горіння, що створює умови для проведення світлого відпалу в захисній атмосфері заданого складу . Продукти горіння нагрівають муфель , який, у свою чергу , передає тепло захисному газу , що піднімається муфелем вгору. Газ досягає склепіння ковпака, повертає вниз і простором між муфелем і стопою рулонів опускається , розділяючись на горизонтальні потоки , що рухаються в радіальному напрямку через конвекторні кільця до внутрішньої порожнини стопи (на рисунку 1.1) напрямки руху інертного газу показані стрілками) .

Конвекторні кільця укладають між рулонами . Кільця мають з двох сторін профільовані спіралі , що утворюють дифузори, які звужуються до центру. Це забезпечує закручування потоку інертного газу і сприяє нагріванню торців рулонів. Величина опорної поверхні конвекторних кілець повинна виключати можливість зім'яття кромки смуги.

З внутрішньої порожнини рулонів газ засмоктується вентилятором в дифузори направляючого апарату, звідки знову через кільцеву щілину надходить до муфеля. Муфель виготовляють з нержавіючої сталі. Діаметр муфеля приймають на 290-300 мм більше максимального діаметра рулонів, що відпалюють.

Несучою конструкцією ковпакової печі є стенд. На периферійні його ділянки спираються ковпак і муфель, а до центральної частини кріпиться циркуляційний вентилятор і направляючий апарат. Направляючий апарат служить основою для стопи рулонів і пристроєм, в якому відбувається зміна напрямку потоку газу з горизонтального на вертикальний.

Для скорочення часу охолодження рулонів від температури рекристалізації стенди обладнують холодильниками, якими циркулює вода. Захисний газ, проходячи холодильник, охолоджується і, поступаючи в муфель, а потім під ковпак, охолоджує стопу рулонів. Для герметизації ковпакової печі застосовують пісочні затвори.

Термічні відділення ЦХП можуть мати у своєму складі до 300 стендів, які обслуговуються 120 ковпаками. Менша кількість ковпаків обумовлена тим, що після закінчення періодів нагріву і витримки починається охолодження рулонів під муфелем, а ковпак знімають і його можна використовувати на іншому стенді.

Режим термічної обробки садки холоднокатаного металу, що складається з 3-4 щільно укладених рулонів, повинен забезпечити їх нагрівання до заданої температури з оптимальною швидкістю, яка визначається вимогами до мікроструктури і властивостей готової продукції. У міру збільшення швидкості нагріву наклепаного металу збільшується число зародків нових зерен, що виникають в одиницю часу, а отже, структура його до кінця первинної кристалізації стає все більш дрібнозернистою.

Теорією і практикою вироблені два варіанти термообробки холоднокатаних рулонів у ковпакових печах.

1. Садку рулонів нагрівають з малою швидкістю $50-150^{\circ}\text{C} / \text{год}$ до температури $680-700^{\circ}\text{C}$ для киплячих і напівспокійних сталей і до $700-720^{\circ}\text{C}$ для спокійних. Далі охолодження зі швидкістю не більше $40^{\circ}\text{C} / \text{год}$ до температури $120-180^{\circ}\text{C}$ під муфелем (щоб уникнути утворення кольорів мінливості на поверхні смуги) і остаточне охолодження рулонів на повітрі.

2 . Нагрівання садки рулонів зі швидкістю $50-250\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{год}$, далі витримка при температурі $450-600\text{ }^{\circ}\text{C}$, потім нагрівання до температури відпалу (див. варіант 1) , витримка при цій температурі і охолодження зі швидкістю $40\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{год}$, під час витримки металу протікають процеси облагородження деформованої структури перед завершальною витримкою для повної рекристалізації структури. Такий режим сприятливо позначається на формуванні мікроструктури і кристалографічної текстури металу.

Для підвищення продуктивності ковпакових печей, зниження різномірності механічних властивостей і газового легування металу застосовують технологію термообробки в розпушених рулонах . У цьому випадку рулони перед відпалом попередньо перемотують на спеціальній установці , де між витками укладають прокладочну нитку з жаростійкої сталі або капронову . Зазор, що утворюється між витками рулону, сприяє інтенсивнішому теплообміну між газом і металом. Відпал розпушених рулонів виконують в ковпакових печах , але з більшим діаметром (порівняно із звичайними на 40-50 %) і меншою висотою (в 1,5-2 рази) , або в спеціальних печах (рисунок 1.2) . Зважаючи на малу стійкість розпушених рулонів їх встановлюють в печі не більше двох штук.

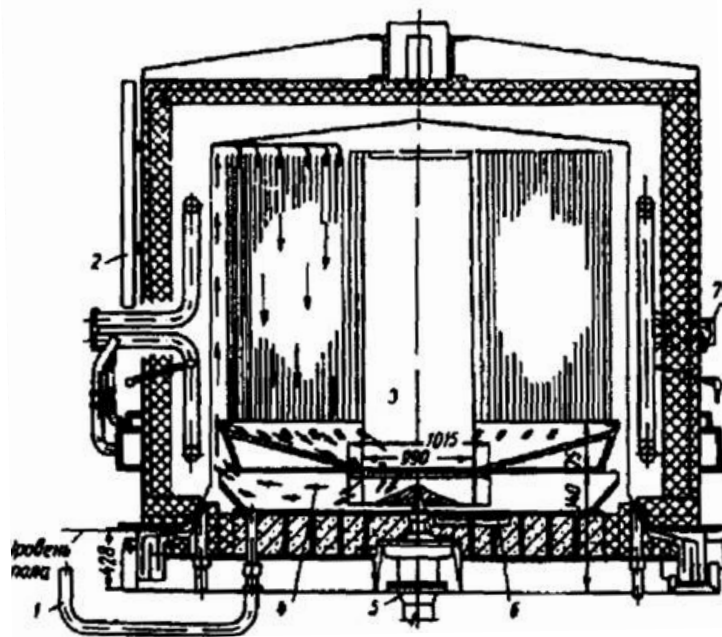


Рисунок 1.2 – Піч для відпалу розпушених рулонів

1 - трубопровід ; 2 - димова труба ; 3 - вентиляційна камера ; 4 - дифузор ;
5 - вентилятор ; 6 - труба ; 7 – трансформатор

Нагрівають і охолоджують розпушені рулони при мінімальних перепадах температур за перетином і висотою рулону. Найбільш швидкий нагрів відбувається у верхнього торця рулону поблизу зовнішньої і внутрішньої поверхонь, повільніше нагрівається нижня частина рулону у внутрішньої його поверхні.

Транспортування розпушеного рулону здійснюють краном , обладнаним підвісним магнітом.

Після термообробки на тих же установках рулони перемотують знову в щільно змотані рулони , видаляючи при цьому прокладочні нитки. У ряді випадків прокладочні нитки з жаростійкої сталі видаляють з рулону при дресируванні .

Термообробка розпушених рулонів дозволяє поліпшити показники механічних властивостей металу і різко скоротити тривалість термообробки . Осадку з двох розпушених рулонів масою по 6 т до температури відпалу нагрівають за три години , тривалість витримки становить 4 години , а охолодження до температури 180 ° С-5 годин, тобто весь цикл відпалу триває приблизно 12 годин.

Технологія відпалу розпушених рулонів широкого поширення не отримала через трудомісткість і можливого травмування поверхні смуг , що відбувається при перемотуванні рулону.

Встановлено , що добавка хрому до сталі призводить лише до незначного підвищення тимчасового опору і незначного зменшення відносного подовження. Фосфор сприяє значному підвищенню міцності , але відносне подовження і глибина лунки за Еріксоном різко зменшуються. Крім цього , фосфор викликає охрупчування металу. З підвищенням вмісту марганцю і температури відпалу зростає тимчасовий опір сталі, а відносне подовження відповідно зменшується .

Так , при вмісті марганцю в сталі $> 2 \%$ отримували холоднокатаний метал з межею міцності 600 МПа , а при зниженні вмісту марганцю $< 0,7 \%$ межа міцністю не досягала 400 МПа. У сталях , що містять 1,45 % Мп , 0,05 % С і 0,03 % А1 міцність листа значно збільшується при добавках ніобію в межах 0,04-0,08 %. При вмісті в сталі близько 2,6 % Мп , 0,08 % Nb і температурі відпалу 700-750 ° С межа міцності і межа текучості металу збільшується на 50-80 МПа. Це явище обумовлене тим , що карбіди ніобію затримують процес рекристалізації холоднокатаної сталі. При підвищенні температури відпалу ніобій сприяє збільшенню пластичних властивостей металу.

При збереженні загальної ідеології як конструювання , так і застосовуваної технології , ведуться роботи з удосконалення окремих елементів конструкції ковпакових печей .

Для зниження енерговитрат запропонована заміна легковагової шамотної цегли на волокнисті матеріали і застосування плоского склепіння печі . Значна увага приділяється заходам щодо усунення підсосу повітря під ковпак (заміна піщаного затвора обмазками з торкретмас і вогнетривкої глини , ущільнення волокнистими матеріалами , застосування кілець біля основи печі тощо) .

Одним з недоліків ковпакових печей є нерівномірний розподіл температури по висоті і ширині печі. Для підвищення рівномірності розподілу температури запропоновано встановлювати високошвидкісні пальники великої теплової потужності. При цьому газоповітряна суміш згорає в горілчаних камерах з високою тепловим напругою , що забезпечує вихід продуктів горіння з тунелю в робочий простір з великою швидкістю , що і вирівнює розподіл температури .

На продуктивність і економічність роботи ковпакової печі великий вплив має конструкція циркуляційного вентилятора і параметри контуру циркуляції захисного газу.

Для своїх печей фірми LOI та « Ebner » виготовляють спрямовуючі апарати у вигляді литої базисної штати стенду з окремими опорами і вільно укладеними елементами дифузора. Така концепція дозволяє забезпечити

абсолютну газощільність камери відпалу і гарантує практично необмежений термін служби без необхідності постійного технічного обслуговування. Площа поперечного перерізу прохідних каналів по всьому радіусу приблизно однакова, а на виході з направляючого апарату є широкий зазор для виходу захисного газу. Таким чином, направляючі апарати ковпакових печей даних фірм характеризуються дуже хорошою аеродинамікою, оснащені високошвидкісним двигуном (2400 об / хв) з високопродуктивною крильчаткою, що робить їх одними з найкращих з усіх існуючих на сьогоднішній день.

Основним призначенням муфеля в ковпакових печах для світлого відпалу є захист садки від продуктів горіння і атмосферного повітря, але в той же час муфель перешкоджає поширенню тепла всередину садки як при нагріванні, так і при його віддачі під час охолодження. Поліпшити теплопередачу дозволяє застосування муфеля з розвиненою поверхнею. Досягти цього можна різними способами. Зокрема, запропоновано розміщувати на його внутрішній і зовнішній поверхні елементи теплообміну (дріт, смуги тощо), застосовувати муфелі з гофрованими стінками. Вдосконалюють форму, розміри колекторних кілець з різною формою опорних ребер.

Ідеальний потік газу всередині стенду ввігнутої форми і правильна конфігурація вхідних і вихідних дифузорів забезпечують мінімально можливу турбулентність газового потоку, спрямованого вгору до муфеля і максимальну інтенсивність конвективного теплообміну в рулонах, тим самим забезпечуючи зменшення часу відпалу та охолодження. Це підвищує продуктивність на 20 % порівняно з іншими конструкціями стендів.

При використанні плоского стенду час, втрачений при розігріві, може бути зкомпенсовано за допомогою перегріву муфеля на 110°C , що зменшує термін служби муфеля та збільшує енерговитрати.

Під час охолодження охолоджуючий ефект на 100 % залежить від активності теплообміну, що означає значне збільшення часу охолодження у плоского стенду.

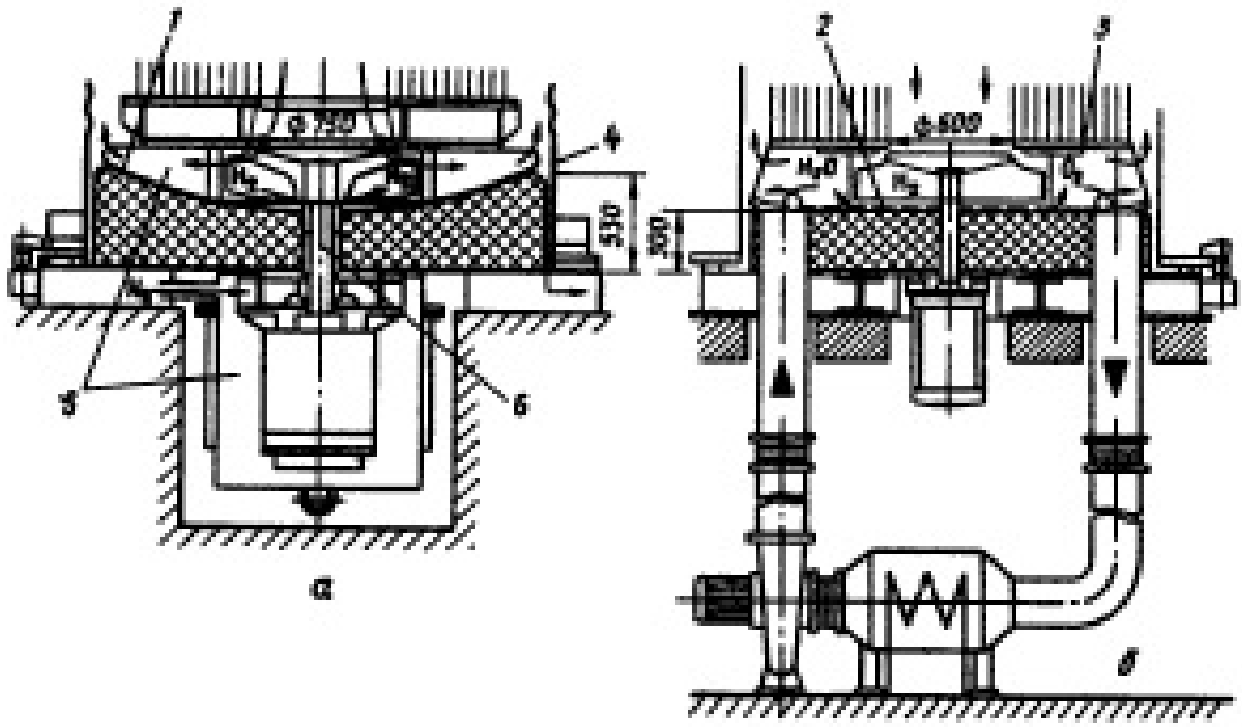


Рисунок 1.3 – Порівняння станда в кожусі NICON/H₂ (а) зі звичайним відкритим стандом:

а – точка роси досягає -60°C ; б – точка роси тільки -22°C ; 1 – металевий газоплотний кожух станда; плаский неплотний стенд; 3 – тонколистова конструкція, що піддається вигинам під навантаженням; 4 – висота ізоляції; 5 – цільнометалева армована камера відпалу; 6 – при критичній швидкості 2500 об/хв. відсутня вібрація

Установки фірми EBNER здійснюють охолодження тільки муфеля і не використовують зовнішнє охолодження . Великі вхідні і вихідні патрубки зовнішнього охолодження відбирають тепло під час нагрівання й унеможливають надійне ущільнення станду. Крім того , якщо виникає несправність в зовнішньому охолодженні , то вся піч виходить з ладу.

У газоцільних стандах теплові втрати мінімальні тому , що водень , що володіє високою теплопровідністю , не проникає через теплову ізоляцію , товщина якого складає 500 мм. Опорна плита і охолоджуваній з обох сторін фланець муфеля не схильні перегріву і деформації. При цьому необхідне тільки

мінімальне технічне обслуговування ; загальна витрата енергії зменшується на $2 \text{ м}^3 / \text{т}$ природного газу і приблизно на $1 \text{ м}^3 / \text{т}$ охолоджуючої води на фланець.

Як і для стенду використовується жаростійка сталь , що забезпечує не тільки нормальний опір текучості , а й залишкову гнучкість. Товщина стінок трохи збільшена і зварювання проводять за допомогою роботів. Зварювальні шви муфеля повністю контролюються за допомогою рентгеноскопії.

З метою забезпечення якомога довшого збереження форми муфеля із запобіганням утворення тріщин і для досягнення максимальної адгезії окалини і , тим самим , тривалості терміну служби , розроблена спеціальна технологія охолодження.

Нагрівальний ковпак HICON / H_j має підведення палива в два рази потужніший , ніж у звичайних печей H_{Nx} : близько 1400 кВт для 110 т завантаження і близько 1800 кВт для 180 т завантаження.

Теплота передається в рулони за допомогою конвективного потоку чистого водню.

Технологія високошвидкісних пальників отримала подальший розвиток. Термін служби значно збільшився у зв'язку з повним виключенням горілчаних блоків. Виділення NO * значно знизилося. З установкою пристрою, який здійснює підмішування частини димових газів у повітря горіння , система може задовольнити вимоги, що постійно посилюються.

Процес нагріву безперервно управляється в інтервалі між 100 і 15% від повного кількості подаваного дуття . Управління включенням і вимиканням нижче 15 % обмежено відносно коротким періодом закінчення витримки. З урахуванням наявності великого центрального рекуператора та ізоляції , повністю виконаною з волокнистих виробів , енерговитрати на процес незначні.

Футеровка нагрівального ковпака виконана з волокнистих виробів. Якщо муфель вже піддавався будь-яким деформаціям після тривалої роботи , але залишився герметичним , то ця м'яка футеровка легко ковзає по ньому , і експлуатацію муфеля можна продовжити.

Система допалювання водню обладнана додатковими пальниками, що працюють на природному газі, і окрема система змішування газу і повітря для запобігання впливу коливань витрати водню і кількості прокатних масел, що випаровуються з продукції, що завантажується. Таким чином, небезпечні компоненти, такі як толуол, бензол, ксилол і т.д. максимально розкладаються. Трубопровід від печі до пальника має конструкцію, що дозволяє максимально зменшити ймовірність конденсації в трубопроводі і тим самим скоротити витрати на обслуговування установки.

Конструкція охолоджуючих ковпаків також була покращена: повітродувки (фірма EBNER перейшла на установку радіальних вентиляторів кілька років тому) стали більш потужними, і водяне розпорошення (зверху з використанням нової конструкції душируючих сопел) стало більш рівномірним і вільним від утворення міхурів. У результаті отримана велика потужність охолодження і великий термін служби муфеля.

Також розроблена нова система інтенсивного охолодження одним тільки повітрям, за своїми характеристиками наближається до систем спільного охолодження повітрям і водою. При цьому може бути повністю виключена система охолодження водою, і тривалість служби муфеля збільшується.

Головним явищем у вдосконаленні конструкції і технології в ковпакових печах стало застосування в якості захисного газу чистого водню. Технологія розроблена фірмою «Ebner» і отримала позначення NICON/H₂.

Основним елементом ковпакової печі є стенд. У ньому, як і в традиційних ковпакових печах, розміщують основні механізми - вентилятор, його привід, направляючий апарат, центральну трубу і трубопроводи. Стенд укладений в металевий кожух.

Завантажувальна плита, завантажувальна колона в стенді і плита підстави виконані більш міцними, ніж у традиційних ковпакових печах з азотно-водневою захисною атмосферою. Увігнуту кришку виготовляють з високов'язкого матеріалу, стійкого при високих температурах. Довжину і число зварних швів скоротили до мінімуму. Були залишені тільки шви на

циліндричному кожусі стенду і на центральній трубі , в якій обертається вал вентилятора. На додаток до цього застосували азотну подушку , щоб виключити будь-який ризик .

Потужність вентилятора збільшили до продуктивності 90 тис.м³ / год , щоб забезпечити максимальну конвекцію захисного газу вздовж муфеля і через рулони з отриманням мінімальної турбулізації під впливом дифузорів на вході і виході. Це забезпечує оптимальний потік робочого середовища. Крильчатка ротора має великий діаметр , але малу масу. В обертання його приводить двигун потужністю 55 кВт . Все це забезпечує максимальну інтенсивність руху водню навколо і всередині рулонів , що й забезпечує рівномірний їх нагрів . Муфель має гофровану поверхню і товщина його стінок дещо збільшена , що підвищує ефективність використання тепла.

Охолодження рулонів здійснюється тільки через муфель , додаткових охолоджувачів у такому варіанті ковпакової печі не передбачено .

Для отримання заданої температури нагріву (вона аналогічна зазначеним вище) застосовані високошвидкісні двоступеневі пальники (12 пальників) , встановлені в 2 ряди. Опалення відбувається газом. Проте може застосовуватися нагрів як за допомогою пальників , так і електронагрів . Пальники можуть працювати на газі або легкому дизельному паливі. Загальний вигляд ковпакової печі фірми LOI для випалювання холоднокатаних рулонів у водневій атмосфері показаний на рисунку 1.4.

Конструкція стенду може бути конічної або циліндричної форми. Конічну форму використовують у разі застосування повітряного або повітряно - байпасного охолодження , циліндричну - при застосуванні водяного спреєрного охолодження.

З повітряних охолоджувальних систем найбільш ефективні системи форсункового (струминного) охолодження. Вони засновані на ефекті удару потоків повітря на муфель під прямим кутом , в результаті чого порушується ламінарний прикордонний шар і посилюється теплообмін. При цьому

коефіцієнт теплообміну в 3 рази більше , ніж при звичайному повітряному охолодженні.

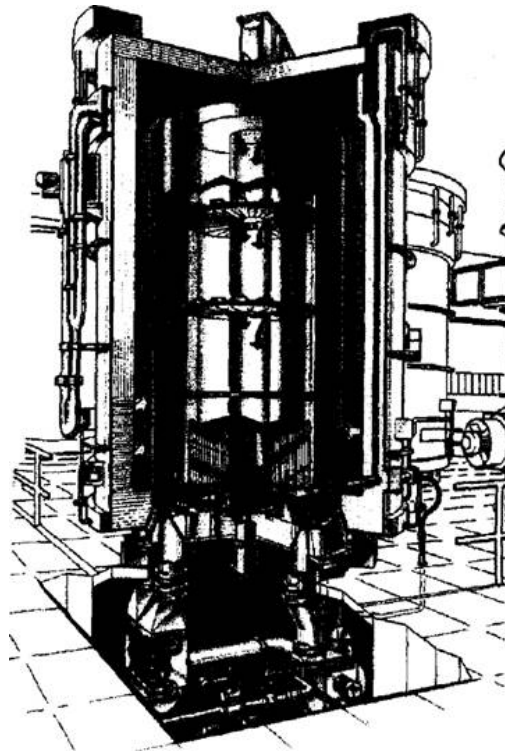


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд ковпакової печі , що працює з водневою захисною атмосферою

Ковпак форсуночного охолодження оснащений двома або трьома вентиляторами , які встановлюють у верхній частині охолоджуючого ковпака , і великим числом форсунок , розміщених по всій його висоті.

Принцип байпасного охолодження складається у відведенні частини потоку захисного газу, що проходить під муфелем , для охолодження в обвідному контурі, оснащеним зовнішнім газовим / водяним теплообмінником . Швидкість охолодження в байпасній системі можна змінювати в широких межах. Муфель також охолоджується зовні за допомогою охолоджуючого ковпака (паралельно-потокове або форсункове охолодження). У разі байпасного охолодження можна використовувати гладкостінні муфелі, вартість яких значно менша гофрованих , а термін служби майже вдвічі триваліший , ніж при охолодженні розбризкуванням , оскільки вони піддаються впливу повітря , а не води. Крім того , використовується замкнутий водяний контур . В

даний час байпасне охолодження - найбільш поширена система, що використовується в ковпакових печах. У поєднанні з форсунковим охолодженням вона забезпечує найкращі технологічні характеристики .

Охолодження розбризкуванням води являє собою поєднання традиційного повітряного або форсункового охолодження з розбризкуванням води на муфель . Його температуру спочатку необхідно знизити шляхом повітряного охолодження , щоб зменшити пароутворення . Коефіцієнт теплопередачі водяної плівки на внутрішній поверхні вельми високий, що забезпечує найкращі характеристики процесу в порівнянні з повітряним охолодженням. До якості води при такому охолодженні пред'являють суворі вимоги . Основні переваги охолодження розбризкуванням - низькі капітальні витрати і високі технологічні показники . Байпасне + форсункове охолодження має значні переваги , незважаючи на великі капітальні витрати .

В ковпакових печах з водневим охолоджувачем встановлюють більш потужні рециркуляційні системи з високопродуктивним вентилятором , змонтованим в центрі направляючого апарату .

Вентилятор являє собою конструкцію з 8 активних каналів - дифузорів для проходу газу і 8 пасивних - для підтримки садки рулонів. Вентилятор приводиться в обертання двигуном, повністю ізольованим від навколишнього середовища (під час роботи він заповнюється воднем , який використовується як пічна атмосфера) . Застосовують як двохшвидкісні двигуни (потужністю 15-22 кВт) , так і одношвидкісні (потужністю 22 кВт).

Вихідні з ЦХП холоднокатані смуги несуть на собі залишки мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) . Найкращий варіант їх видалення - електролітичне очищення . Такі агрегати на багатьох підприємствах діють як самостійні , а в агрегаті безперервного відпалу вони вмонтовані в його головній частині . Найчастіше ж якісного видалення цих залишків перед відпалом рулонів у ковпакових печах немає. У зв'язку з цим в ковпакових печах фірми LOI передбачене спалювання масляних парів одним з пальників нагрівального ковпака , виділеним для цієї мети.

Таблиця 1.4 – Зіставлення способів охолодження рулонів після завершення відпалу

Характеристика	Числове значення або якісна оцінка характеристик способу охолодження		
	Форсункове	Розбризкування	Байпасне + форсункове
Ступінь охолодження, %	67	88	100
Коефіцієнт теплообміну на муфелі, Вт/(м ² ·К)	100	600	100
Вплив на муфель	Слабке	Сильне	Слабке
Термін служби муфеля, число циклів відпалу	1500-2000	500-1300	1500-2000
Поверхня муфеля	Гладка	Шорстка	Гладка
Якість продукції	Висока	Висока	Висока
Вартість установки	Низька	Середня	Висока
Керованість швидкістю охолодження	Висока протягом всього процесу	Тільки на етапі повітряного охолодження	Висока протягом всього процесу
Вимоги до якості води	Низькі	Високі	Низькі
Відкрита водна система в будівлі	Немає	Є	Немає

Щоб уникнути поверхневого окислення і кольорів мінливості, смугу зі сталі високих категорій витяжки слід охолоджувати в захисній атмосфері до досягнення в середині рулону температури 160 ° С. Потім рулони зазвичай передають на ділянки остаточного охолодження до 40 ° С, що потрібне для подальшого дресування смуги. Якщо атмосфера відрізняється вологістю і рулони зберігають протягом декількох днів, то на зовнішній та внутрішній

поверхнях можуть з'явитися плями іржі. Для запобігання цього явища створена ділянка охолодження і зберігання рулонів (рисунок 1.5)

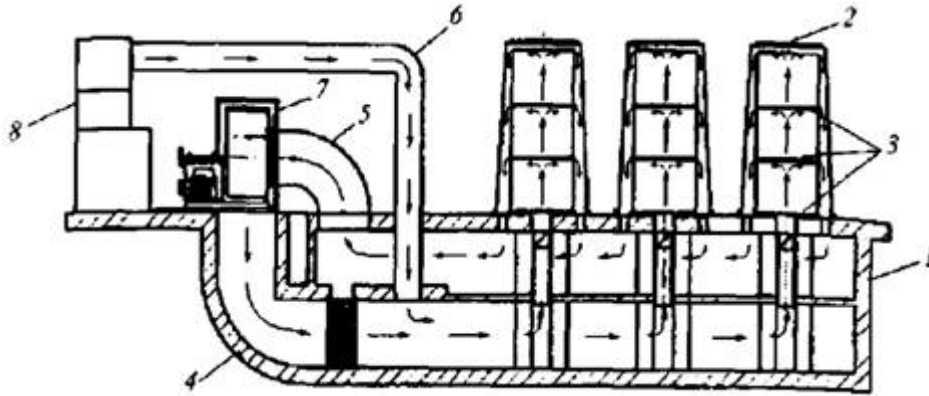


Рисунок 1.5 – Ділянка охолодження рулонів

1 - стенд охолодження; 2 - герметичний ковпак (кришка) ; 3 - конвекторні кільця; 4 - центральна труба подачі осушеного повітря; 5 - труба подачі нагрітого повітря; 6 - труба подачі осушеного повітря; 7 - установка охолодження нагрітого повітря; 8 - установка осушення повітря

Охолодження рулонів проводять таким чином. Після зняття зі стенду стопу рулонів встановлюють на спеціальний охолоджуючий стенд і накривають герметичною легкою кришкою, що оберігає метал від контакту з навколишньою атмосферою. Осушене повітря подають через центральні труби, які переважно розташовуються під стендами, а тепло відбивається в основному від кромek рулонів. Теплопередача посилюється за допомогою конвекторних кілець. Нагріте повітря через рециркуляційний вентилятор надходить в охолоджувальний пристрій, де тепло передається воді. Під час операцій вивантаження і завантаження вологе повітря з навколишньої атмосфери потрапляє під охолоджувальні кришки, і для придушення цього в систему постійно подається осушене повітря з контрольованою витратою, яке отримується шляхом охолоджувальної або абсорбційної сушки. Абсорбція з використанням розчину хлориду літію виявилася особливо ефективною, так як в якості теплообмінного агента можна використовувати дешеву пару, а

установки мають спрощену конструкцію з невеликим числом рухомих частин. Якщо пара відсутня, то доцільно застосовувати метод охолоджувальної сушки. Потік повітря після охолодження рулонів пропускається через дросельні заслінки і далі може використовуватися на інших ділянках охолодження. Оброблені рулони можуть довго зберігатися в сухій атмосфері без ризику корозії.

При заміні традиційних ковпакових печей на печі з водневої захисною атмосферою пропускна здатність печей збільшилася на 83 %, скоротилися витрати газу на 12,5 % і електроенергії на 21 %.

Недоліком печей з водневою захисною атмосферою є більш висока пожежо- і вибухонебезпечність в порівнянні з традиційною азотно-водневою захисною атмосферою. Однак системи безпеки удосконалюються протягом 30 років і досягнуті великі успіхи. Стандартними вважаються наступні заходи; камера відпалу (нагрівальний ковпак) повністю укладена в металевий кожух; всі зварні шви і трубопроводи для подачі водню піддають рентгенівському контролю; зону під нагрівальним ковпаком контролюють на витоки азотом до початку відпалу і воднем при періоді витримки перед початком кожного циклу охолодження. Автоматична система контролює як послідовність технологічних операцій, так і техніку безпеки.

В останні роки з'явилися ковпакові печі ємністю до 60 т з електричним нагрівом, в яких відсутній муфель. Нагрівання садки в таких печах може здійснюватися за рахунок конвекції в атмосфері азоту в інтервалі температур 500-700 ° С процес відпалу відбувається у вакуумі. За рахунок плавного регулювання різниці температур між нагрівальним елементом і внутрішніми шарами відпалюваного металу незначна. Окрім зниження енергоспоживання, в таких печах передбачений захист садки від перегріву, незважаючи на те, що нагрівання ведеться з максимально можливою швидкістю. Такі печі споживають приблизно 350 кВт на одну тонну матеріалу, що відпалюється, і ця величина нижче, ніж еквівалентна витрата газу у звичайній ковпаковій печі. Спорудження вакуумної печі для відпалу виявляється простіше в порівнянні зі

звичайною ковпаковою піччю. Відмова від муфеля забезпечує економію у споживанні енергії при нагріві і охолодженні садки, так як під час роботи немає необхідності в нагріві і охолодженні додаткової маси металу і втрат тепла на передачу його через муфель. Одночасно знижується час, необхідний для нагрівання й охолодження рулонів. Знижуються витрати і за рахунок відмови від застосування водневої атмосфери, а отже, і від виключення постійного спостереження і технічне обслуговування системи підведення водню. Тим не менш, поки печі з електропідігрівом широкого поширення не отримали.

Основними недоліками технології відпалу холоднокатаного металу в ковпакових печах продовжують залишатися велика тривалість термічної обробки і великі площі, що зайняті ділянкою ковпакових печей, а також нерівномірність нагрівання рулонів (значно скорочене при використанні ковпакових печей удосконаленої конструкції і печей з водневою захисною атмосферою).

Шляхи економії палива в ковпакових печах:

- використання рекуператорів для підігріву повітря до 350-390 ° С, що знижує витрату палива на 17-20%;
- інтенсифікація теплообміну між нагрівальним ковпаком і муфелем (спеціальна обмазка внутрішньої поверхні нагрівального ковпака, швидкісні пальники тощо);
- розробка оптимальної конструкції конвекторних кілець, що забезпечують високу тепловіддачу до торців рулонів і мають низький гідравлічний опір;
- застосування в кладці волокнистих вогнетривких матеріалів, що дозволяють приблизно в 2 рази знизити втрати теплоти на акумуляцію кладки;
- розробка конструкції печі з умовами теплообміну на всіх торцях рулонів, схожими на умови для верхнього торця верхнього рулону;
- зміна схеми подачі захисного газу: газ подається циркуляційним вентилятором не по периферії, а по центру рулону і через конвекторні кільця

викидається струменями на стінки захисного муфеля. При цьому різко збільшується тепловіддача на внутрішній поверхні муфеля, що призводить до скорочення часу циклу термообробки на 20-30% і скорочення витрати палива.

1.3 Характеристика сучасних ковпакових печей

Сучасні енергоефективні ковпакові пічні установки HICON/H₂ відкривають нові рубежі раціонального використання енергії та зменшення витрати технологічного газу з одночасним досягненням найвищих стандартів якості . EBNER вдалося реалізувати вже існуючі концепції та ідеї у зв'язку з скороченням витрати енергії і технологічного газу , а також повторним використанням теплової енергії , переданої в матеріал, що відпалюють.

Вивільнювана під час процесу охолодження тепла енергія передавалася досі виключно в охолоджуюче повітря і / або охолоджуючу воду. У концепті ж теплового обміну більша частина цієї енергії використовується для попереднього нагрівання нової , ще холодної садки на іншому стенді відпалу до максимально можливої температури за допомогою ізольованого теплообмінного ковпака і циркуляційного вентилятора відповідної потужності.

Цей тепловий обмін здійснюється за рахунок циркуляції суміші повітря і відпрацьованих газів в ізольованих трубопроводах між стендами .

Переваги даного концепту :

а) Гнучкий теплообмін в межах всієї групи устаткування гарантується за рахунок необмежених можливостей "вільного" режиму роботи (можливість застосування ковпака на всіх стендах) . Тепловий обмін забезпечується зовні муфеля безпечною сумішшю повітря з відпрацьованими газами. Завдяки цьому повністю дотримується принцип високої конвекції і надійності роботи в підмуфельному просторі , а також максимально рівномірний прогрів садки і найкраща поверхня матеріала.

б) Висока енергетична ефективність : У даному теплообмінному процесі теплова енергія як ваги нетто і тари (також на початку технологічного контрольованого охолодження), так і енергія, що звільняється під час допалювання відпрацьованого захисного газу, відразу використовується в теплообмінному або нагрівальному ковпаку .

2) Попередній підігрів повітря для горіння потужним рекуператором.

Завдяки застосуванню рекуператора надвеликих розмірів на нагрівальному ковпаку температура попереднього нагрівання повітря для горіння збільшується до 580 ° С. За рахунок цього скорочується витрата природного газу (і, відповідно , викид CO₂) приблизно на 8 % на тону оброблюваного матеріалу.

Поєднання теплообмінного процесу зі збільшенням температури підігріву повітря для горіння знижує витрату природного газу (і в такій же мірі викиди CO₂) в цілому до 30 % на тону оброблюваного матеріалу в порівнянні з традиційним обладнанням.

3) Вторинне використання водню (запатентовано)

Незначно забруднений водень в кінці фази випаровування мастила збирається в ресивері. На початку наступного відпалу і під час фази випаровування мастила цей водень використовуватиметься повторно . Завдяки застосуванню даної системи економія водню , залежно від режиму відпалу і стану поверхні стрічки , може становити до 40 %.

Управління печами здійснюється за допомогою ПЛК Siemens S7 і системи управління процесом " Visual Furnaces 6 " ,розробленої EBNER на базі банку даних SQL.

Останні дослідження та вдосконалення обладнання EBNER HICON/H₂ дозволяють розробити пропозиції щодо підвищення енергоефективності ковпакових печей, встановлених на термічній ділянці ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».

2 РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕРМІЧНОЇ ДІЛЯНКИ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

2.1 Склад, технічні характеристики обладнання висококонвективної ковпакової пічної установки з газовим нагрівом

Для відпалу металу в середовищі сухого водню в термічному відділенні ЦХП-1 встановлений блок № 14 газових ковпакових печей типу НОg 170/535 St-H₂-В фірми "Эбнер".

Складовими частинами печі є нагрівальний ковпак, стенд, муфель, конвекторні кільця, охолоджуючий ковпак, вентиляна стійка.

До складу блоку входить:

нагрівальний ковпак - 10 шт.

стенд -18 шт.

муфель -18 шт.

вентиляна стійка -18 шт.

охолоджуючий ковпак повітряно- водяного охолодження - 8 шт.

Крім того, кожен блок оснащений установкою для регулювання тиску захисних середовищ - азоту і водню та азоту, як робочого середовища для приводу запірних пристроїв. На блок (18 стендів) один електричний розподільчий щит, один гідроагрегат для притискних пристроїв фланця муфеля, система оборотного водоохолодження з теплообмінником.

У комплект устаткування блоку печей «Ебнер» входять двоє механічних кліщів на мостових кранах з напрямними кронштейнами для завантаження і розвантаження рулонів і два трьохплічових захвата для перенесення муфельів і конвекторних кілець. Схеми конструкції стенду печі типу НОg 170 / 535 St H₂ - В в комплекті з нагрівальним і охолоджувальним ковпаками представлені на рисунках 2.1 і 2.2.

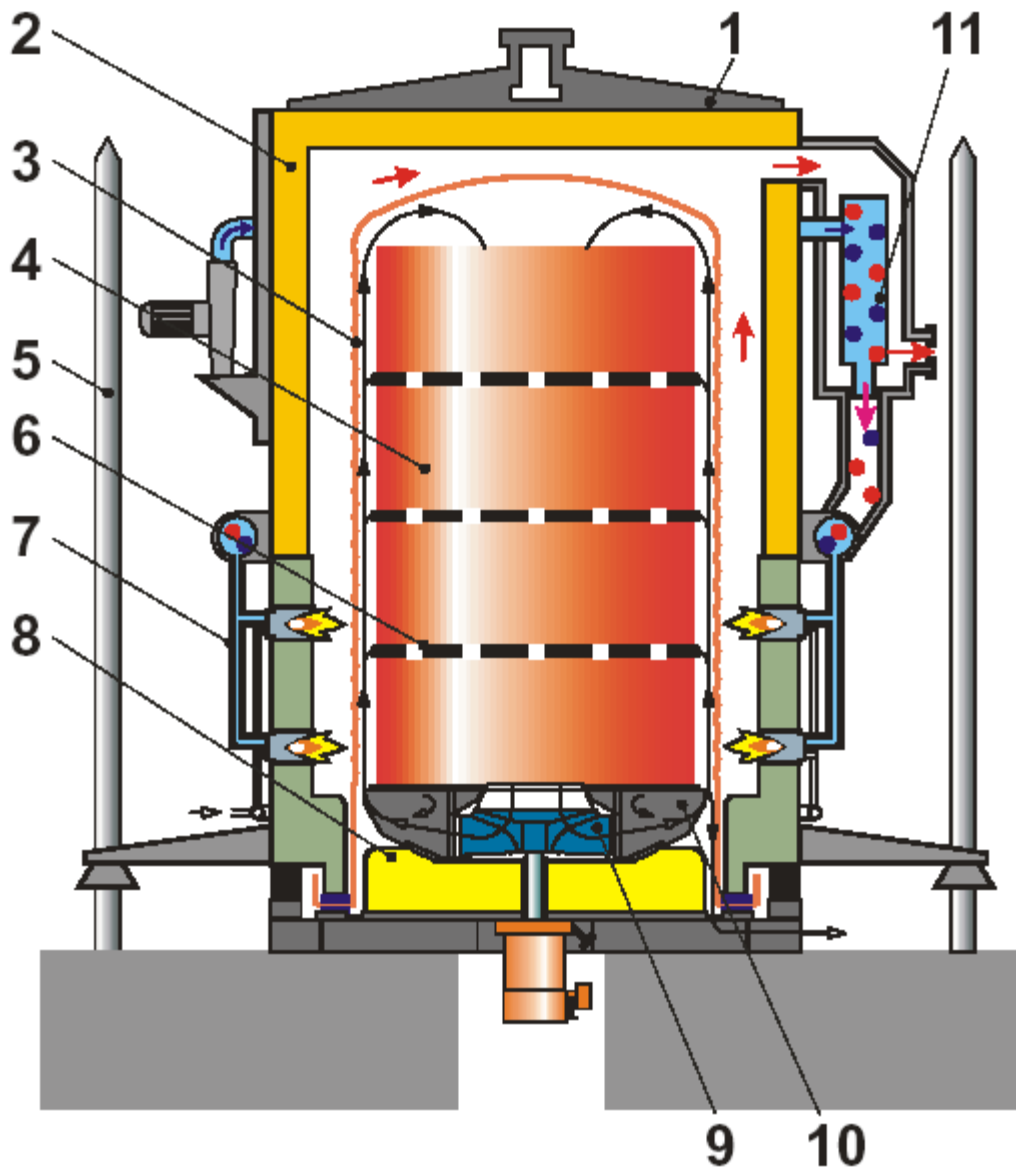


Рисунок 2.1 – Нагрівальний ковпак: 1 – корпус печі; 2 – футеровка; 3 – муфель; 4 – садка; 5 – напрямна стійка; 6 – конвекторне кільце; 7 – трубна розводка печі; 8 – стенд відпалу; 9 – стендовий вентилятор; 10 – направляючий апарат; 11 – рекуператор

Нагрівальний ковпак являє собою металевий кожух циліндричної форми, футерований всередині волокнистим матеріалом. У нижній частині і області нагріву футеровка виготовлена з волоконних модулів, у верхній - з волоконних матів.

Нагрівальний ковпак оснащений повітрорудовкою і центральним рекуператором для підігріву повітря горіння до 350°C .

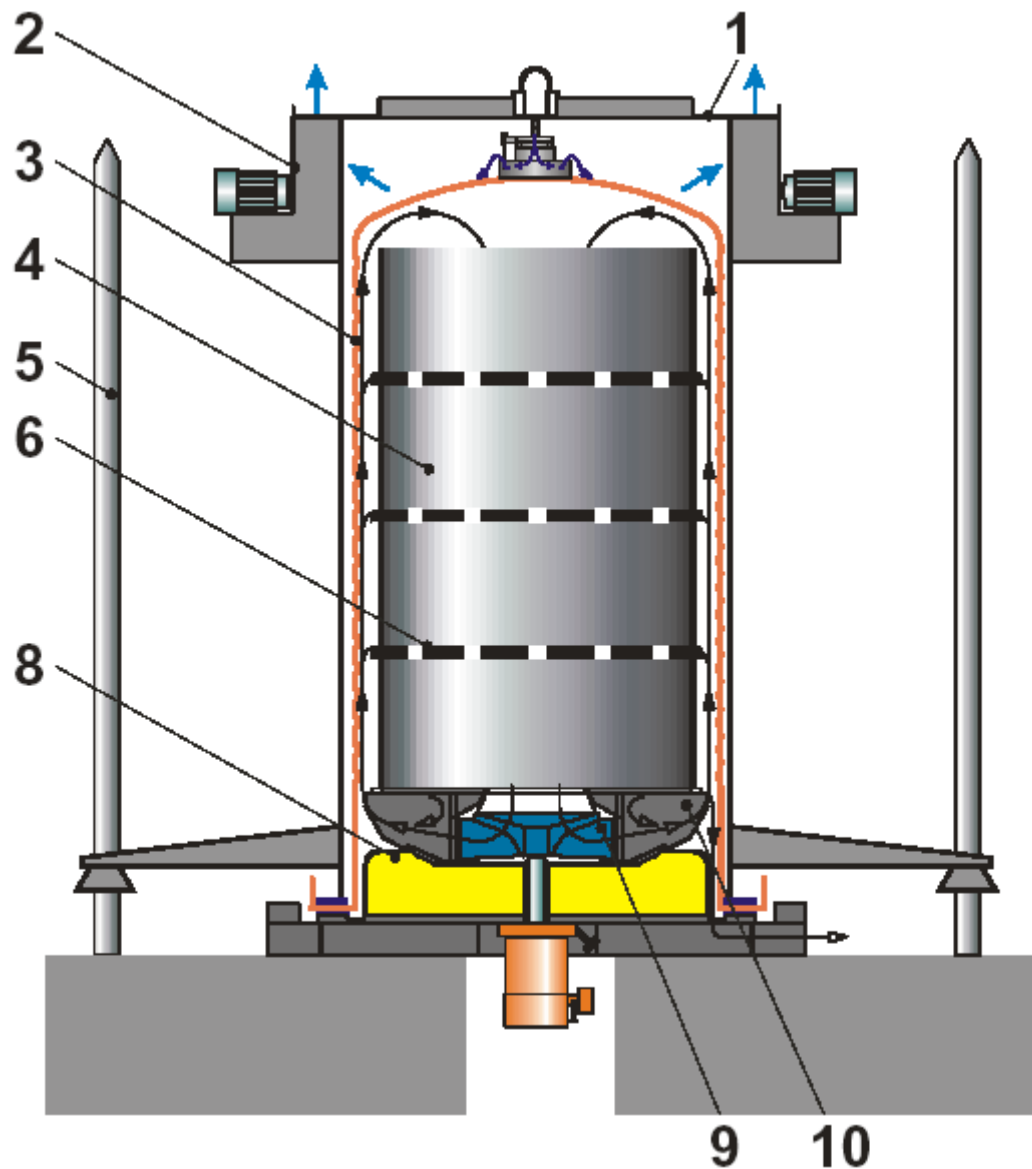


Рисунок 2.2 – Охолоджуючий ковпак: 1 – корпус охолоджуючого ковпака; 2 – вентилятор; 3 – муфель; 4 – садка; 5 – напрямна стійка; 6 – конвекторне кільце; 8 – стенд відпалу; 9 – вентилятор стенду; 10 – направляючий апарат

Маса нагрівального ковпака - 11 т.

Максимальна температура пічного простору- 850 ° С.

Максимальна витрата газу - 136 Нм³ / год .

Тиск природного газу - 110 мбар ± 10 %

Підведення природного газу до нагрівального ковпака здійснюється за допомогою автоматичної муфти .

Пристрій нагріву складається з :

- 8 двоступеневих високошвидкісних пальників з автоматичним запалюванням , розташованих у двох рівнях за обсягом нагрівального ковпака ;
- електродів для запалювання полум'я;
- електродів для контролю полум'я;
- пропорційного регулятора тиску.

Для роботи пальників використовується незначний надлишок повітря, що забезпечує повне згоряння палива.

Нагрівальний ковпак по закінченні часу нагрівання дозволяє реалізувати режим уповільненого охолодження , при цьому вентилятором повітря для горіння підсмоктується навколишнє повітря , потім через регульовану заслінку по позиціях «Вкл -Викл » , кільцеподібний трубопровід і пальники подається під напором , створюваним повітродувкою , в нагрівальне простір.

Низ нагрівального ковпака складається з кільцеподібної опори , на нижній стороні якої прикріплена прокладка , яка при установці на стенд притискається до фланця муфеля , не дозволяючи знизу проникати повітря в нагрівальний простір.

Температура нагрівального ковпака і підмуфельного простору реєструється термоелектричними перетворювачами (термопарами) і потім подається через аналоговий блок введення на програмований контролер SPS і записується на центральній операційній системі (ЦОС) .

Нагрівальний ковпак оснащений пальником дожигання водню , що проходить через підмуфельний простір. Запалювання здійснюється за допомогою зонального пальника з приладом контролю горіння .

Димові гази відводяться через ізолюваний трубопровід в існуючу систему боровів і потім в димову трубу.

Стенд відпалу являє собою підставу із сортової зміцненої сталі , до якого герметично приварений жаростійкий циліндр з листового металу. На покладену зверху несучу конструкцію встановлюється садка рулонів металу.

Допустиме навантаження на стенд 75 т.

Маса стенду 5 т

Максимальний тиск газу при температурі нагрівального ковпака 850 ° С
100 мбар (1000 мм вод.ст) ,(вище атмосферного)

Робочий тиск 50 мбар (500 мм вод.ст)

Максимальна температура стенду 750 ° С

Число оборотів стендового вентилятора 2200 об / хв

(число оборотів регулюється перетворювачем частоти)

Потужність двигуна вентилятора 22 кВт

Стенд оснащений гумовим водоохолоджуваним ущільненням , яке при притиску муфеля злегка деформується , забезпечуючи газонепроникність підмуфельного простору.

Для продувки повітря або H_2 і для циркуляції захисного газу на стенді використовується вентилятор , який працює за допомогою частотного перетворювача.

Вентилятор стенду працює , коли муфель встановлений і заблокований. При запуску програми відпалу вентилятор стенду обертається з максимальною швидкістю. До тих пір , поки в подмуфельном просторі знаходиться азот або температура в ньому дуже низька , число оборотів внаслідок межі по струму знижується.

Муфель у комбінації зі стендом утворює відокремлену від пічного простору газогерметичну камеру , захищаючи метал від окислюючої дії пічних газів.

Складові компоненти муфеля : подова частина , в середині газонепроникний зварений циліндр з рифленої жаростійкої хромонікелевої сталі , потім фланець. Фланець муфеля притискається до ущільнення стенду. На подовій частини муфеля для його транспортування грейферной цангою пристосоване несуче кільце.

Муфель на стенді центрується вушками по напрямних.

Висота муфеля 6512 мм

Зовнішній діаметр 1880 мм

Максимальна температура під муфелем 750 ° С

Максимально допустимий тиск газу під муфелем 100 мбар (1000 мм вод.ст) , вище атмосферного

Робочий тиск 50 мбар (500 мм вод.ст)

Вага муфеля 3,5 т

Гідравлічний агрегат притисного пристрою муфеля складається з 2 насосів. Щоб уникнути одночасного зносу насоси перемикають в співвідношенні 6 днів / 1 день.

Двигун і лопатевий насос з регульованим тиском , з механічним регульовальним пристроєм для безступінчатої подачі потоку розташовані на маслобаку .

Конвекторні кільця укладаються між рулонами для забезпечення кращого прогріву і збільшення площі контакту захисного газу з металом рулонів.

Розміри кілець :

зовнішній діаметр 1740 мм

внутрішній діаметр 750 мм

товщина 60 мм

маса 0,47 т

Охолоджуючий ковпак повітряно- водяного охолодження призначений для охолодження металу , що відпалюють під муфелем , за допомогою розташованих у верхній частині ковпака вентиляторів і водяного душа .

Маса охолоджуючого ковпака 3,5 т.

Кількість вентиляторів 2 шт.

Потужність вентилятора 5,5 кВт.

Продуктивність вентилятора 4,4 м³ / с.

Витрата охолоджуючої води 24 м³ / год:

з них: для водяного душа 16 м³/год;

для розбризування 8 м³/год.

Температура початку водяного охолодження по стендовій термопарі 380°С.

Вентильна стійка служить для подачі і відведення необхідних для термообробки газів:

100 % N_2 - для продувки підмуфельного простору ; в якості керуючого середовища та запірною газу водневої запобіжної системи .

100 % H_2 - для відпалу .

Рекуператор, змонтований на нагрівальному ковпаку, служить для утилізації тепла за рахунок нагрівання повітря для горіння. Повітря для горіння за рахунок частини тепла відпрацьованого газу охолоджується в трубчастому теплообміннику до температури близько. 350 °С. Відпрацьований газ від нагрівального ковпака з боків потрапляє в рекуператор і обтікає пучок труб зверху вниз.

Повітря для горіння, що надходить у рекуператор теж з боків, протікає через пучок труб , а потім через кільцевий теплоізолюваний трубопровід, який проходить навколо нагрівального ковпака, і кожен жаростійку заслінку підводиться до пальників допалу H_2

У пристрої допалу H_2 займисті частки в захисному газі допалюються . При запуску вентилятора повітря для горіння також запускається компресор бокового каналу для запальних пальників. На запальні пальники повітря подається в нормальному стані в обсязі 4 nm^3 / год (встановлюється регулятором тиску) .

Горючий газ додається до повітря для горіння через регулятор постійного тиску. Залежно від програми відпалу через пристрій дожигання H_2 пропускаються захисні газу.

Частина відпрацьованого газу дозовано додається в повітря для горіння. Завдяки цьому оксиди азоту NO_x у відпрацьованому газі зменшуються. Відпрацьований газ підсмоктується через заслінку вентилятором повітря для горіння. Заслінка при досягненні повітрям для горіння температури більше 100° С відкривається . Відкривання позиційного регулятора залежить від температури повітря для горіння і регулювання Вкл- Викл і наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Регулювання допалу відпрацьованого газу

Температура повітря для горіння	Позиційний регулятор
до 100 ° С	закритий
100 ° С - 200 ° С	лінійно відкривається в межах 0 % - 30 %
200 ° С -300 ° С	лінійно відкривається в межах 30 % -40 %
понад 300 ° С	відкривається на 40 %
	відкривається на 35 % Вкл- Викл - регулювання

Відпал холоднокатаної сталі в ковпакових печах фірми «Ебнер», за режимами технологічної інструкції ВТІ 226 - П.ХЛ1 - 51, забезпечує отримання механічних властивостей, які повністю і з запасом задовольняють вимогам нормативної документації. Використання передбаченої в програмах відпалу функції «наздоганяння ядра» дозволяє скоротити тривалість відпалу, знизити витрату енергоносіїв із забезпеченням необхідного рівня механічних і технологічних властивостей.

З метою інтенсифікації швидкості нагріву металопрокату, поліпшення якості спалювання палива і скорочення витрати палива при відпалі в одностопних колпакових газових печах з атмосферою ННх - газу нагрівальні ковпаки обладнані системою примусової подачі ежекторного повітря. Включення в схему подачі ежекторного повітря пристроїв автоматичного регулювання дозволяє отримати додаткове зниження витрати палива на відпал.

2.2 Тепловий баланс ковпакової печі

Вихідними даними до розрахунку теплового балансу є:
продуктивність термічної ділянки $P = 15$ тис. тон/місяць.

Розміри печі, м:

$$D=2,85;$$

$$h=2,1.$$

Характеристики рулону:

$$\text{коефіцієнт заповнення рулону } \eta = 0,97.$$

Характеристики металу:

$$\text{теплоємність } c_m = 0,67 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)};$$

$$\text{густина } \rho = 7850 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{коефіцієнт теплопровідності } \lambda_m = 34,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\text{коефіцієнт еквівалентної теплопровідності в радіальному напрямку } \lambda_r = 7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\text{припустимий перепад температур} = 50 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{початкова температура} = 60 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\text{Нижча теплота згоряння коксодоменного газу } Q_{н}^p = 11,75 \text{ МДж/м}^3.$$

$$\text{Коефіцієнт використання печі } k_{и} = 0,9.$$

$$\text{Коефіцієнт заповнення } k_z = 0,8.$$

Кладка:

Внутрішній шар 100 мм - шамотний легковес ШЛ-1

Зовнішній шар 80 мм - діатоміт Д-500

Розрахунок теплообміну під муфелем при нагріванні

Температуру муфеля, $^\circ\text{C}$ приймають постійною для всього процесу нагріву

$$t_{муф} = t_{кон} + 10; \quad (2.1)$$

де $t_{кон}$ – кінцева температура, $t_{кон} = 720 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$t_{муф} = 720 + 10 = 730 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Диаметр муфеля

$$D_M = D_p + 0,35; \quad (2.2)$$

де D_p – зовнішній діаметр рулону, $D_p = 2,00$ м;

$$D_M = 2,00 + 0,35 = 2,35 \text{ м.}$$

Висота муфеля

$$H_M = h_p \cdot n_p + 0,20; \text{ м.} \quad (2.3)$$

де h_p – висота рулону $h_p = 1,50$ м;

n_p – кількість рулонів у стопі $n_p = 1$;

$$H_M = 1,50 \cdot 1 + 0,20 = 1,70.$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м²·К⁴)

$$C_{np}^{нагр} = C_s \cdot \left[\frac{1}{\varepsilon_M} + \frac{D_M}{D_p} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_p} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (2.4)$$

де c_s – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла $c_s = 5,77$ Вт/(м²·К⁴).

ε_M – ступінь чорноти муфеля $\varepsilon_M = 0,7$.

ε_p – ступінь чорноти рулону $\varepsilon_p = 0,3$.

$$C_{np}^{нагр} = 5,77 \cdot \left[\frac{1}{0,7} + \frac{2,35}{2,00} \cdot \left(\frac{1}{0,3} - 1 \right) \right]^{-1} = 1,38.$$

Середня температура зовнішньої бічної поверхні рулону

$$t_{\bar{o}} = 0,9 \cdot t_{\text{муф}} \quad (2.5)$$

$$t_{\bar{o}} = 0,9 \cdot 730 = 657 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура газу

$$t_{\bar{z}} = 0,7 \cdot t_{\text{муф}} \quad (2.6)$$

$$t_{\bar{z}} = 0,7 \cdot 730 = 511 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від муфеля до зовнішньої бічної поверхні рулону, Вт/(м²·К)

$$\alpha_{\bar{o}}^{\text{изл}} = C_{\text{нр}}^{\text{назр}} \cdot \frac{\left(\frac{t_{\bar{z}} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_{\bar{o}} + 273}{100}\right)^4}{t_{\bar{z}} - t_{\bar{o}}} \quad (2.7)$$

$$\alpha_{\bar{o}}^{\text{изл}} = 1,38 \cdot \frac{\left(\frac{511 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{657 + 273}{100}\right)^4}{511 - 657} = 25,36.$$

Площі поверхонь, м²:

бічної

$$F_{\bar{o}} = \pi \cdot D_p \cdot h_p \cdot n_p; \quad (2.8)$$

$$F_{\bar{o}} = 3,14 \cdot 2,00 \cdot 1,50 \cdot 1 = 9,42.$$

торцевої

$$F_m = \frac{\pi}{4} \cdot (D_p^2 - d_p^2) \cdot n_p; \quad (2.9)$$

де d_p – внутрішній діаметр рулону $d_p = 0,60$ м;

$$F_m = \frac{3,14}{4} \cdot (2,00^2 - 0,60^2) \cdot 1 = 2,86.$$

внутрішньої

$$F_{\epsilon} = \pi \cdot d_p \cdot h_p \cdot n_p ; \quad (2.10)$$

$$F_{\epsilon} = 3,14 \cdot 0,60 \cdot 1,50 \cdot 1 = 2,83 .$$

поверхні муфеля

$$F_m = \pi \cdot D_m \cdot H_m . \quad (2.11)$$

$$F_m = 3,14 \cdot 2,35 \cdot 1,7 = 12,54 .$$

Дійсні швидкості захисного газу, м/с:

в конвекторних кільцях нижнього рулону

$$\varpi_m = \frac{0,3 \cdot 12500}{3600 \cdot 2,86} = 0,36 .$$

у внутрішній порожнині рулону

$$\varpi_{\epsilon} = \frac{(1 - 0,3) \cdot 12500}{3600 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,60^4}{4}} = 8,60 .$$

Коефіцієнти тепловіддачі конвекцією визначаємо за графіками $\alpha = f(\omega)$, /
3 /, з урахуванням шорсткості поверхні, Вт/(м²·К):

$$\alpha_m = 24,75$$

$$\alpha_{\epsilon} = 25,25$$

Коефіцієнт приведення

$$\chi = \frac{k}{k+1} , \quad (2.12)$$

де

$$k = \frac{\alpha_{\sigma} \cdot (F_m + 0,8 \cdot F_{\sigma})}{\alpha_m \cdot F_m + \alpha_{\sigma} \cdot F_{\sigma}} \quad (2.13)$$

$$k = \frac{12 \cdot (12,54 + 0,8 \cdot 9,42)}{24,75 \cdot 2,86 + 25,25 \alpha_{\sigma} \cdot 2,83} = 1,69$$

$$\chi = \frac{1,69}{1,69 + 1} = 0,63.$$

Середні приведені коефіцієнти тепловіддачі, Вт/(м²·К):

$$\bar{\alpha}_{\sigma} = \alpha_{\sigma}^{изн} + \chi \cdot \alpha_{\sigma} \quad (2.14)$$

$$\bar{\alpha}_{\sigma} = 25,36 + 0,63 \cdot 12 = 32,92.$$

$$\bar{\alpha}_m = \chi \cdot \alpha_m \quad (2.15)$$

$$\bar{\alpha}_m = 0,63 \cdot 24,75 = 15,59.$$

$$\bar{\alpha}_{\sigma} = \chi \cdot \alpha_{\sigma} \quad (2.16)$$

$$\bar{\alpha}_{\sigma} = 0,63 \cdot 25,25 = 15,91.$$

Тепловий баланс. Прихід тепла.

Хімічне тепло палива, кВт

$$Q_x = \frac{Q_u^p \cdot V_m}{3,6}, \quad (2.17)$$

де V_T - витрата палива, м³ / год.

$$Q_x = \frac{11,75 \cdot V_m}{3,6} = 3,26V_m \quad (2.18)$$

Витрата тепла. Нагрівання металу.

Тепло, необхідне для нагрівання металу розрахуємо на початку і в кінці циклу. За допомогою цих даних можна визначити теплову потужність печі (при максимальній витраті газу на початку нагріву) і питома витрата палива (за даними кінця періоду нагріву).

$$t_{нач} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Теплоємності металу в початковий і подальший моменти нагріву:

$$c_0 = 0,485 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)};$$

$$c_2 = 0,486 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)};$$

$$c_{45} = 0,620 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$$

Початок нагріву :

$$t_{m2} = 0,2 \cdot (t_{ног} + t_{extr}) \quad (2.19)$$

$$t_{m2} = 0,2 \cdot (398 + 80) = 112 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$T_{yx} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура газів, що відходять

$$Q_{m2} = \frac{G}{3,6 \cdot \tau} \cdot (c_2 \cdot t_{m2} - c_0 \cdot t_{m0}) \text{ кВт.}$$

$$Q_{m2} = \frac{22,43}{3,6 \cdot 2} \cdot (0,486 \cdot 112 - 0,485 \cdot 60) = 78,92.$$

Кінець нагріву :

$$t_{m45} = \frac{1}{3} \cdot t_{ног} + \frac{2}{3} \cdot t_{extr} \quad (2.20)$$

$$t_{m45} = \frac{1}{3} \cdot 725 + \frac{2}{3} \cdot 694 = 704 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{yx} = t_{my\phi} + 120 + 50 \quad (2.21)$$

$$T_{yx} = 730 + 120 + 50 = 900 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$Q_{m45} = \frac{G}{3.6 \cdot \tau} \cdot (c_{45} \cdot t_{m45} - c_0 \cdot t_{m0}) \quad (2.22)$$

$$Q_{m45} = \frac{22,43}{3.6 \cdot 45} \cdot (0,620 \cdot 704 - 0,485 \cdot 60) = 56,40 \text{ кВт}$$

Втрати тепла через кладку визначаємо за формулою

$$Q_{кл} = q_{кл} \cdot F_{кл}, \quad (2.23)$$

де $Q_{кл}$ - тепловий потік кладки, $Q_{кл} = 0,5 \text{ кВт} / \text{м}^2$ (визначаємо за графіками / 3 /);

$F_{кл}$ - площа поверхні кладки.

$$Q_{кл} = q_{кл} \cdot F_{кл} = q_{кл} \cdot \left(2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} + \pi \cdot D \cdot h \right) \quad (2.24)$$

$$Q_{кл} = 0,5 \cdot \left(2 \cdot \frac{3,14 \cdot 2,85^2}{4} + 3,14 \cdot 2,85 \cdot 2,1 \right) = 15,77 \text{ кВт}.$$

Тепло вихідних газів:

$$Q_{yx} = \frac{i_{yx}}{3,6} \cdot V_m, \quad (2.25)$$

де i_{yx} – ентальпія димових газів

$$i_{600}=3,5 \text{ МДж/м}^3,$$

$$i_{900}=4,5 \text{ МДж/м}^3$$

$$Q_{yx600} = \frac{i_{yx}}{3,6} \cdot V_m = \frac{3,5}{3,6} \cdot V_m = 0,97V_m \quad (2.26)$$

$$Q_{yx900} = \frac{i_{yx}}{3,6} \cdot V_m = \frac{4,5}{3,6} \cdot V_m = 1,25V_m \quad (2.27)$$

Невраховані втрати приймаємо 10%

$$Q_{неучт} = 0,1 \cdot (Q_m + Q_{кл}) \quad (2.28)$$

$$Q_{неучт}^2 = 0,1 \cdot (78,92 + 15,77) = 9,45 \text{ кВт.}$$

$$Q_{неучт}^{45} = 0,1 \cdot (56,46 + 15,77) = 7,22 \text{ кВт.}$$

Тепловий баланс. Початок нагріву

$$3,26V_m = 78,92 + 15,77 + 0,97V_m + 9,45$$

$$V_m = 45,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Теплова потужність печі $45,5 \cdot 3,26 = 148,25 \text{ кВт}$

Кінець нагріву

$$3,26V_m = 56,46 + 15,77 + 1,25V_m + 7,22.$$

$$V_m = 39,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

Питома витрата палива

$$q = 3,6 \cdot \frac{Q_i \cdot \tau}{G} \quad (2.29)$$

$$q = 3,6 \cdot \frac{3,26 \cdot 39,5 \cdot 45}{22,43} = 930 \text{ кДж/кг.}$$

2.3 Встановлення рекуператорів та застосування радіаційно-конвективних конвекторних кілець

Димові гази, що залишають робочий простір печі мають досить високу температуру і тому забирають багато тепла з простору печі (до 80%). Димові гази забирають тим більше тепла, чим вище їх температура і чим менше коефіцієнт використання тепла в печі. У зв'язку з цим доцільніше забезпечувати утилізацію тепла в печі.

На місці традиційних димовідводів встановлюються два рекуператора для підігріву повітря горіння до 300-350 ° С (рекуператори двоходові, по повітряній стороні). Підведення холодного і відведення нагрітого повітря до пальників здійснюються знизу. Нагріте повітря від рекуператора надходить безпосередньо в металевий колектор, розміщений всередині футеровки в нижній частині горілчаного ковпака, і далі розводиться до пальників (див. рис.). Така схема відрізняється комплектністю і дозволяє звести до мінімуму втрати тепла по трасі гарячого повітря.

Керамічні рекуператори, що застосовуються в нагрівальних колодязях, виконують з восьмигранних трубок. Зазвичай монтують в 6 - 8 рядів труб, з них два верхніх і нижній ряди з карбошамотних трубок, решта - з шамотних. В рекуператорі повітря підігрівається від $t_{\text{в}}^{\text{н}} = 0^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{в}}^{\text{к}} = 850^{\circ}\text{C}$. Температура диму на вході в рекуператор $t_{\text{д}}^{\text{н}} = 1250^{\circ}\text{C}$; кількість повітря, що підігрівається

$V_B = 1,46 \text{ м}^3/\text{с}$; кількість димових газів $V_D = 2,31 \text{ м}^3/\text{с}$; склад димових газів: 12% CO, 3% O₂, 10% H₂O, 75% N₂.

Рекуператор набирається з трубок, кожна з яких має загальну висоту 398 мм, корисну висоту 356 мм, зовнішній діаметр 140 мм і внутрішній діаметр 114 мм. Димові гази проходять всередині трубок, повітря - між трубками. Схема роботи рекуператора – багаторазова перехресна протитечія.

Приймаємо що теплові втрати дорівнюють 10% і величина витоку повітря в димові канали рівної 20%. З урахуванням витоку в рекуператор потрібно подавати кількість повітря, рівне $1,46/0,8 = 1,825 \text{ м}^3/\text{с}$.

Отже, величина витоку повітря за формулою, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$\Delta V_B = 1,825 - 1,46 = 0,365 \text{ ,} \quad (2.30)$$

Приймаючи температуру димових газів на виході з рекуператора $650 \text{ }^\circ\text{C}$ і визначаючи теплоємність димових газів аналогічно попередньому розрахунку, складаємо рівняння теплового балансу :

$$0,9 \cdot 2,31 (1,57 \cdot 1250 - 1,59 t_D^K) = 1,46 \cdot 1,42 \cdot 850 + 0,365 \cdot 1,39 t_D^K \Rightarrow t_D^K = 640 \text{ }^\circ\text{C} \quad (2.31)$$

Рекуператор даної конструкції працює за принципом багаторазового перехресного протитоку, поправкою на перехресний струм нехтуємо і визначаємо середню різницю температур за формулою, $^\circ\text{C}$:

$$\bar{\Delta t} = \frac{(1250 - 850) - (640 - 0)}{2,31 g \frac{1250 - 850}{640 - 0}} = 52,4 \text{ ,} \quad (2.32)$$

Для визначення сумарного коефіцієнта теплопередачі приймаємо середню швидкість димових газів $w_{до} = 0,6 \text{ м/с}$, середню швидкість повітря $w_{во} = 1,0 \text{ м/с}$.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією на повітряній стороні $\alpha_B^{\text{КОНВ}}$ для шахового пучка знаходимо за формулою:

$$\alpha_B^{\text{КОНВ}} = \alpha_0 \cdot k_t \cdot k_z \cdot k_s, \quad (2.33)$$

і номограмою (див. [1]). Знайдемо з деяким наближенням середню по всій поверхні нагріву температуру стінки:

$$t_{\text{СТ}}^{\text{ВЕРХ}} = (1250 + 850)/2 = 1050 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{СТ}}^{\text{НИЗ}} = (640 + 0)/2 = 320 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\overline{t_{\text{СТ}}} = (1050 + 320)/2 = 685 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура повітря:

$$\overline{t_B} = (850 + 0)/2 = 425 \text{ }^\circ\text{C},$$

Середня дійсна швидкість потоку повітря:

$$w_B = 1,0 \cdot (425 + 273)/273 = 2,56 \text{ м/с},$$

Приймаємо для рекуперації значення $S_1/d = 2,2$, $S_2/d = 1,2$ та число рядів у пучку 7.

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі конвекцією на повітряній стороні:

$$\alpha_B^{\text{КОНВ}} = 22,0 \cdot 0,81 \cdot 0,92 \cdot 1,3 = 21,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Враховуючи шорсткість стінок:

$$\alpha_B^{\text{КОНВ}} = 21,2 \cdot 1,1 = 23,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі на димовій стороні:

$$\alpha_{\text{д}} = \alpha_{\text{д}}^{\text{КОНВ}} + \alpha_{\text{д}}^{\text{ИЗЛ}}, \quad (2.34)$$

Відповідно графіку (см.[1]), при швидкості руху потоку $w_{\text{до}} = 0,6$ м/с та діаметрі труби $d = 0,114$ м $\alpha_{\text{д}}^{\text{КОНВ}} = 7,92$ (Вт/м²·К).

З урахуванням шорсткості стін:

$$\alpha_{\text{д}}^{\text{КОНВ}} = 7,92 \cdot 1,1 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Для визначення $\alpha_{\text{д}}^{\text{ИЗЛ}}$ за номограмами знаходимо:

– для верха рекуператора ($t_{\text{д}} = 1250^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{СТ}}^{\text{БЕРХ}} = 1050^{\circ}\text{C}$):

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,044; \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,013; \beta = 1,09;$$

$$\varepsilon_{\Gamma} = 0,044 + 1,09 \cdot 0,014 = 0,099;$$

$$\varepsilon_{\Gamma}^{\text{СТ}} = 0,1.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням (приймаємо $\varepsilon_{\text{СТ}} = 0,8$ та, відповідно, $\varepsilon_{\text{СТ.ЭФФ}} = (1 + 0,8)/2 = 0,9$), :

$$\alpha_{\text{д.ВЕРХ}}^{\text{ИЗЛ}} = \frac{5,7 \cdot 0,9 \left[0,099 \left(\frac{1523}{100} \right)^4 - 0,1 \left(\frac{1323}{100} \right)^4 \right]}{(1523 - 1323)} = 38,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

– для низа рекуператора ($t_{\text{д}} = 640^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{СТ}}^{\text{НИЗ}} = 320^{\circ}\text{C}$):

$$\varepsilon_{\Gamma} = 0,094; \varepsilon_{\Gamma}^{\text{СТ}} = 0,098;$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням:

$$\alpha_{\text{д.низ}}^{\text{изл}} = \frac{5,7 \cdot 0,9 \left[0,094 \left(\frac{913}{100} \right)^4 - 0,098 \left(\frac{593}{100} \right)^4 \right]}{(913 - 593)} = 8,85 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Середнє значення коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням на димовій стороні рекуператора:

$$\alpha_{\text{д}}^{\text{изл}} = (38,4 + 8,85)/2 = 23,63 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі на димовій стороні:

$$\alpha_{\text{д}} = 8,7 + 23,63 = 32,33 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Теплопровідність карбошамота на 30% вище теплопровідності шамоту. Отже, при середній температурі стінки $\overline{t_{\text{ст}}} = 685^\circ\text{C}$ коефіцієнт теплопровідності карбошамота:

$$\lambda_{\text{кш}} = 1,3 \cdot (0,88 + 0,23 \cdot 685 \cdot 10^{-3}) = 1,35 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Враховуючі, що $R_1 = 0,057 \text{ м}$; $R_2 = 0,07 \text{ м}$ и $R_{\text{ср}} = 0,0635 \text{ м}$, знаходимо сумарний коефіцієнт теплопередачі рекуператора:

$$\overline{K} = \frac{1}{\left(\frac{1}{32,33 \cdot 0,057} + \frac{1}{1,35} 2,31g \frac{0,07}{0,057} + \frac{1}{23,4 \cdot 0,07} \right) 0,0635} = 12,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Знаходимо кількість тепла, що проходить через поверхню нагріву:

$$Q = 1,46 (1,39 \cdot 850 - 1,3 \cdot 0) \cdot 10^3 + 0,365 (1,36 \cdot 640 - 1,3 \cdot 0) \cdot 10^3 = 1980000 \text{ Вт}$$

Поверхня нагріву рекуператора:

$$F = 1980\,000 / (525 \cdot 12,2) = 309 \text{ м}^2.$$

Питома поверхня нагріву карбошамотного рекуператора становить $8,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Об'єм рекуператора без урахування місць з'єднання труб $309/8,5 = 36,4 \text{ м}^3$.

Початкова кількість димових газів ($2,31 \text{ м}^3/\text{с}$) внаслідок витоку повітря збільшується до $2,68 \text{ м}^3/\text{с}$. Отже, середня кількість $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Визначимо загальну площу отворів для проходження димових газів:

$$f_{\text{д}} = 2,5/0,6 = 4,16 \text{ м}^2.$$

Так як площа отворів для проходу диму в карбошамотном рекуператорі становить 23,1% від загальної площі дзеркала рекуператора, то площу поперечного перерізу рекуператора обчислюємо за такою формулою:

$$S_{\text{отв}} = \frac{f_{\text{д}}}{0,231}, \quad (2.35)$$

$$S_{\text{отв}} = \frac{4,16}{0,231} = 18 \text{ м}^2.$$

Витрата повітря середня – $1,64 \text{ м}^3/\text{с}$.

Оскільки середня швидкість руху повітря прийнята рівною $1,0 \text{ м / с}$, то необхідна площа для проходу повітря складе:

$$f_{\text{в}} = 1,64/1,0 = 1,64 \text{ м}^2.$$

Корисна висота одного ходу дорівнює $0,356 \text{ м}$, що при зовнішньому діаметрі труби рекуператора $0,14 \text{ м}$ і відстані між осями сусідніх труб $0,304 \text{ м}$ становить $0,0585 \text{ м}^2$ площі, вільної для проходу повітря.

Отже, по ширині рекуператора слід розташовувати наступне число труб з формулою:

$$n = 1,64 : (0,0585 \cdot 2) + 1 = 15 \text{ шт.}$$

Загальна ширина з урахуванням відстані від крайніх труб до стінки рекуператора дорівнює :

$$B = (n - 1) 0,304 + 2 \cdot 0,117, \quad (2.36)$$

$$B = 14 \cdot 0,304 + 2 \cdot 0,117 = 4,49 \text{ м.}$$

Приблизна довжина рекуператора:

$$L_{np} = \frac{S_{рек}}{B}, \quad (2.37)$$

де $S_{рек}$ площа поперечного перерізу рекуператора, м^2 ;

B – загальна ширина рекуператора, м.

$$L_{np} = 18,0 / 4,49 = 4,08 \text{ м.}$$

Довжина, площа та корисна висота рекуператора при 15 трубах дорівнює:

$$L = 7 \cdot 0,304 + 2 \cdot 0,117 = 2,36 \text{ м,}$$

$$S = B \cdot L = 4,49 \cdot 2,36 = 10,6 \text{ м}^2,$$

$$H = 36,4 / 10,6 = 3,44 \text{ м.}$$

Розробка оптимальної конструкції конвекторних кілець, що забезпечують високу тепловіддачу до торців рулонів і мають низький гідравлічний опір. Для забезпечення однорідності нагрівання й охолодження по товщині рулону

конвекторне кільце, яке показано на рисунку 2.3, містить диск з центральним отвором, виконаний з декількох елементів з утворенням температурних швів, і опорні радіальні ребра, що утворюють циркуляційні канали і перекривають температурні шви. Між зовнішніми та внутрішніми елементами диска виконаний зазор, розташований на ділянці 0,50-0,75 радіусу кільця, а радіальні ребра мають канавки на опорній поверхні їх кінців, які виступають всередину кільця. Виконання канавок запобігає зісковзуванню витків рулону у внутрішнє отвір конвекторного кільця під час відпалу.

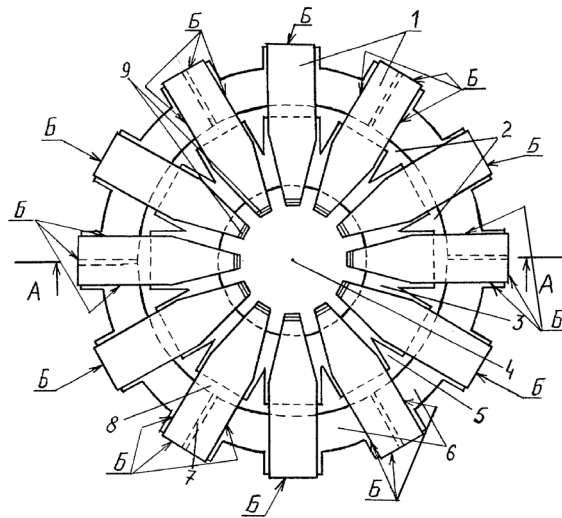


Рисунок 2.3 – Конструкція радіаційно-конвективного конвекторного кільця

За рахунок застосування зазначеного типу радіаційно-конвекторних кілець на Магнітогорському металургійному комбінаті було отримано криві тривалості циклу для садки ковпакової печі зі змістом водню 100% у захисному газі, які наведено на рисунку 2.4.

Результати досліджень наведено в таблиці 2.2, де в узагальненому вигляді представлені результати експерименту при різній кількості радіаційно-конвективних конвекторних кілець - РКК.

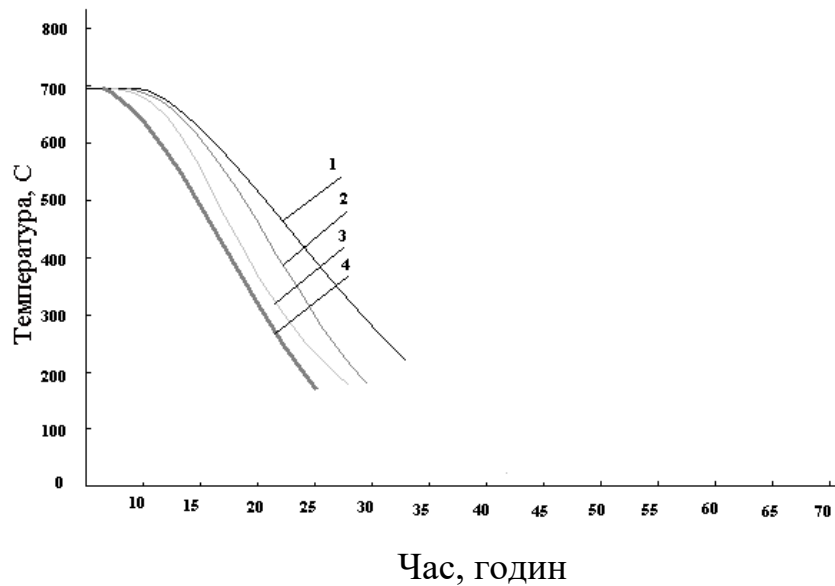


Рисунок 2.4 – Криві тривалості циклу для садки ковпакової печі з вмістом водню 100% у захисному газі: 1- 1 РКК, 2 - 2 РКК, 3 - 3 РКК, 4 - 4 РКК

Таблиця 2.2 – Результати експерименту на ММК

Показники, що впливають на тривалість циклу	Скорочення тривалості циклу, %	
	нагріву	охолодження
Вміст в захисному газі 100 % H ₂ +1 РКК	14,2	0,302326
Вміст в захисному газі 100 % H ₂ +2 РКК	15,6	0,318605
Вміст в захисному газі 100 % H ₂ +3 РКК	18,9	51,4
Вміст в захисному газі 100 % H ₂ +4 РКК	21,3	53,58

Скорочення часу термічної обробки призводить до економії природного газу під час нагріву та електроенергії, що споживається вентилятором для забезпечення циркуляції повітря у під муфельному просторі, а під час охолодження до економії витрат охолоджуючої води та електроенергії, що споживається вентилятором.

Також пропонується зміна схеми подачі захисного газу: газ подається циркуляційним вентилятором не по периферії, а по центру рулону і через конвекторні кільця викидається струменями на стінки захисного муфеля. При цьому різко збільшується тепловіддача на внутрішній поверхні муфеля, що призводить до скорочення часу циклу термообробки на 20-30% і скорочення

витрати палива. Співвідношення загального часу використання стендів показано на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Співвідношення загального часу використання стендів

Економія палива (природного газу) за рахунок скорочення часу нагріву:

$$\Delta V_{III} = 136 \cdot 5 \cdot 0,213 = 144,84 \text{ м}^3$$

Економія палива (природного газу) за рахунок рекуператора під час нагріву у пічі становить :

$$\Delta V_2 = 136 \cdot 0,17 = 23,29 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

За час нагріву, що дорівнює $5 \cdot (1 - 0,213) = 3,935$ годин, економія природного газу:

$$\Delta V_{II2} = 23,29 \cdot 3,935 = 91,646 \text{ м}^3.$$

Питома економія природного газу на 1 т садки

$$\Delta v = (144,84 + 91,646) / 55 = 4,3 \text{ м}^3/\text{т}.$$

При скороченні часу нагріву, що дорівнює 5 годин, на 21,3%, економія електроенергії складе:

$$\Delta W_H = 2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 0,213 \cdot 5 = 11,715 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Питома економія електроенергії на 1 т садки:

$$\Delta w_H = 11,715/55 = 0,213 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}.$$

При скороченні часу охолодження, що дорівнює 9 годин, на 53,58%, економія електроенергії складе:

$$\Delta W_O = 2 \cdot 5,5 \cdot 0,5358 \cdot 9 = 53,044 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Питома економія електроенергії на 1 т садки:

$$\Delta w_O = 53,0442/55 = 0,9644 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}.$$

При скороченні часу охолодження, що дорівнює 9 годин, на 53,58%, економія охолоджуючої води складе:

$$\Delta V_B = 24 \cdot 0,5358 \cdot 9 = 115,7328 \text{ м}^3.$$

Питома економія охолоджуючої води на 1 т садки

$$\Delta v_B = 115,7328/55 = 2,104 \text{ м}^3/\text{т}$$

2.4 Заходи щодо прискорення примусового охолодження рулонів

Скорочення тривалості охолодження рулонів на стенді ковпакової печі є основним резервом підвищення продуктивності існуючих термічних ділянок цехів холодного прокату. Узагальнення досвіду експлуатації одностопних ковпакових печей, а також проведений промислово-розрахунковий аналіз, показали, що суттєве зменшення часу охолодження рулонів під муфелем досягається, як правило, комбінацією наступних заходів:

- збільшенням кратності циркуляції захисного газу під муфелем шляхом підвищення потужності стендового вентилятора;

- використанням систем активного охолодження захисного газу шляхом інтенсивного (повітряного , водоповітряного , водяного) охолодження муфеля і з використанням виносних рециркуляційних теплообмінників ;

При зниженні кінцевої температури зі стендової термопарі від 250 до 120 °С час природного охолодження збільшується приблизно в 2 рази , а продуктивність печі зменшується в 1,60-1,65 рази. Тому зазвичай прагнуть знімати муфель при можливо більш високій температурі і подальше охолодження рулонів до температури дресування (40-60 °С) проводити на повітрі (зазвичай поза печами на спеціально відведених ділянках цеху).

Практикою встановлено, що для досягнення якості поверхні стали , відповідного рівню світових стандартів , всю якісну конструкційну сталь , автомобільний лист і жерсть необхідно охолоджувати до 120-140 °С , а рядову конструкційну сталь - до 160-180 °С (за показаннями стендової термопарі).

Таблиця 2.3 – Характеристика роботи печей при природному охолодженні рулонів залежно від кінцевої температури охолодження

Характеристика роботи печей	Кінцева температура охолодження зі стендової термопарі, °С					
	120	140	160	180	200	250
Температура внутрішніх по товщині намотування витків рулонів, °С	140-160	170-180	190-200	210-220	240-250	300-310
Число стендів на 1 нагрівальний ковпак $\frac{1,05(\tau_{\text{н}}+\tau_{\text{охл}})}{\tau_{\text{н}}}$	3,3-3,5	3,0-3,2	2,8-3,0	2,6-2,8	2,4-2,6	2,1-2,2
Відносна продуктивність одного стенду, %	78-80	85-87	92-94	100	105-107	125-130

Таблиця 2.4 – Співвідношення розмірів рулонів і тривалості часу їх охолодження

Зовнішній діаметр рулона, м	Висота рулону, м	Зменшення часу охолодження, %
1,45	1,45	8
1,78	1,28	12
2,0-2,1	1,02	18

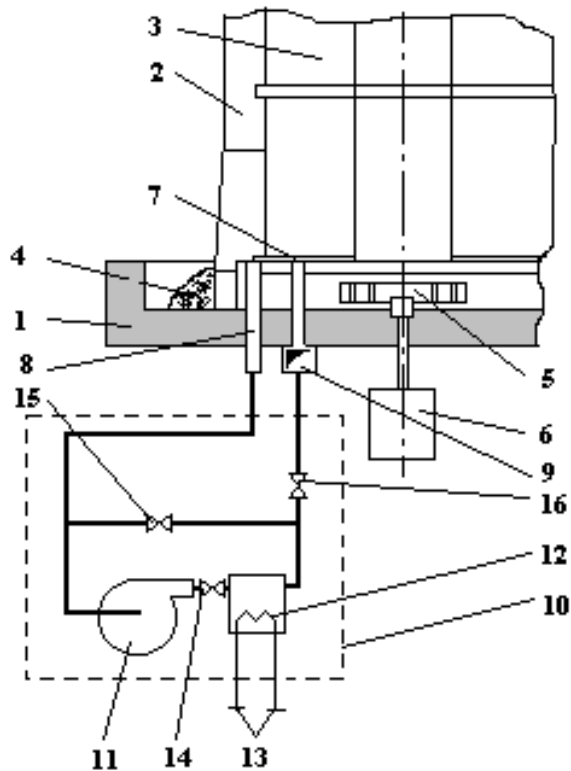
На рисунку 2.3 показано співвідношення загального часу використання стендів, часу нагрівання та охолодження. Таким чином, застосування ефективних методів охолодження дозволить підвищити продуктивність печей та знизити витрати охолоджуючої води та електроенергії, що споживається вентиляторами охолоджуючого ковпака.

Таблиця 2.5 – Порівняльні дані щодо охолодження рулонів у колпакових печах різних фірм

Фірма-виробник	Спосіб охолодження	Захисна атмосфера, %		Маса садки, т	Час охолодження, год	Продуктивність, т/год
		H ₂	N ₂			
Стальпроект	Виносні холодильники без вентилятора	5	95	143,2	91,9	1,56
Ебнер	Водоповітряне охолодження муфеля	5	95	79	29	2,72
Ебнер	Водоповітряне охолодження муфеля; H ₂ CON/H ₂	25	75	96	19	5,1
LOI	Виносні холодильники з додатковими вентиляторами	-	100	110	19	5,6

Для вдосконалення конвективного теплообміну у високотемпературних агрегатах доцільна розробка системи примусового охолодження рулонів захисним газом з використанням спеціального вентилятора в рециркуляційному контурі.

На рисунку 2.6 показана схема прискореного охолодження рулонів. Стенд 1, на якому під муфелем 2 знаходяться рулони 3, забезпечений каналами 8 і 9 для відсмоктування і подачі захисного газу в підмуфельний простір. До цих каналів під'єднуються модулі охолодження 10. Кожен модуль 10 включає в себе циркуляційний вентилятор 11, газоводяний холодильник 12 з патрубками для підведення і відведення води 13, регулювальний шибер 14, байпасний шибер 15 і відсічний шибер 16, призначені для регулювання газодинамічного режиму роботи пристрою.



4 - пісочний затвор; 5 - робоче колесо; 6 - електродвигун; 7 - опорне конвекторне колесо; інші позначення - в тексті

Рисунок 2.6 – Схема стенду колпакової печі, обладнаної модулями прискореного охолодження

Захисний газ з підмуфельного простору через канали 8 відсмоктується циркуляційним вентилятором 11, який подає газ через холодильник, де він охолоджується за рахунок теплообміну з трубами, всередині яких циркулює вода. Охолоджений захисний газ через канали 9 надходить у підмуфельний простір. Після взаємодії з охолоджуваною садкою нагрітий газ знову надходить у модуль охолодження.

Модуль прискореного охолодження рулонів являє собою єдиний зварений корпус, в якому змонтовані циркуляційний вентилятор, газоводяний холодильник, підводячі і відводячі короба. Корпус має приєднувальний фланець для встановлення його на стенді ковпакової печі.

Газоводяний холодильник виконаний з труб корозійностійкої сталі діаметром 25 мм. По газовій стороні холодильник встановлений на вихлопі циркуляційного вентилятора і має один робочий хід. Теплообмінна поверхня трубчатки становить 18 м². Холодильник є знімним і при необхідності може бути демонтований з корпусу модуля.

Захисний газ з робочого об'єму печі підводиться і відводиться через систему каналних отворів в районі направляючого апарата стендового вентилятора. Канали в стенді виконані таким чином, щоб не порушувати аеродинаміку в підмуфельному просторі і гарантувати відсутність підсосів повітря під муфель через залишившийся без зміни пісочний затвор стику муфеля зі стендом.

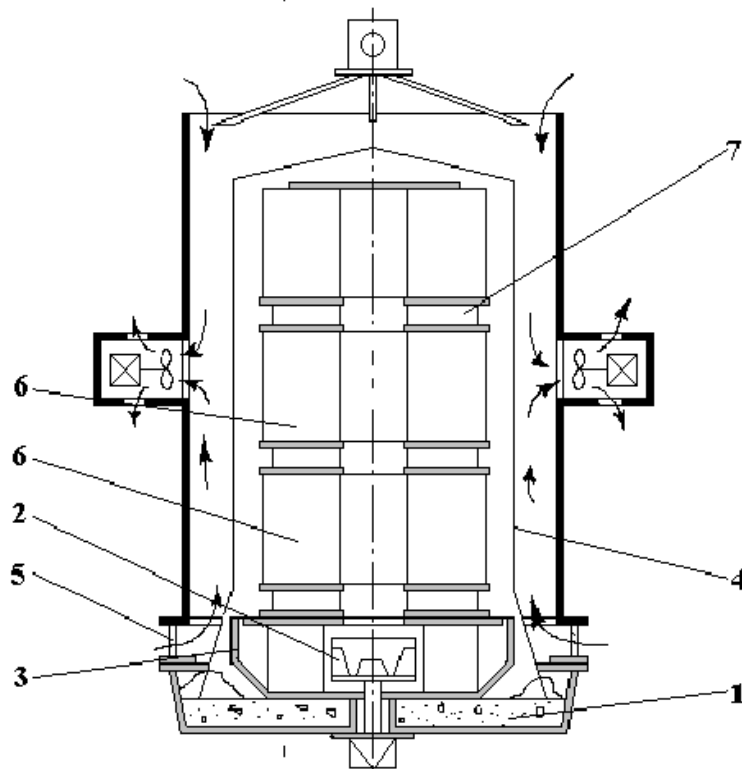
Установка прискореного охолодження сталевих рулонів масою до 45 т в ковпакових печах являє собою спарені виносні газоводяні теплообмінники зі спеціальними вентиляторами в рециркуляційному контурі захисного газу. Використання установки дозволяє скоротити тривалість охолодження садки не менше, ніж на 40%.

Дані про витрату в порівнянні з традиційними ковпаковими печами також свідчать про результативність даних печей: завдяки заощаджуючому енергію регулятору безперервної дії, широко розставленим один від одного високошвидкісним пальникам, великому центральному рекуператору і значно

скороченому часу відпалу витрата природного газу. Умовою для отримання можливо більш низьких теплових втрат є газонепроникний увігнутий стенд з високим ступенем ізоляції, в яку не може проникнути водень, незважаючи на його хорошу проникність.

Ще один варіант, при якому прискорення процесу охолодження досягається тим, що потік охолоджувального повітря ділиться на два, причому один рухається знизу, а інший - зверху до відсмоктувальних патрубків вентиляторів, які розташовуються в районі від 1/3 до 2/3 висоти муфеля.

Загальний вид запропонованого пристрою для охолодження садки ковпакової печі представлений на рисунку 2.7.



- 1 - стенд; 2 - повітряний колектор; 3 - повітряні патрубки; 4 - муфель; 5 - живляча труба; 6 - рулони; 7 - радіаційно-конвективні кільця.

Рисунок 2.7 – Ковпак імпульсного охолодження муфеля

Він включає: загальний колектор, з'єднувальний фланець, опори, направляючі, вертикальні стояки і гнучкий шланг. Стояки мають круглі або щілинні отвори, звернені до охолоджуваної поверхні муфеля. Загальний

колектор має 1-2 ряди отворів, також звернених до охолоджуваної поверхні. На загальному колекторі з боку з'єднувального фланця закріплені баки з водою, з'єднані з колектором ежектуючими трубками. Загальний колектор з'єднаний вертикально несучими та центруючими стояками з траверсою, на якій встановлена проушина для гака мостового крана. Даний спосіб реалізується в пристрої, що відрізняється тим, що з метою забезпечення рівномірного заповнення рухомим повітрям кільцевого зазору між муфелем і кожухом ковпака охолодження, на внутрішній поверхні кожуха, зверненої до муфеля, рівномірно з розбивкою по колу на інтервали $15-30^\circ$ приварені ребра висотою $1/3-2/3$ величини зазору, причому початок і закінчення ребра, які не доходять до рівня отворів відвідних патрубоків на відстань 50-500 мм, зміщені відносно один одного на $60-90^\circ$.

З метою інтенсифікації теплообміну на внутрішній поверхні кожуха, зверненої до муфеля, встановлюється два ряди ребер - нижній і верхній, розташованих симетрично по осі отворів патрубоків вентиляторів один над іншим на відстані і з проміжком $1/10$ висоти муфеля від верхнього і нижнього краю ковпака, кожний з яких виконано з двох відрізків, що утворюють між собою кут $120-150^\circ$, причому довжина відрізків верхнього ряду в два рази менше нижнього, довжина якого становить $0,5-0,7$ довжини $1/4$ кола муфеля.

Такий спосіб охолодження металу в ковпаковій печі полягає в тому, що потік охолоджувального повітря ділиться на два, причому один рухається знизу, а інший - зверху до відсмоктувальних патрубоків вентиляторів. Ковпакова піч містить стенд з вбудованим циркуляційним вентилятором і напрямним апаратом, а також розташований на стенді муфель, ущільнений пісочним затвором. Під муфелем встановлені рулони, розділені по висоті конвекторними кільцями. У період охолодження на стенд встановлюється спеціальний пристрій, який містить кожух, стійки, пристрій для транспортування. У кожусі виконані два отвори, до яких приєднані патрубки. В останніх розташовані вентилятори з електроприводом.

Даний пристрій працює таким чином. Після закінчення періоду нагріву і витримки стопи рулонів в ковпаковій печі нагрівальний ковпак переноситься на інший стенд, а замість нього за допомогою крана за спеціальний пристрій зверху на стопу, закриту муфелем, встановлюється пристрій охолодження. Опори розташовуються на стенді. Після фіксації кожуха на стенді підключаються до електроживлення приводи вентиляторів, які починають підсасувати холодне повітря з цеху через два кільцевих зазору зверху і знизу кожуха.

Основні переваги пропонованої конструкції наступні. У два рази зменшується довжина утворюючої муфеля, щодо якої рухається повітря, тому його температура в середньому нижче і коефіцієнт тепловіддачі від муфеля вище і, отже, теплообмін в системі муфель-кожух більш інтенсивний. Так як потік розбивається на два, то зменшується кількість повітря, що проходить через зазор між муфелем і кожухом і можна збільшити швидкість, не збільшуючи втрат на гідравлічний опір системи, тобто при тому ж вентиляторі можна зменшити зазор між муфелем і кожухом і збільшити теплообмін за рахунок конвекції і теплопровідності газового зазору. Внаслідок того, що шлях руху повітря менше, воно не нагрівається до температури муфеля, що має місце в існуючих ковпаках повітряного охолодження, і в свою чергу не нагріває внутрішню поверхню кожуха охолоджувального пристрою до температури муфеля, що виключає можливість утворення двох паралельних поверхонь з однаковою температурою, і забезпечує теплообмін випромінюванням від муфеля до кожуха, що значно підвищує швидкість охолодження садки. Висота розташування патрубків вентиляторів вибирається залежно від садки і діаметра рулонів, таким чином, щоб температура повітря, що залишає кільцевий зазор, не була рівною температурі муфеля, що має місце в області від $1/3$ до $2/3$ висоти муфеля. До переваги даної конструкції охолоджуючого пристрою слід також віднести і те, що нагріте повітря викидається на більшій відстані від кранівників, що покращує умови їх праці.

Розглянемо розгортку внутрішньої поверхні кожуха охолоджуючого пристрою, що забезпечує рівномірне заповнення рухомим повітрям кільцевого зазору. На внутрішній поверхні кожуха приварені ребра висотою $1/3-2/3$ величини зазору. Вони розташовані рівномірно з розбивкою по колу на інтервали $15-30^\circ$, причому початок і закінчення кожного ребра зміщені відносно один одного на $60-90^\circ$, а закінчення не доходить до рівня отворів відвідних патрубків на $50-500$ мм.

Переваги даного пристрою полягають в наступному. Повітря кільцевими зазорами рухається не відразу до патрубків, а змушене більш рівномірно заповнити кільцевий зазор, причому приварені ребра подовжують його шлях, що також призводить до поліпшення процесу теплообміну між муфелем і повітрям, яке його охолоджує.

Так само слід розглянути розгортку внутрішньої поверхні кожуха охолоджувального пристрою, що забезпечує інтенсифікацію теплообміну на його поверхні. До поверхні кожуха зверху і знизу відвідних отворів приварені по два ряди ребер - верхній і нижній, розташованих симетрично по осі отворів патрубків один над іншим на відстані один від одного і від краю кожуху, що дорівнює $1/10$ висоти муфеля. Кожне ребро складається з двох відрізків, що утворюють між собою кут $120-150^\circ$, причому довжина нижнього відрізка становить $0,5-0,7$ довжини $1/4$ кола муфеля, а відрізки верхнього ряду в два рази коротше.

Перевага даного пристрою полягає в тому, що він забезпечує турбулізацію повітряного потоку всередині зазору між муфелем і кожухом, що призводить до збільшення інтенсивності теплообміну і прискорення процесу охолодження садки.

Зазначені переваги способу охолодження металу в ковпаковій печі дозволять скоротити тривалість періоду охолодження, підвищити продуктивність одного стенду, скоротити витрату електроенергії і захисного газу.

Таблиця 2.6 - Холодильники в ковпаковій печі

Площа поверхні теплообміну, м ²	Середній коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² К)	Температура охолоджуючої води, °С	Витрата охолоджуючої води, м ³ /с
52,000	20,000	15	2,4

2.5 Автоматизація процесу відпалу

Перемикання регулювання нагрівального на підмуфельний простір.

Коли фактична температура подмуфельного простору \geq його заданої, відбувається перемикання регулювання з нагрівального на підмуфельний простір. Якщо фактична температура нагрівального простору вище заданої на ≥ 10 ° С або фактична температура підмуфельного простору менше заданої на ≥ 15 ° С, відбувається перемикання на регулювання нагрівального простору.

Перемикання з безперервного на Вкл-Викл-регулювання відбувається тоді, коли:

- фактична температура нагрівального простору вище заданої на ≥ 10 ° С і на моторно-регулювальному клапані досягнута позиція "хв. Потужність нагрівання" або - фактична температура підмуфельного простору вище заданої на ≥ 4 ° С і досягається позиція мінімальна потужність нагріву на моторно-регулювальному клапані

або

- фактична температура підмуфельного простору вище заданої на ≥ 7 ° С.

Перемикання регулювання Вкл-Викл-на безперервне відбувається тоді, коли:

- фактична температура нагрівального простору нижче заданої на ≥ 15 ° С;
- фактична температура підмуфельного простору нижче заданої на ≥ 6 ° С.

Моторно-регулювальна заслінка повітря для горіння відкривається тільки при безперервному регулюванні, і якщо задіяний регулятор нагрівального або піддуфельного простору посилає імпульси на відкриття та закривається відповідного тоді, коли задіяний регулятор посилає імпульси на закриття.

Графік регулювання температурного режиму наведено на рисунку 2.8.

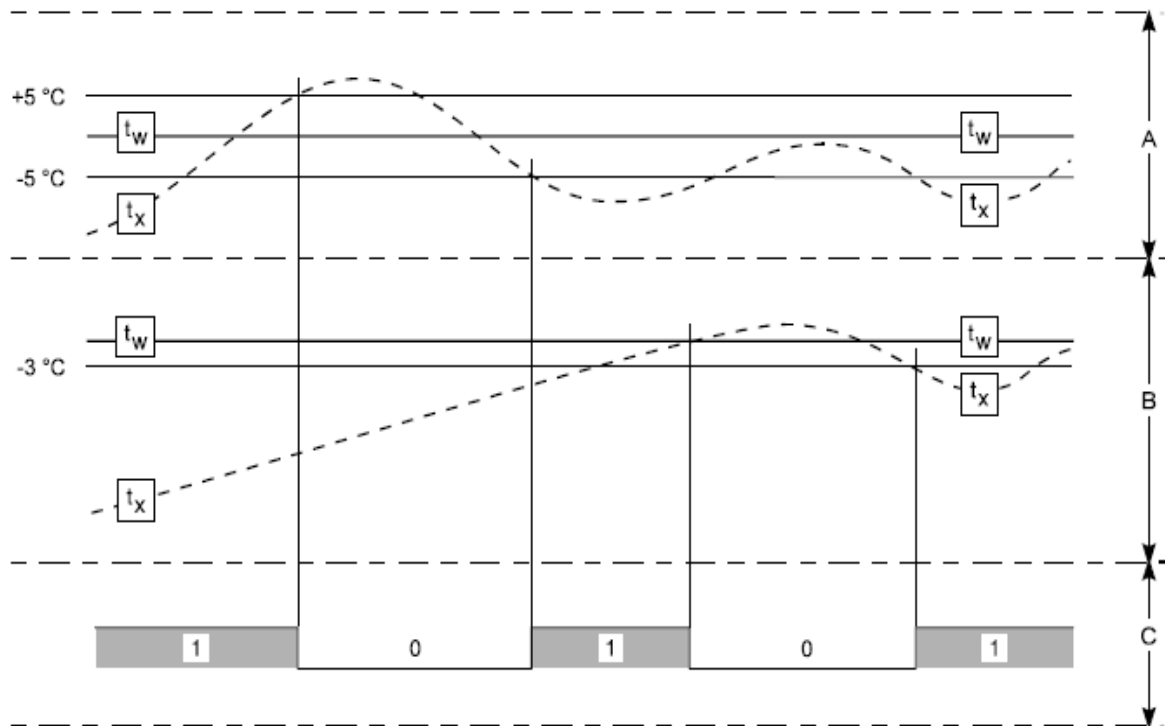


Рисунок 2.8 – Графічне зображення регулювання температури в нагрівальному та піддуфельному просторі ковпакової печі

A – нагрівальний простір; B – піддуфельний простір;

C – нагрівальний пристрій (0 – вимкнений; 1 – ввімкнений);

t_w – задана температура, °C; t_x – фактична температура, °C.

Економія палива (природного газу) за рахунок більш точного регулювання під час нагріву у печі становить :

$$\Delta V = 136/700 \cdot (5-3) = 0,389 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Показники економії ПЕР на 1 т садки та на обсяг відпалу у термічному відділенні ЦХП-1, що становить 15 тис тон на місяць та 180 тис тон на рік наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Очікувана економія ПЕР в результаті впровадження заходів щодо підвищення енергоефективності ковпакових печей

Захід	Етап циклу термообробки, коли відбувається економія ПЕР	Вид ПЕР, за яким очікується економія, одиниці вимірювання	Питомий показник економії на 1 т садки, од.вим./т	Річний показник економії, од.вим.
Використання РКК; зміна схеми подачі захисного газу	нагрів	природний газ, м ³	2,63	473400
		електроенергія, кВт·год	0,213	38340
Встановлення рекуператорів	нагрів	природний газ, м ³	1,666	381060
Імпульсне охолодження	охолодження	електроенергія, кВт·год	0,9644	173592
		охолоджуюча вода, м ³	2,104	378720
Система регулювання температури	нагрів	природний газ, м ³	0,36	64800
	відпал		0,26	46800

За час нагріву, що дорівнює 5 годин, економія природного газу:

$$\Delta V_{II} = 0,389 \cdot 5 = 1,943 \text{ м}^3.$$

Економія палива (природного газу) за рахунок більш точного регулювання під час відпалу у пічі становить :

$$\Delta V = 136/700/2 \cdot (3-1,5) = 0,146 \text{ м}^3/\text{год.}$$

За час відпалу, що дорівнює 10 годин, економія природного газу:

$$\Delta V_{10} = 0,146 \cdot 10 = 1,46 \text{ м}^3.$$

Питома економія природного газу на 1 т садки за рахунок більш точного регулювання:

$$\Delta v = (1,943 + 1,46)/55 = 0,062 \text{ м}^3/\text{т.}$$

3 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМІЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Показники ефективності визначаються співвідношенням заданого та фактичного часу циклу та безпосередньо самого відпалу, враховуючи технологічні операції, зокрема, нагрівання, охолодження, захисну продувку, і визначаються за формулами:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\Sigma_{\text{заданий_час_відпалу}}}{\Sigma_{\text{факт_час_циклу}}}; \quad (3.1)$$

$$\eta_{\text{теор}} = \frac{\Sigma_{\text{заданий_час_відпалу}}}{\Sigma_{\text{заданий_час_циклу}}}; \quad (3.2)$$

$$\eta_{\text{маніп}} = \frac{\Sigma_{\text{факт_час_відпалу}}}{\Sigma_{\text{факт_час_циклу}} - \Sigma_{\text{заданий_час_відпалу}}}; \quad (3.3)$$

$$\eta_{\text{опер}} = \frac{\Sigma_{\text{заданий_час_відпалу}}}{\Sigma_{\text{факт_час_відпалу}}}. \quad (3.4)$$

Результати розрахунку показників ефективності використання ковпакових печей у базовому варіанті та очікувані показники після впровадження запропонованих заходів щодо підвищення енергоефективності наведено в таблиці 3.1.

Як бачимо з таблиці 3.1, ККД покращились за рахунок скорочення часу нагріву та охолодження при незмінних витримках часу на маніпуляції з завантаження та вивантаження стоп металу та часу витримки. Питомі витрати енергоносіїв на тону завантаженої стопи у базовому варіанті складають: умовне паливо – 47 кг у.п./т або 30,54 тис м³; захисний газ – 20 м³/т; електроенергія – 18,6 кВт·год/т; технічна чиста вода – 7 м³/т.

Таблиця 3.1 - Показники ефективності використання ковпакових печей

Показник	Фактичні у базовому варіанті,%	Очікувані після впровадження запропонованих заходів, %
ККД загальний	47	60,5
ККД теоретичний	50	67,04
ККД маніпуляційний	92,6	94,4
ККД операційний	96	96,97

Норми витрат та вартість застосовуваних матеріалів та енергоресурсів наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Норми витрат та вартість застосовуваних матеріалів у базовому варіанті

Назва матеріалу	Норма витрати, од.вимірювання/т	Вартість, грн/ од.вимірювання	Витрати коштів на матеріали на садку, грн
Газ природний , тис м ³	30,54 тис м ³ /т	1940	59,2476
Газ захисний, , тис м ³	20 тис м ³ /т	1151	23,02
Водень, , тис м ³	3,09 тис м ³ /т	8128	25,11552
Азот , тис м ³	0,3 тис м ³ /т	4422	1,3266
Пальниковий камінь, т	0,071 т/т	204	14,484
Зв'язуюче НС-1, т	0,002 т/т	8000 грн/т	16
Плита ШПГТ-45, т	0,005 т/т	9955 грн/т	49,775
Мертель полуокислий МП-1, т	0,006 т/т	473,75 грн/т	2,8425
Електроенергія, кВт·год	18,6 кВт·год/т	1230 грн/МВт·год	22,878
Вода технічна, м ³	7 м ³ /т	7500 грн/тис м ³	0,0525
Всього	-	-	254,47672

Враховуючи, що собівартість кінцевої продукції термічної ділянки ЦХП-1 становить 5300 грн/т, а собівартість сировини (лист х/к), що потрапляє у переділ, становить 4900 грн/т, то неважко обчислити додану вартість переділу.

$$ДВ=5300-4900=400 \text{ грн/т.}$$

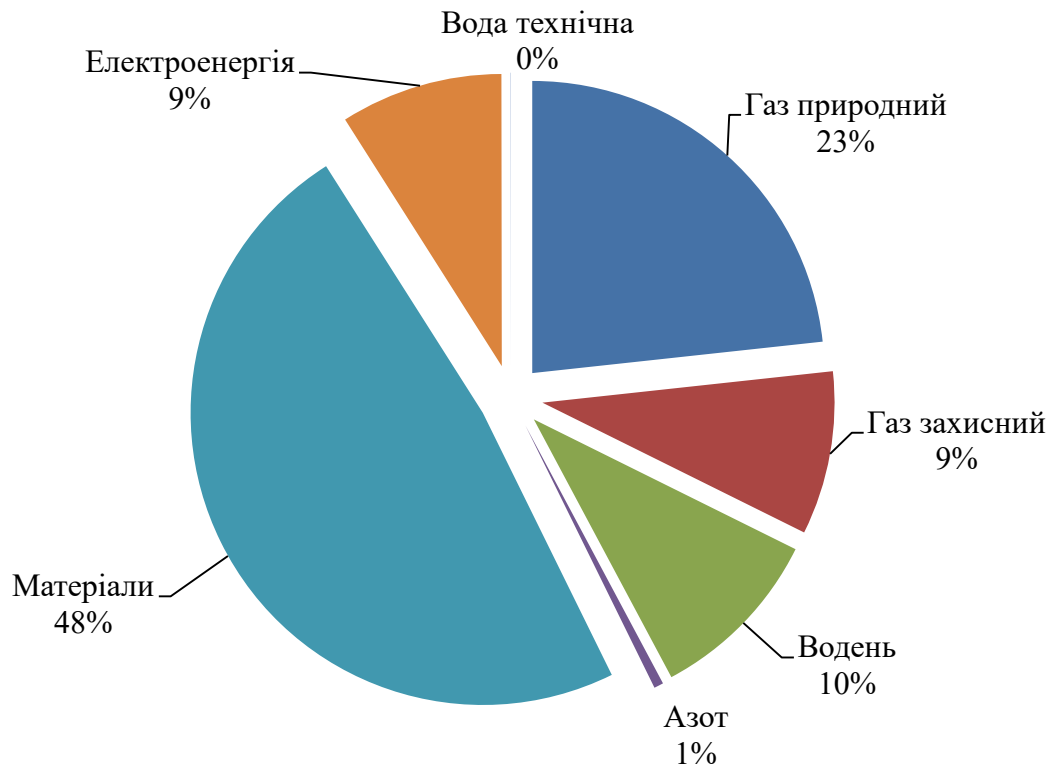


Рисунок 3.1 - Структура собівартості відпалу

З таблиці 3.2 видно, що витрати на матеріали становлять 254,48 грн на тону оброблюваного металу. що складає 52 % витрат переділу.

За даними таблиці 2.7 щодо питомої економії ПЕР обчислимо зниження собівартості переділу, результати наведемо у таблиці 3.3.

За даними зниження споживання ПЕР побудуємо діаграму витрати природного газу, електроенергії та охолоджуючої води, рисунок 3.1, та обчислимо грошовий еквівалент економії за кожним видом ПЕР окремо за заходами.

Таблиця 3.3 - Норми витрат та вартість застосовуваних матеріалів з урахуванням очікуваної економії ПЕР

Назва матеріалу	Норма витрати, од.вимірювання/т	Вартість, грн/ од.вимірювання	Витрати коштів на матеріали на садку, грн
Газ природний , тис м ³	25,624	1940	49,71056
Газ захисний, , тис м ³	20	1151	23,02
Водень, , тис м ³	3,09	8128	25,11552
Азот , тис м ³	0,3	4422	1,3266
Пальниковий камінь, т	0,071	204	14,484
Зв'язуюче НС-1, т	0,002	8000	16
Плита ШПГТ-45, т	0,005	9955	49,775
Фетр МКРФ-100, т	0,001	11735	11,735
Мертель полуокислий МП-1, т	0,006	473,75	2,8425
Пісок річковий, т	0,1	80	8
Кирпич Ш-5, т	0,02	1000	20
Електроенергія, кВт·год	17,4226	123	21,429798
Вода технічна, м ³	4,896	7,5	0,03672
Всього	-	-	209,97169

Як бачимо, зниження собівартості переділу складає:

$$\Delta C = 254,47672 - 209,97169 = 45,05 \text{ грн/т}$$

При річних обсягах виробництва на термічній ділянці 180 тис тон економічний ефект за рахунок зниження собівартості складе:

$$E = 45,05 \cdot 180000 = 8109054 \text{ грн.}$$

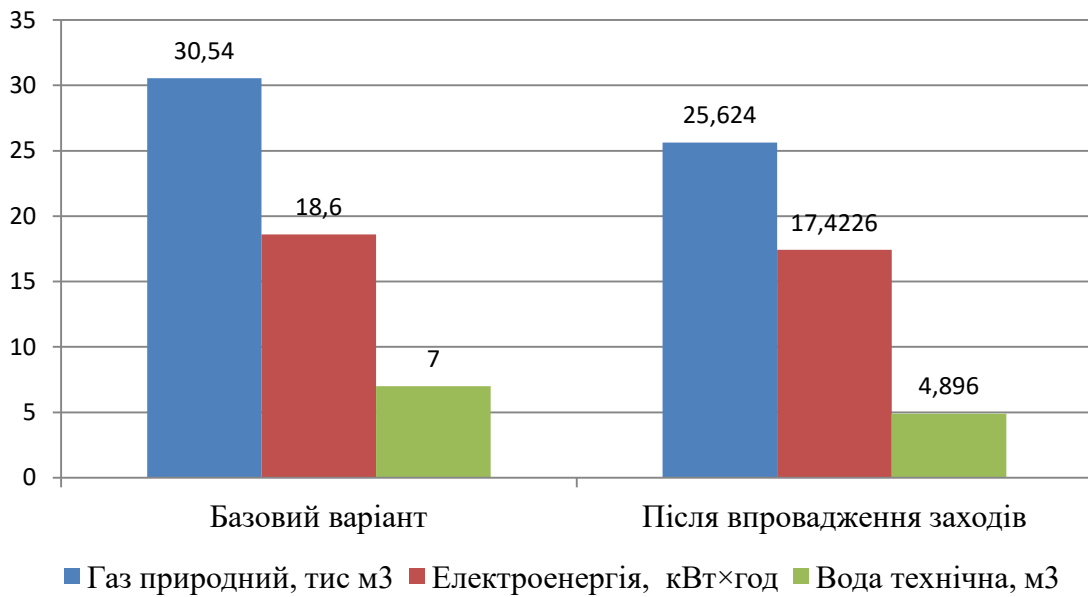


Рисунок 3.2 – Питомі витрати природного газу, електроенергії та охолоджуючої води

Таблиця 3.4 – Показники проектів

Обладнання	Кількість	Загальна вартість, тис. грн.	Вид ПЕР	Очікуваний ефект (економія), тис. грн.	Термін окупності, років
1	2	3	4	5	6
Радіаційно-конвективні кільця	72	1900	ПГ	918,396	1,97
Обладнання для зміни схеми подачі захисного газу	10		ЕЕ	47,158	
Рекуператори	8	1000	ПГ	581,767	1,72
Ковпак імпульсного охолодження	8	1750	ЕЕ	213,518	8,09
			Вода	2,840	

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
Система регулювання температури	10	340	ПГ	125,712	1,57
				90,792	
Комплекс заходів	-	4990	-	1980,184	2,52

Розрахунок показників ефективності проекту, що враховують фактор часу, здійснюється з дотриманням таких логічних припущень:

- з кожним проектом пов'язують конкретний грошовий потік;
- розрахунки здійснюють за роками;
- умовно вважається, що регулярне надходження або витрати коштів відбуваються в кінці чергового періоду (року);
- всі вихідні параметри проекту найчастіше не є однозначно визначеними;
- рівень ризику проекту відповідає середньому рівню ризику підприємства в цілому;
- вартість капіталу постійна і не залежить від обсягу інвестицій в проект;
- існує „досконалий” ринок капіталу,
- проект має ординарні грошові потоки, ординарні грошові потоки складаються з капіталовкладень, здійснених умовно одночасно (за один розрахунковий період або за декілька послідовних років) і наступних щорічних надходжень коштів.

Чиста теперішня вартість – сумарна сьогоднішня вартість чистих грошових потоків, або різниця між сумарною вартістю дисконтованих (приведених) доходів та сумарною вартістю дисконтованих (приведених) витрат.

Для проектів з ординарними грошовими потоками:

$$ЧТВ = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - KB, \quad (3.1)$$

де KB – капітальні витрати, грн.

Чим більше значення чистої теперішньої вартості, тим краще, тим більший розрив між сумарною приведеною вартістю доходів і сумарною приведеною вартістю витрат. Логіка використання даного показника наступна:

– якщо $ЧТВ > 0$, то проект вважається ефективним і його реалізація призведе до зростання добробуту його власників,

– якщо $ЧТВ = 0$ – надходження проекту покривають витрати та не забезпечують зростання вартості підприємства, але водночас реалізація проекту є привабливою з точки зору збільшення обсягів виробництва, розширення ринку тощо,

– якщо $ЧТВ < 0$ – проект збитковий і у випадку його реалізації підприємство зазнає втрат.

Усі розрахунки зводимо в таблицю 3.7, за результатами будемо графік терміну окупності (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 - Дисконтований термін окупності системи заходів

Як видно з розрахунків, проекти з підвищення енергетичної ефективності термічного відділення ЦХП-1 є економічно привабливими при ринковій вартості енергоресурсів.

Таблиця 3.5 – Визначення чистої поточної вартості

№	Назва показників		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Сума
1	Грошовий потік проекту	тис.грн.	-4990	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1980	8 870
2	Грошовий потік накопиченим підсумком	тис.грн.	-4990	-3010	-1030	950	2930	4910	6890	8870	
3	Коефіцієнт дисконтування	0,1	1	1,1	1,21	1,331	1,4641	1,61051	1,77156	1,94872	
4	Дисконтований баланс грошових коштів	тис.грн.	-4990	1800	1636,36	1487,6	1352,37	1229,42	1117,66	1016,05	4 649,47
5	Баланс грошових коштів накопиченим підсумком	тис.грн.	-4990	-3190	-1553,6	-66,03	1286,33	2515,76	3633,42	4649,47	
6	Термін окупності з урахуванням дисконтування	років	3								

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Об'єктом дослідження є термічне відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь». Поблизу є виробничі приміщення з підвищеним рівнем вібрації та шуму, а також високі дерева, які закривають небосхил, зменшуючи природну освітленість.

У приміщенні розташовано 4 персональних комп'ютера, принтер, сканер, розміщено 4 письмових столів, шафа для зберігання документів.

В приміщенні на людину можуть негативно впливати наступні фактори:

1) шкідливі:

- підвищена або знижена температура повітря;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищений рівень шуму;
- статична електрика;

2) небезпечні:

- небезпека ураження електричним струмом;

3) психофізіологічні:

- статичні, фізичні навантаження та недостатня рухома активність;
- нервово-емоційне напруження;
- розумове напруження.

Біологічні та хімічні фактори в даному приміщенні відсутні.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів для робочого місця приміщення представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника приміщення ПАТ «Запоріжсталь».

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас безпеки – озон	0,1	0,1				40
	II клас безпеки						
	III-IV клас безпеки – оксиди азоту	5	2				40
2	Пил, фіброгенної дії, мг/м ³	4	4				50
3	Шум, дБА	50-60	60				75
4	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °C	22-24	24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,2				100
	- відносна вологість повітря, %	40-60	50				100
5	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Приміщення відноситься до 1 категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги [21]: оптимальна температура повітря – 22 °С (допустима – 21-25 °С), оптимальна відносна вологість – 40-60 % (допустима – не більше 75%), швидкість руху повітря не більш 0,1 м/с.

Для створення і автоматичної підтримки в приміщенні оптимальних значень температури та вологості повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер є вентиляційною установкою, яка за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища [21].

При виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 лк і 300 лк відповідно. При цьому все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога [22].

У зв'язку з тим, що природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці має застосовуватися також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають в міру необхідності, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

Додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типа ЛБ, ДРЛ, ЛБХ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями [22].

Тривала дія шуму високої інтенсивності призводить до патології

слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що веде до виробничих помилок.

Високий рівень шуму створюється в приміщенні друкованими пристроями, розмножувальною технікою, обладнанням для кондиціонування повітря та вентиляторами систем охолодження.

Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати 60 дБА. Для того, щоб домогтися цього рівня шуму рекомендується застосовувати звукопоглинаюче покриття стін та екранування робочого місця.

Також для зниження шуму під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, – прокладки з м'якої гуми, войлоку, завтовшки 6-8 мм. Кріплення прокладок можливо шляхом приклейки їх до опорних частин. Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей.

Основним джерелом електромагнітного випромінювання та електричного поля є дисплеї (монітори). Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що несприятливо впливають на здоров'я працівника. Електромагнітне поле має електричну і магнітну складову. Вважається, що магнітна складова викликає велику реакцію, ніж електрична.

Персональний комп'ютер (ПК) є джерелами таких випромінювань як:

- м'якого рентгенівського;
- ультрафіолетового 200-400 нм;
- видимого 400-700 нм,
- ближнього інфрачервоного 700-1050 нм;
- радіочастотного 3 кгц-30Мгц;
- електростатичних полів.

Ультрафіолетове випромінювання корисне в невеликих кількостях, але у великих дозах приводить до дерматиту шкіри та головного болю. Інфрачервоне випромінювання приводить до перегріву тканин людини (особливо хрусталика

ока), підвищенню температури тіла. Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більш 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В. При підвищеному рівні напруженості полів варто скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви на протязі півтори годин роботи і, звичайно ж, застосовувати захисні екрани. Захисний екран, виготовлений із дрібної сітки або скла, збирає на собі електростатичний заряд. Для зняття заряду екран монітора заземлюють.

Може виникнути небезпека по рівнях напруженості електромагнітного поля (ЕМП). На відстані 5-10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м по електричній складовій.

Для безпечної роботи на ПК необхідно перебувати на відстані не менше 50 см від екрана дисплея. Для зниження впливу всіх видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

На протязі роботи на корпусі комп'ютера накопичується статична електрика. На відстані 5-10 см від екрана напруженість електростатичного поля складає 60-280 кВ/м, тобто в 10 разів перевищує норму 20 кВ/м. Для запобігання утворення та захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття.

Для підвищення працездатності, одним із головних чинників є правильно організоване робоче місце в приміщенні.

Оскільки кожне робоче місце оснащено ПК, то в приміщенні має забезпечуватися підтримання оптимальної робочої пози з відповідними ергономічними характеристиками. Результати дослідження виконання заданих умов представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Виконання умов оптимальної робочої пози за ергономічними характеристиками

Параметри	Нормативна ергономічна характеристика	Виконання нормативу
Ступні ніг	На підлозі або на підставці для ніг	Ступні знаходяться на підлозі
Стегна	В горизонтальній площині	Норматив виконується
Передпліччя	Вертикально	Норматив виконується
Лікті	Під кутом 70-90 до вертикальної площини	Лікті працівників знаходяться під кутом приблизно 70-80
Зап'ястя	Зігнуті під кутом не більше 20 відносно горизонтальної площини	Норматив виконується
Нахил голови	15-20 відносно вертикальної площини	Нахил голови у різних працівників коливається від 15 до 45 градусів

Оскільки користування ПК є невід'ємною функцією основного виду діяльності, вони розміщуються на основному столі кожного працівника. Використання периферійних приладів (сканеру) є періодичним, тому вони доцільно розміщені на приставному столі.

Кут між поздовжніми осями основного та приставного столів складає 120 градусів. Висота робочої поверхні столу для ПК знаходиться у необхідних межах і складає 800 мм. Ширина робочого столу забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля. Робочі столи для ПК в досліджуваному приміщенні не обладнані підставкою для ніг.

Основні нормативні параметри для сидінь та їх дотримання у приміщенні представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Дотримання нормативів параметрів сидінь

Параметр	Необхідна характеристика	Виконання необхідних вимог
Регулювання елементів сидіння для лінійних розмірів	15-20 мм	Виконується: 20 мм
Регулювання елементів сидіння для кутових розмірів	2-5 мм	Виконується: 5 мм
Зусилля під час регулювання	20 Н	Виконується: 20 Н
Ширина та глибина сидіння	не менше 400 мм	Виконується
Висота поверхні сидіння	має регулюватися в межах 400-500 мм	Виконується: регулюється в межах 500 мм
Кут нахилу поверхні сидіння	від 15 вперед до 5 назад	Виконується
Поверхня сидіння	пласка, передній край - закруглений	Виконується
Висота спинки сидіння	300 \pm 20мм	Не виконується: висота більше 300 мм
Ширина спинки сидіння	не менше 380 мм	Виконується
Радіус кривизни в горизонтальній площині	400 мм	Виконується
Відстань від спинки до попереднього краю сидіння	260 – 400 мм	Виконується: становить 350 мм

Робочі сидіння персоналу становлять крісла, які мають необхідні елементи: сидіння, спинку, стаціонарні або змінні підлокітники. У конструкцію сидіння не введені додаткові елементи. Робочі сидіння працівників, як користувачів ПК, є підйомно-поворотними, регулюються за висотою, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників.

Регулювання кожного параметра є незалежним, ступінчатим, має надійну фіксацію.

Поверхні сидіння, спинки та підлокітників є напівм'якими, з ненаелектризованим, повітронепроникним покриттям та забезпечує можливість чищення від бруду.

Монітор та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не більше 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів [23]. В приміщенні монітори та клавіатура ПК знаходяться на відстані приблизно 500-600 мм від очей. Клавіатура розміщується на столах не відповідно нормі – 100-300 мм від краю, а розташовується майже на краю стола на всіх робочих місцях. Кут нахилу клавіатури становить приблизно 5 градусів, що відповідає нормі.

Повна видимість монітору не порушується іншими пристроями введення-виведення інформації, адже вони розташовані на окремому приставному столі.

4.3 Заходи з електробезпеки

Приміщення згідно ПУЕ можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе, безпилоче, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів) [24].

Основними споживачами електроенергії в приміщенні є система штучного освітлення, 4 персональних комп'ютера, 1 кондиціонер, допоміжні пристрої (принтер, сканер). Напруга, яка використовується для роботи електричних приладів складає 220 В.

Основними причинами поразки працівника приміщення електричним струмом на робочому місці можуть бути: поява напруги дотику на металевих конструктивних частинах комп'ютера у результаті пошкодження ізоляції; несправність розетки; пошкодження ізоляції дротів комп'ютера; порушення

правил експлуатації техніки; заборонене використання електричних приладів, таких як електричні плити, чайники, обігрівачі.

Небезпека електричного струму велика, внаслідок чого була розроблена ефективна система по її запобіганню. Основними мірами захисту від поразки електричним струмом є [24]:

- правильне улаштування і експлуатація електричного устаткування;
- електрична ізоляція; усі струмоведучі частини електроустановок повинні мати гарну ізоляцію з урахуванням напруги в ланцюзі;
- захисні пристрої, що забезпечують неприступність для людини елементів, що знаходяться під напругою;
- заземлення елементів устаткування; занулення;
- наявність попереджувальних написів.

При різних несправностях частини електроустаткування можуть виявитися під напругою. Так як людина включається в ланцюг заземлення паралельно, то відбувається розподіл струму відповідно до законів Кірхгофа: струм, що протікає по двом паралельним провідникам прямо пропорційний опорі провідника. Так як опір людини на кілька порядків перевищує опір провідника, то струм, що протікає через людину, буде на кілька порядків менше.

Несправності електричних мереж, устаткування і запобіжних пристроїв можуть призвести до пожеж і вибухів.

Основними мірами профілактики в таких випадках є: щільне приєднання проводів у місцях контакту скручування і з'єднань проводів; застосування захисного заземлення і системи захисного відключення. Захисне відключення виконується на додаток чи замість заземлення. Відключення здійснюється автоматично.

У випадку загоряння проводів необхідно їх знеструмити і погасити за допомогою вуглекислого газу чи покривалами з азбесту.

Для виключення випадків загоряння електропроводки, необхідно застосовувати провідник такого діаметру, при якому не відбувається розігріву. А також не перевантажувати електромережу.

При ураженні людини електричним струмом необхідно застосовувати такі перші міри [24]:

- відключити напругу;
- відтягнути людину від струмоведучих частин устаткування;
- винести на свіже повітря, розстебнути комір;
- викликати лікаря.

4.4 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Будівлю, в якій знаходиться приміщення, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії В, оскільки є горючі (книги, документи, меблі) і важкоспалимі речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху [25].

За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важко горючими листовими, а також плитковими матеріалами. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі можна визначити як другу (II).

Причинами виникнення пожежі в приміщенні можуть бути:

- несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробоя ізоляції;
- використання пошкоджених (несправних) електроприладів;
- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;

- виникнення пожежі внаслідок попадання блискавки в будинок;
- загоряння будівлі внаслідок зовнішніх впливів;
- неакуратне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж в приміщенні використовується вуглекислотний вогнегасник ВВ-5. Для швидкого виявлення та повідомлення про місце виникнення пожежі в будівлі є пожежна сигналізація ЛИПНУВ-1, димові датчики. Для зв'язку використовують телефон чи інші засоби першої зв'язку.

Необхідними заходами для запобігання пожежі є своєчасний ремонт електроприладів, якісне виправлення поломок, не використання несправних електроприладів, протипожежний інструктаж, на якому працівники ознайомлюються з правилами протипожежної безпеки та використання первинних засобів пожежогасіння.

У випадку виникнення пожежі необхідно:

- відключити електроживлення;
- викликати по телефону пожежну команду;
- евакуювати людей із приміщення відповідно до плану евакуації;
- приступити до ліквідації пожежі.

При загоранні одягу на людині необхідно збити полум'я. При опіках обов'язково необхідно надати медичну допомогу. До надання медичної допомоги треба обережно звільнити потерпілого від одягу і накрити місця опіків стерильною пов'язкою. Не можна доторкатися руками до опеченого місця, скривати пухирі, обривати приставші до шкіри шматки одягу, обмивати або змазувати поранену поверхню будь-якими розчинами або мазями. Це може робити тільки лікар у відповідних умовах.

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації людей з приміщень. Евакуація проводиться по заздалегідь спланованих шляхах. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях.

4.5 Розрахунок загального освітлення робочого приміщення

Природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, тому що поблизу є високі дерева, які закривають небосхил, зменшуючи природну освітленість. Тому на робочому місці застосовується також штучне освітлення.

У приміщеннях висотою до 6 м рекомендується застосовувати люмінесцентні лампи, основною якістю яких є висока світловіддача (до 75 лм/вт), термін служби до 10 000 годин, хороша передача кольору, низька температура.

У якості джерела штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи типу ЛТБ-40-4 (люмінесцентна лампа тепло-білого кольору) по чотири лампи в кожному світильнику, які попарно об'єднуються в світильники та розташовуються над робочими поверхнями. У приміщенні розміщено 4 світильника.

При роботі з ПК категорію виконуваних робіт можна віднести до робіт дуже високої точності з присвоєнням розряду Пв.

Необхідно визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості E_{\min} і потужність освітлюваної установки.

У відповідності з розрядом зорових робіт освітленість робочої поверхні приймається $E_{\min} = 300-500$ лк.

Визначимо індекс приміщення за наступною формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{(A + B) \cdot h} \quad (4.1)$$

де A і B – довжина та ширина приміщення, м;

h – висота підвісу світильників над розрахунковою поверхнею, м.

Довжина приміщення – 8 м, ширина – 6 м, висота – 3,5 м.

Розрахункова висота:

$$h = H - h_p, \quad (4.2)$$

де H - геометрична висота приміщення;

h_p - висота робочої поверхні, $h_p = 1,0$ м.

Тоді

$$h = 3,5 - 1 = 2,5 \text{ м,}$$

$$i = \frac{6 \cdot 8}{2,5 \cdot (6 + 8)} = 1,4.$$

Необхідний світловий потік ламп світильників:

$$F = \frac{E \cdot k_z \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (4.3)$$

де E – найменша нормована освітленість, $E = 500$ лк, так як розряд зорових робіт дорівнює Ів;

k_z – коефіцієнт запасу;

S – освітлювана площа приміщення, м²;

z – поправочний коефіцієнт для переходу від найменшої освітленості до середньої;

N – кількість світильників;

η – коефіцієнт використання, тобто відносна доля потоку лампи, падаюча на поверхню S .

Коефіцієнт запасу k враховує запиленість приміщення, зниження світлового потоку ламп в процесі експлуатації. Для виробничого приміщення з люмінесцентними лампами $k = 1,2$.

Коефіцієнт мінімальної освітленості z характеризує нерівномірність освітлення. Він є функцією багатьох змінних і найбільшою мірою залежить від відстані між світильниками до розрахункової висоти (L / h). При розташуванні світильників в лінію (ряд), якщо витримано найвигідніше відношення L / h , для ЛТБ рекомендується приймати $z = 1,1$.

Коефіцієнт використання світлового потоку η є складною функцією, яка залежить від типу світильника, індексу приміщення і коефіцієнта відображення стелі, стін і підлоги.

Згідно з умовою коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення: стелі $\rho_{стел} = 70\%$, стін $\rho_{стін} = 50\%$, підлоги $\rho_{підл} = 30\%$.

За довідковими таблицями [23] методом інтерполяції знаходимо $\eta = 53,8\%$.

За довідковими таблицями [23] знаходимо для лампи ЛТБ - 40 значення світлового потоку $F = 2450$ лм.

Освітлювана площа дорівнює площі приміщення $S = 48$ м².

Визначаємо кількість використовуваних світильників N , вважаючи, що кожен світильник містить чотири ($n = 4$) лампи:

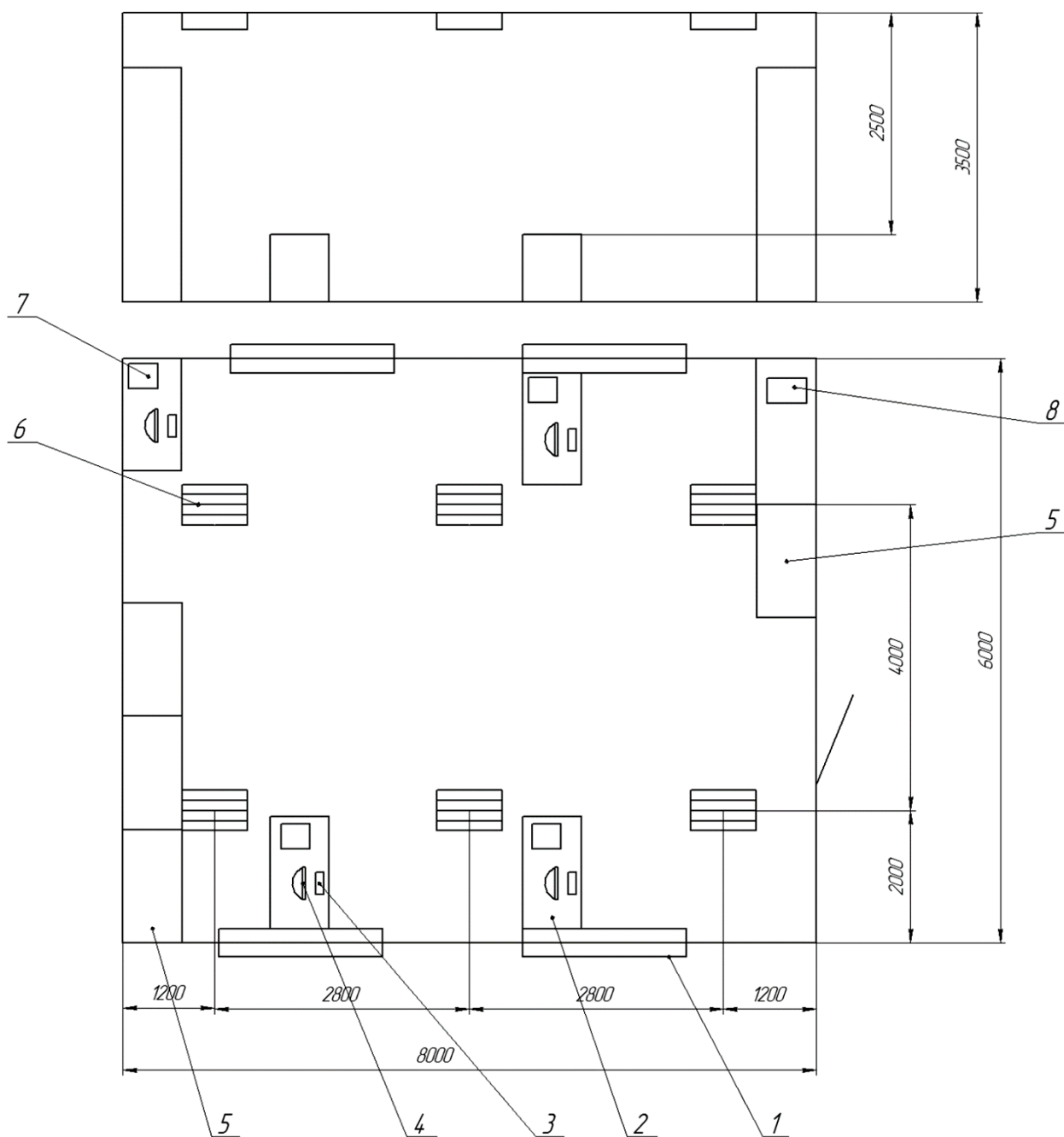
$$N = \frac{E_{\min} \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi_{л} \cdot n \cdot \eta} = \frac{500 \cdot 1,2 \cdot 48 \cdot 1,1}{2450 \cdot 4 \cdot 0,538} = 6.$$

Таким чином, при використанні ламп типу ЛТБ-40-4 необхідно для забезпечення нормованої освітленості кількість світильників $N = 6$.

Найбільш оптимальний варіант розміщення світильників буде при $L1 = B / 2$. Тоді приймаємо в нашому випадку $L1 = 4$ м.

Порівняємо розрахункові дані з наявними в приміщенні. Приміщення має лише 4 світильники з лампами типу ЛТБ-40-4, що не відповідає розрахунковим даним. Отже, штучне освітлення даного приміщення не відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2006 (Природне і штучне освітлення) і вимагає поліпшення.

Для поліпшення умов праці, щоб штучне освітлення даного приміщення відповідало вимогам ДБН В.2.5-28-2006 варто додати ще 2 світильники (рисунок 4.1).



1 – вікно; 2 – робочий стіл; 3 – клавіатура; 4 – монітор; 5 – шафа;
6 – світильники; 7 – принтер; 8 - сканер

Рисунок 4.1 – Остаточний варіант розміщення світильників

ВИСНОВКИ

Для відпалу металу в середовищі сухого водню в термічному відділенні ЦХП-1 встановлений блок № 14 газових ковпакових печей типу NOg 170/535 St-H₂-B фірми "Эбнер". До складу блоку входить 18 стендів, 10 нагрівальних ковпаків та 8 охолоджуючих ковпаків повітряно-водяного охолодження.

Сучасні ковпакові пічні установки HICON/H₂ є більш енергоефективними: в них вивільнювана під час процесу охолодження тепла енергія використовується для попереднього нагрівання нової, ще холодної садки на іншому стенді, є попередній підігрів повітря для горіння потужним рекуператором. За рахунок цього скорочується витрата природного газу приблизно на 8 % на тонну оброблюваного матеріалу. Вторинне використання водню забезпечує економію водню до 40 %. Але нові печі дуже дорогі.

Споживання основних енергоресурсів піччю у процесі відпалу відстежується програмою: це паливний газ, H₂ та N₂, та електроенергія на привід вентилятора. Під час нагріву та відпалу, які складають 5 та 10 годин, споживається природний газ та електроенергія, під час охолодження, який складає 9 годин – електроенергія та технічна вода. Програмою також відстежуються показники питомих витрат енергоносіїв на тону завантаженої стопи: 74% - природний газ, 16% - захисний газ, електроенергія – 10%. Витрати на енергоресурси складають 52% собівартості переділу, тому розробка заходів з підвищення енергоефективності для ковпакових печей є актуальною.

Складовими частинами печі є нагрівальний ковпак, стенд, муфель, конвекторні кільця, охолоджуючий ковпак, вентиляна стійка.

Основними напрямками вдосконалення роботи електричних ковпакових печей є скорочення питомих витрат енергоносіїв та підвищення продуктивності печей. Складений тепловий баланс ковпакової печі дозволив виявити неоднорідність нагріву металу у рулонах та великі втрати теплової енергії на

розігрів садки під час нагріву. Тому для економії палива в ковпакових печах запропоновано в дипломному проекті використання додаткових рекуператорів для підігріву повітря до 350-390 ° С, що знижує витрату палива на 17% тобто на 144,84 м³.

Площа поперечного перерізу рекуператора 10,6 м², довжина 2,36 м та корисна висота рекуператора при 15 трубах 3,44 м.

Для інтенсифікації теплообміну між нагрівальним ковпаком і муфелем запропоновано використовувати конвекторні кільця особливої конструкції, за допомогою яких відбувається зміна схеми подачі захисного газу: газ подається циркуляційним вентилятором не по периферії, а по центру рулону і через конвекторні кільця викидається струменями на стінки захисного муфеля. При цьому різко збільшується тепловіддача на внутрішній поверхні муфеля, що призводить до скорочення часу нагріву на 21,3% і відповідно до зменшення витрати палива на 2,63 м³/т та електроенергії на 0,213 кВт·год/т.

Тривалість охолодження становить до 40% часу циклу і лімітує цикл відпалу і продуктивність печей. Скорочення тривалості охолодження досягають поліпшенням теплообміну між рулонами і захисним газом, циркулюючим газом і стінкою муфеля, муфелем і навколишнім середовищем.

Скоротити час охолодження запропоновано за допомогою ковпака імпульсного охолодження муфеля, при якому радіаційно-конвективні кільця дозволяють розділити та спрямувати рух охолоджуючого середовища у заданому напрямку. Експериментальні дані, отримані на Магнітогорському металургійному комбінаті, дозволили приблизно обчислити скорочення часу охолодження на 53,58%, що забезпечить економію електроенергії на привід вентилятора 0,9644 кВт·год/т та витрати охолоджуючої води 2,104 м³/т.

Регулювання температури відпалу у діючих печах відбувається автоматично за заданим режимом та його температурною програмою за показами стендової терморпарі в діапазоні ±5°C у нагрівальному просторі або ±3°C у підмуфельному просторі.

Запропоновано перейти на більш сучасне управління печами за допомогою ПЛК Siemens S7 і системи управління процесом " Visual Furnaces 6 ", яке забезпечить економію паливного газу за рахунок більш точного регулювання температури в діапазоні $\pm 3^{\circ}\text{C}$ у нагрівальному просторі або $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ у підмуфельному просторі. Очікувана економія паливного газу становить за час нагріву, що дорівнює 5 годин, $0,389 \text{ м}^3/\text{годину}$, під час відпалу у пічі $0,146 \text{ м}^3/\text{годину}$. Питома економія природного газу на 1 т садки за рахунок більш точного регулювання $0,062 \text{ м}^3/\text{т}$.

За рахунок запропонованих заходів споживання природного газу на 1 т садки знизиться з $30,54$ до $25,624 \text{ м}^3/\text{т}$, електроенергії з $18,6$ до $17,42 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$, охолоджуючої води з 7 до $4,896 \text{ м}^3$ на 1 т садки

Термін окупності рекуператора становить 1,72 року при економії 582 тис. грн, радіаційно- конвективних кілець та обладнання для зміни схеми подачі захисного газу 1,97 року при економії 965 тис. грн. Термін окупності ковпаків імпульсного охолодження 8,09 року при економії 216 тис. грн. Впровадження більш досконалої системи регулювання температури окупиться за 1,57 року. Всі заходи окупляться за 2,52 року, враховуючи, що вартість природного газу для ПАТ «Запоріжсталь» становить зі знижкою $1940 \text{ грн}/\text{тис м}^3$. При ринковому тарифі на природний газ $4800 \text{ грн}/\text{тис м}^3$ термін окупності для комплексу заходів ще знизиться.

Отже, запропоновані заходи є економічно доцільними та дозволять підвищити енергоефективність термічного відділення ЦХП- ПАТ «Запоріжсталь».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бакалін Ю. І. Енергозбереження і енергетичний менеджмент. – К.: Вища школа, 2002. – 207 с.
2. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Технология энергосбережения. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 352 с.
3. ДСТУ 4065-2001. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги. К.: Держстандарт України . – 37 с.
4. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню. К.: Держстандарт України.– 19 с.
5. Сердюк Т. В. Організаційно-економічний механізм енергозбереження в промисловості. К.: Вища школа, 2005. – 131 с.
6. Енергетичний менеджмент/ А. В. Праховник, А. І. Соловей, В.В.Прокопенко и др. – К.: ЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. - 472с.
7. Аптерман В.Н., Двейрин Г.И., Тымчак В.М. Колпаковые печи. - М.: Metallurgizdat, 1964 - 320 с.
8. Аптерман В.Н. Методы ускоренного охлаждения в колпаковых печах для термической обработки рулонов / Сборник трудов «Стальпроекта» №24 - с. 83-85.
9. Ю.Г. Голиков, Б.Г. Подольский, А.В. Тюков и др. Модернизированные установки ускоренного охлаждения рулонов в колпаковых печах. М.: Metallurgiya, 1987. - 346 с.
10. Н.И. Малова, М.П. Мишин, А.М. Беленький и др. Исследование эффективности охлаждения металла под муфелем колпаковой печи с помощью переносной струйной установки // Труды ЦПК ОАО «ММК». - Магнитогорск, 1997 - с. 8-36.
11. Х. Лохнер Колпаковые печи NICON/H₂^R (перевод с немецкого)// Рекламный проспект фирмы «EBNER» - 1996. - 30 с.

12. Стрижко Л.С., Потоцкий Е.П., Бабайцев И.В. и др. Безопасность жизнедеятельности в металлургии - М.: Металлургия, 1996. - с. 3-6.
13. Мастрюков Б.С. Теория конструкции и расчеты металлургических печей. Том II, М.: Металлургия, 1974. - 346 с.
14. Каганов В.Ю., Блинов О.М., Беленький А.М. Автоматизация управления металлургическими процессами. М.: Металлургия, 1994, с. 344-354.
15. Щульц Л.А. Элементы безотходных технологий в металлургии. М.: Металлургия, 1994, с. 152-158.
16. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. - 288 с.
17. Королев А.А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. - М.: Металлургия, 1987. - 264 с.
18. Кривандин В.А., Марков Б.Л. Металлургические печи. - М.: Металлургия, 1977. - 340 с.
19. Тымчак В.М., Гусовский В.Л. Расчет нагревательных и термических печей. - М.: Металлургия, 1983. - 280 с.
20. Металлургическая теплотехника. Миткалинный В.И., Кривандин В.А., Морозов В.А. и др. М.: Металлургия, 1987. - 346 с.
21. Управлений проектами/ Шапиро В. Д., Н. И. Ильин, И. Г. Лукманова, А. М. Немчин, С. Н. Никешин, С. Н. Петрова, К. Г. Романова – СПб.; „ДваТри”, 1996. – 610с.
22. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1984. – 280с.
23. Правила устройства электроустановок. Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640с.
24. Типовые правила пожарной безопасности для промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1976. – 246с.

ДОДАТОК А

Демонстраційні матеріали до захисту дипломної роботи

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМІЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Магістр:	гр. 8.1411з	Гревцев О. О.
Науковий керівник:	к.т.н., доцент	Башлій С.В..

Об'єкт дослідження – енергоспоживання термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

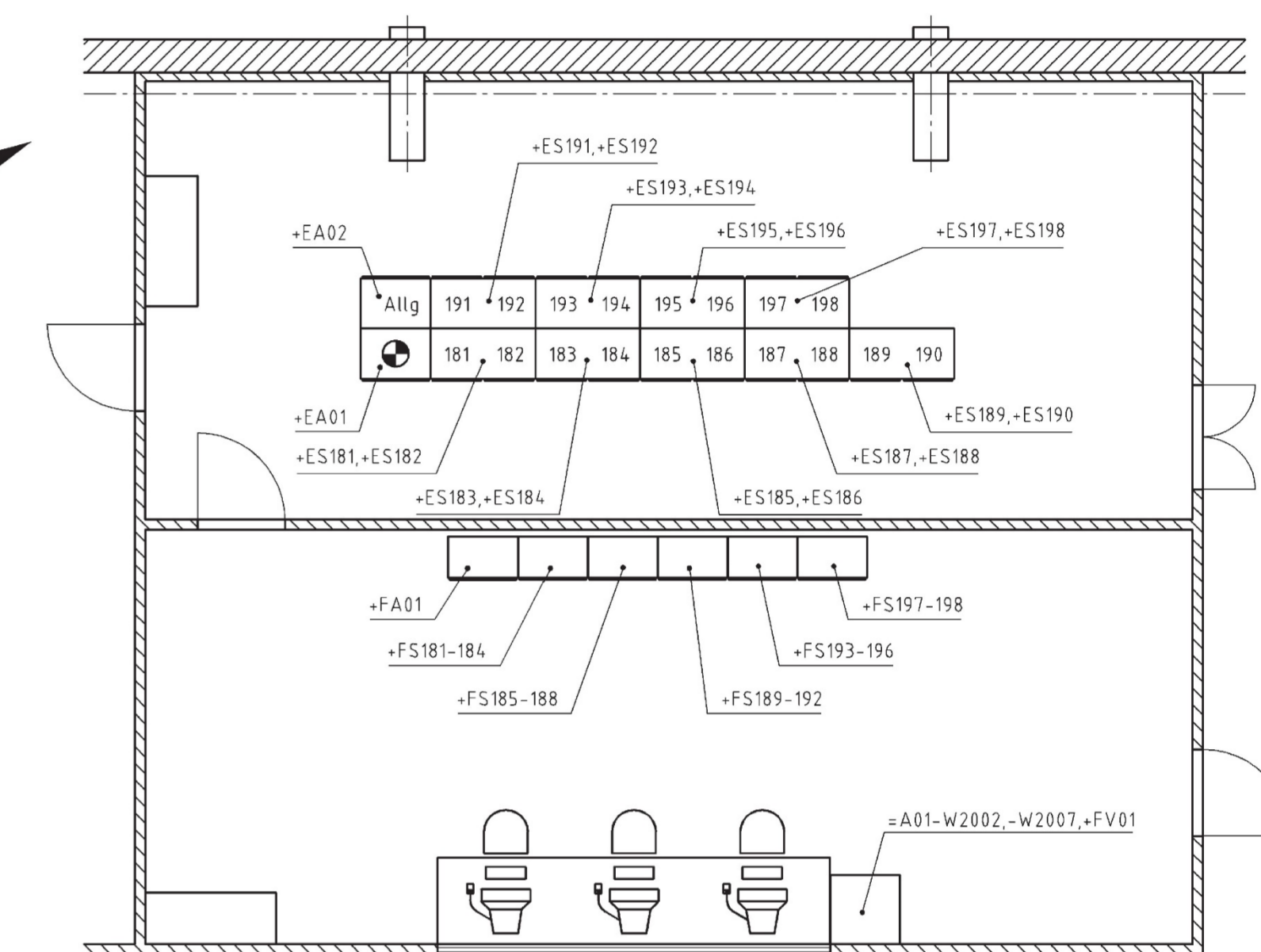
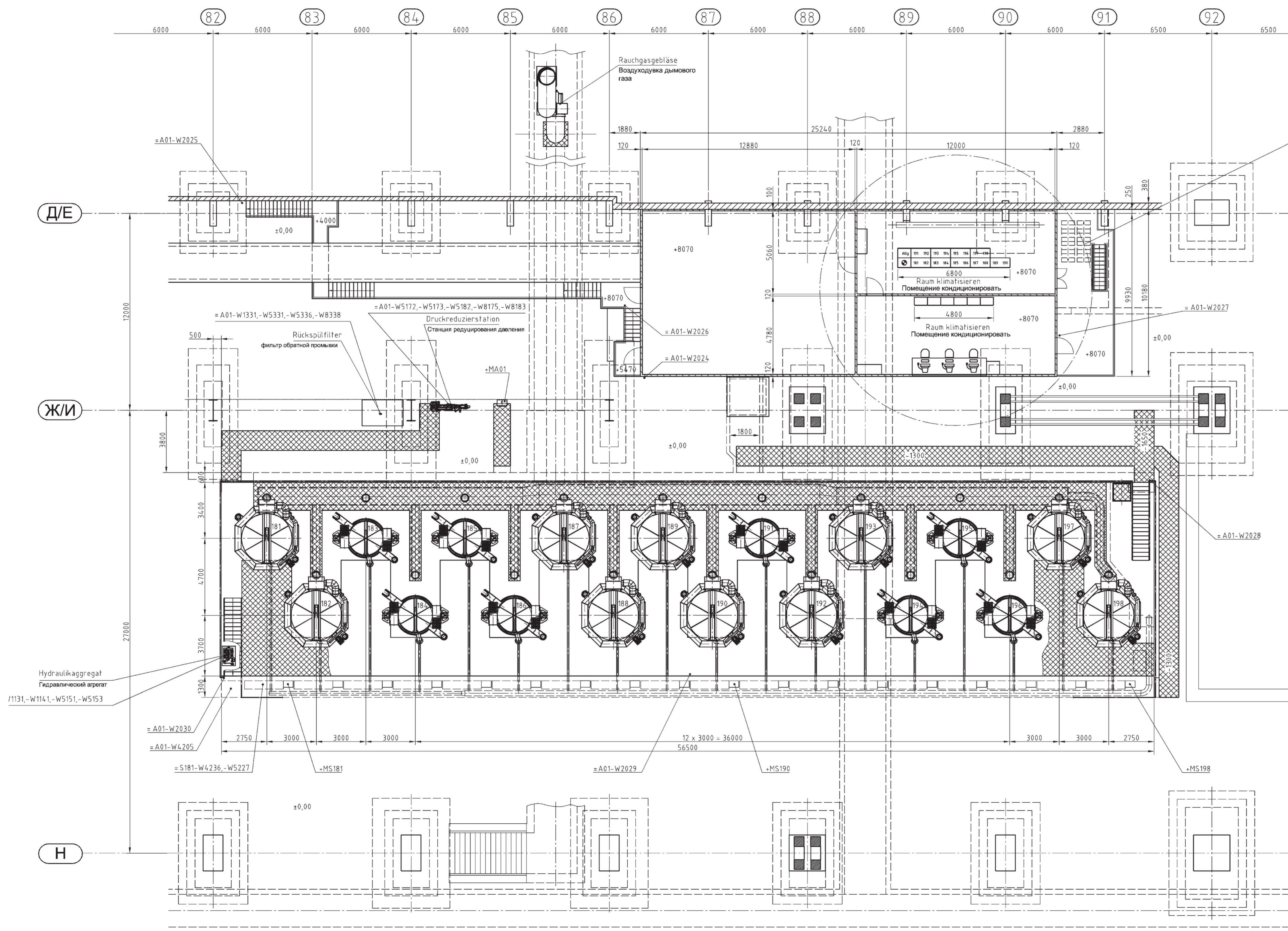
Предмет дослідження – процес а регулювання напруги в міських розподільчих мережах.

Мета дослідження – запропонувати заходи щодо підвищення ефективності енергоспоживання термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь»й на основі аналізу технологічного процесу.

Методи дослідження – аналіз, порівняння, моделювання, статистичні методи.

Завдання роботи – визначити на основі експериментальних даних і аналізу технологічного процесу раціональні заходи щодо підвищення ефективності енергоспоживання термічного відділення прокатного виробництва ПАТ «Запоріжсталь».

ПЛАН ЦЕХУ



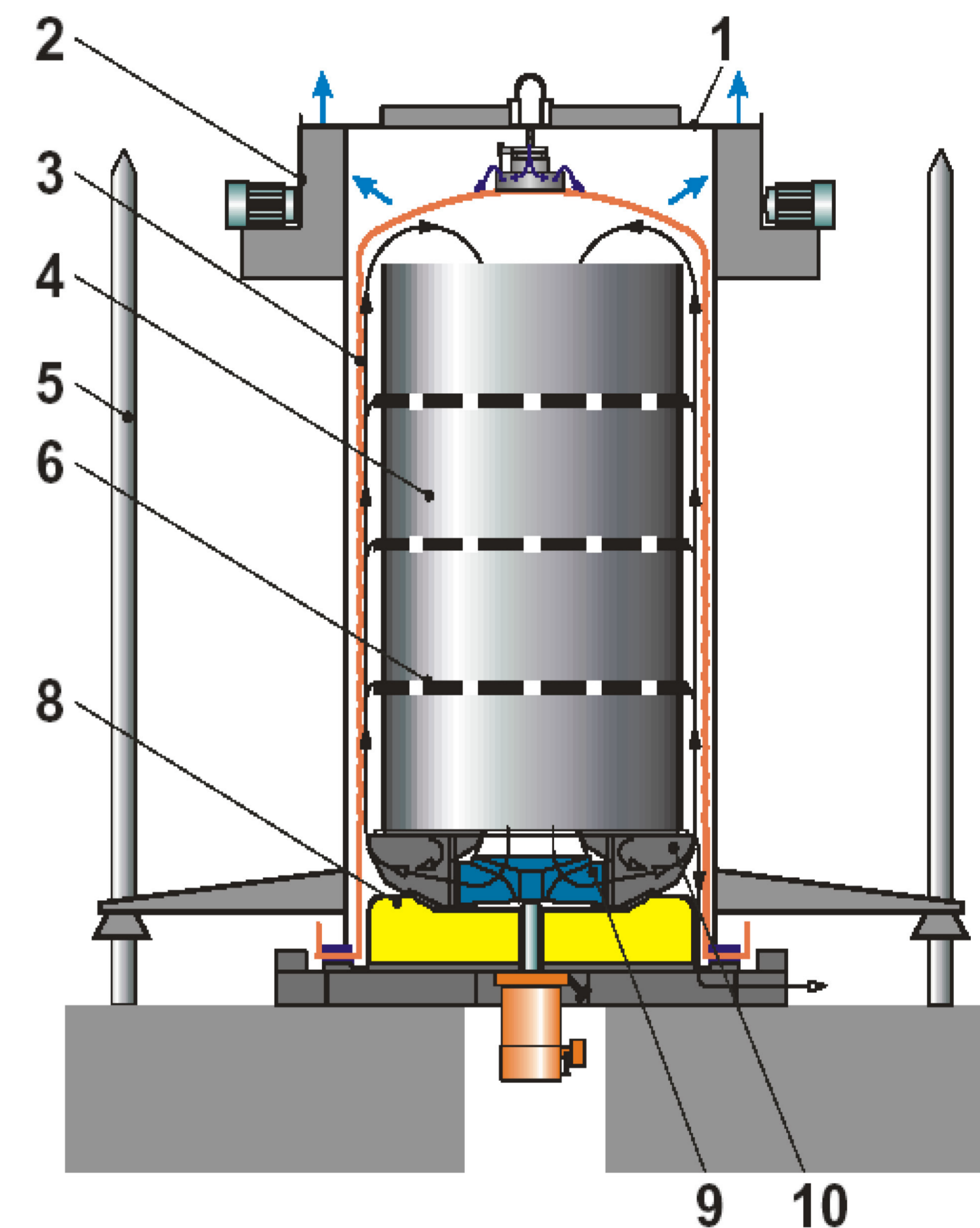
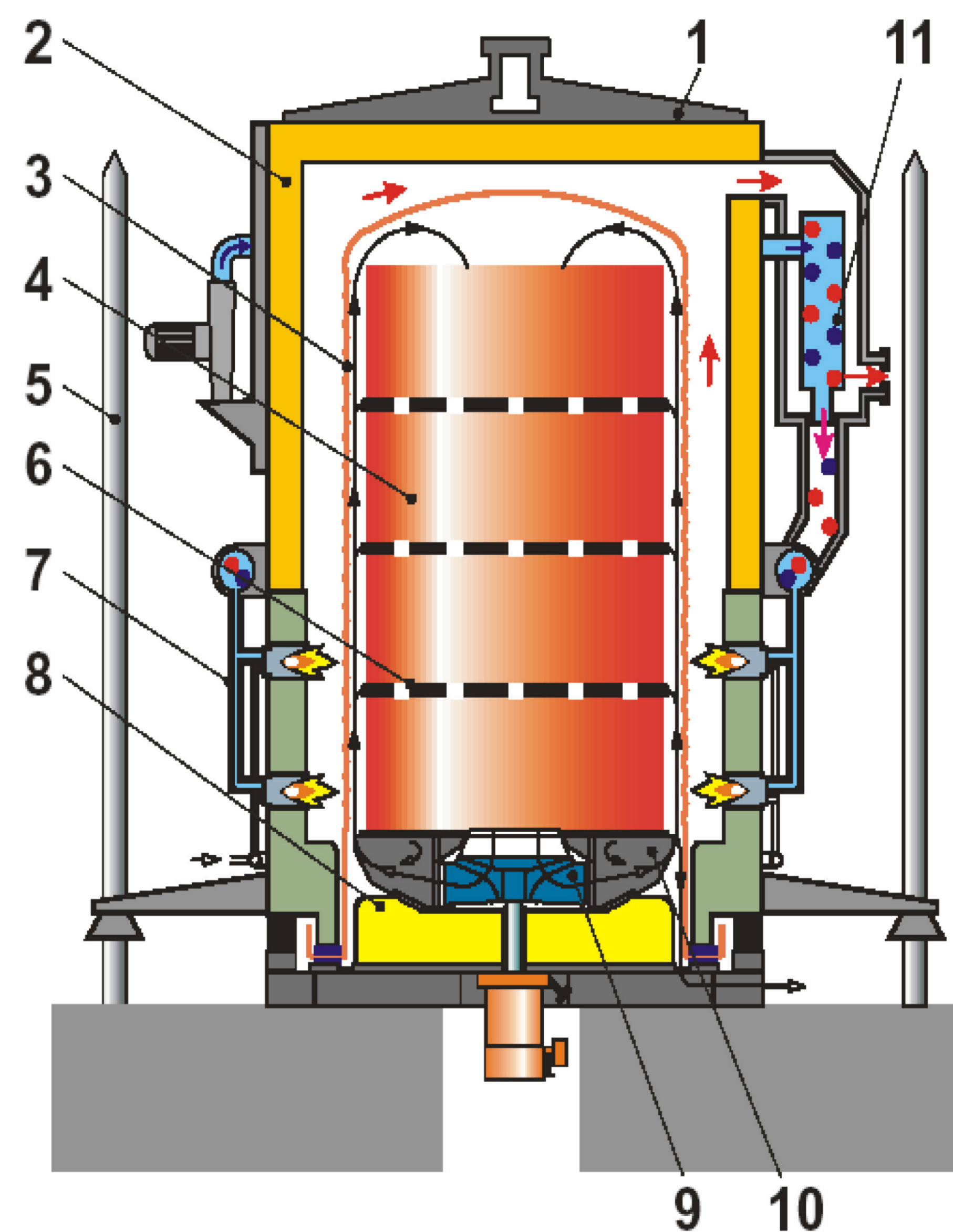
ГАЗОВА КОВПАКОВА ПІЧ ТИПУ NOg 170/535 St-H₂-B "EBNER"

Нагрівальний ковпак

Охолоджуючий ковпак

Склад блоку № 14
термічного відділення ЦХП-1

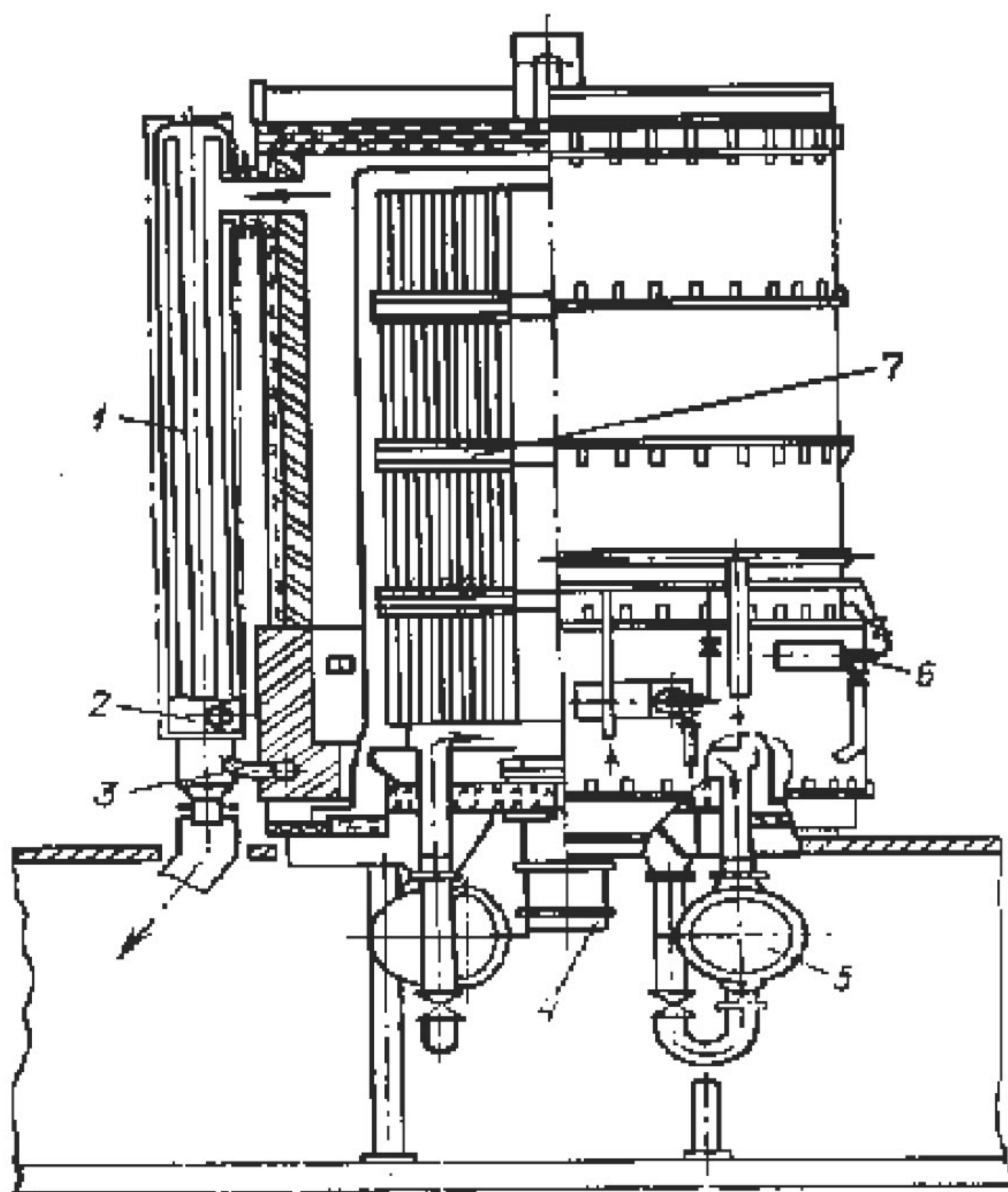
Складова	Кількість
Нагрівальний ковпак	10
Стенд	18
Муфель	18
Вентильна стійка	18
Охолоджуючий ковпак повітряно-водяного охолодження	8
Установка для регулювання тиску захисних середовищ - азоту і водню	1
Електричний розподільчий щит	1
Гідроагрегат для притискних пристроїв фланця муфеля	1
Система оборотного водоохолодження з теплообмінником	1
Механічні кліщі на мостових кранах з напрямними кронштейнами для завантаження і розвантаження рулонів	2
Трьохплічковий захват для перенесення муфельів і конвекторних кілець	2



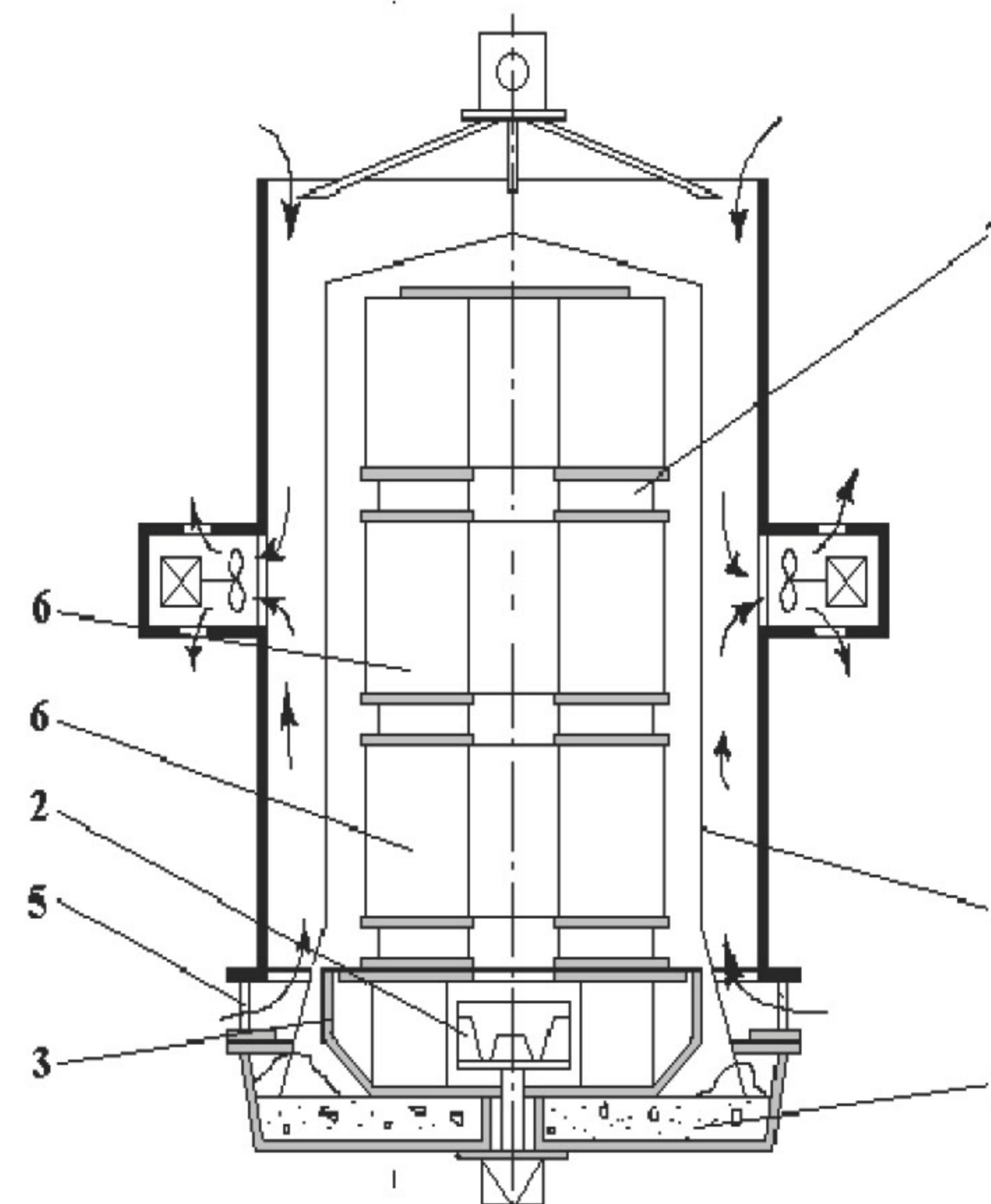
1 – корпус печі; 2 – футеровка; 3 – муфель;
4 – садка; 5 – напрямна стійка;
6 – конвекторне кільце; 7 – трубна розводка печі; 8 – стенд відпалу; 9 – стендовий вентилятор; 10 – направляючий апарат; 11 – рекуператор

1 – корпус охолоджуючого ковпака;
2 – вентилятор; 3 – муфель; 4 – садка;
5 – напрямна стійка; 6 – конвекторне кільце;
8 – стенд відпалу; 9 – вентилятор стенду;
10 – направляючий апарат

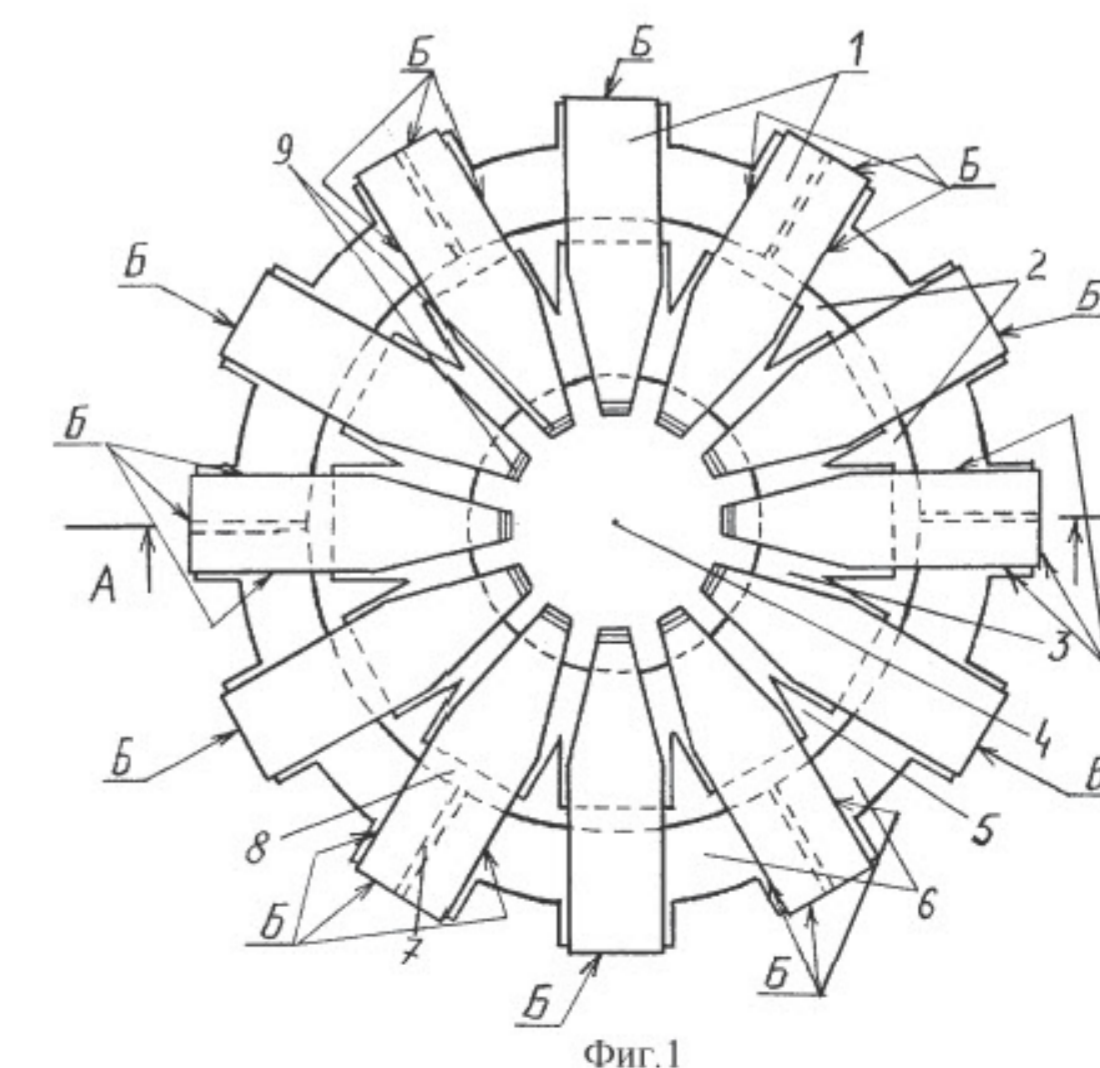
Рекуператор для підігріву повітря



1 – рекуператор, 2 – патрубок підводу холодного повітря до рекуператора, 3 – колектор гарячого повітря, 4 – циркуляційна установка; 5 – теплообмінник; 6 – палик; 7 – радіаційно-конвективне кільце



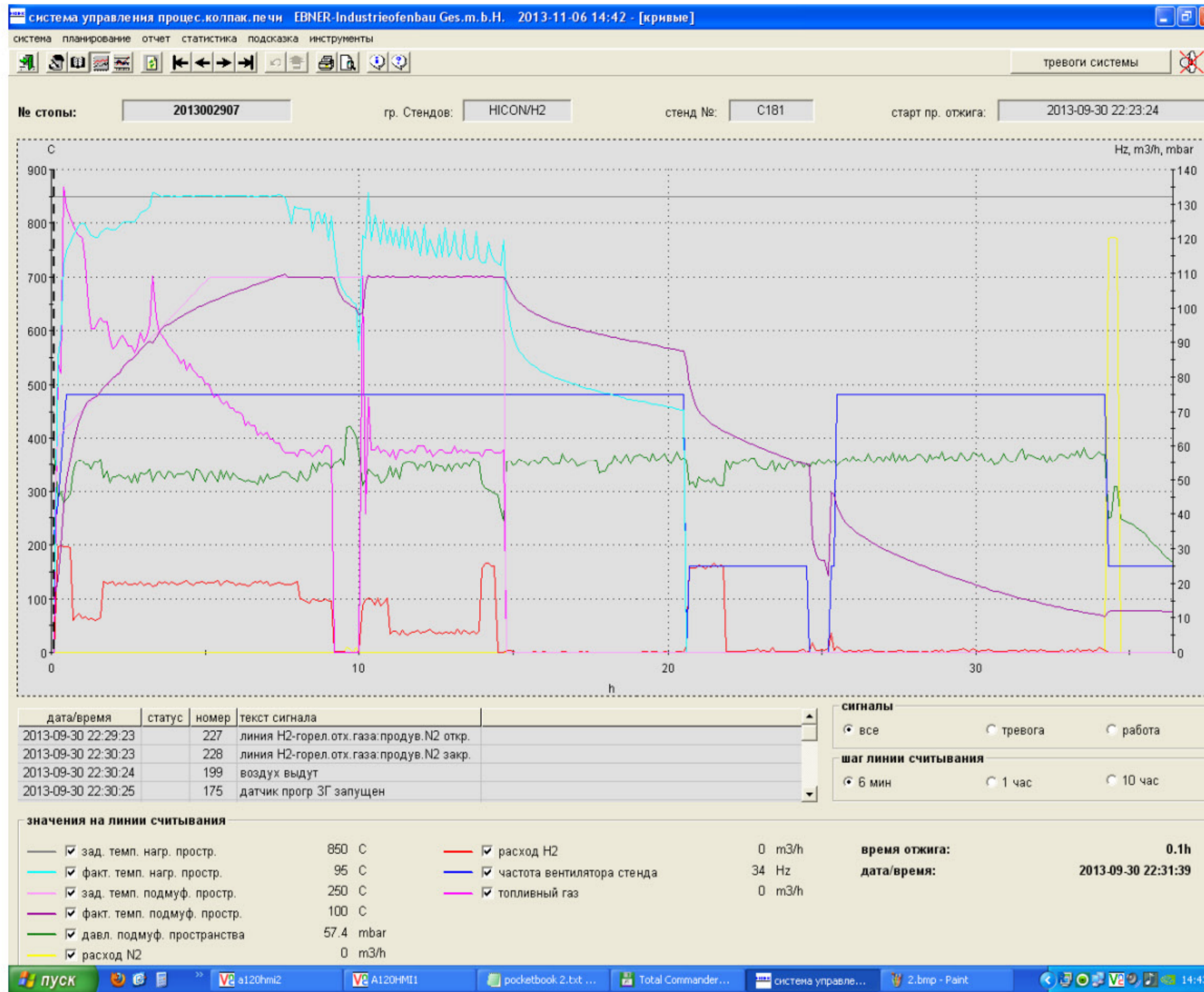
1 - стэнд; 2 - повітряний колектор; 3 - повітряні патрубки; 4 - муфель; 5 - живляча труба; 6 - рулони; 7 - радіаційно-конвективні кільця.



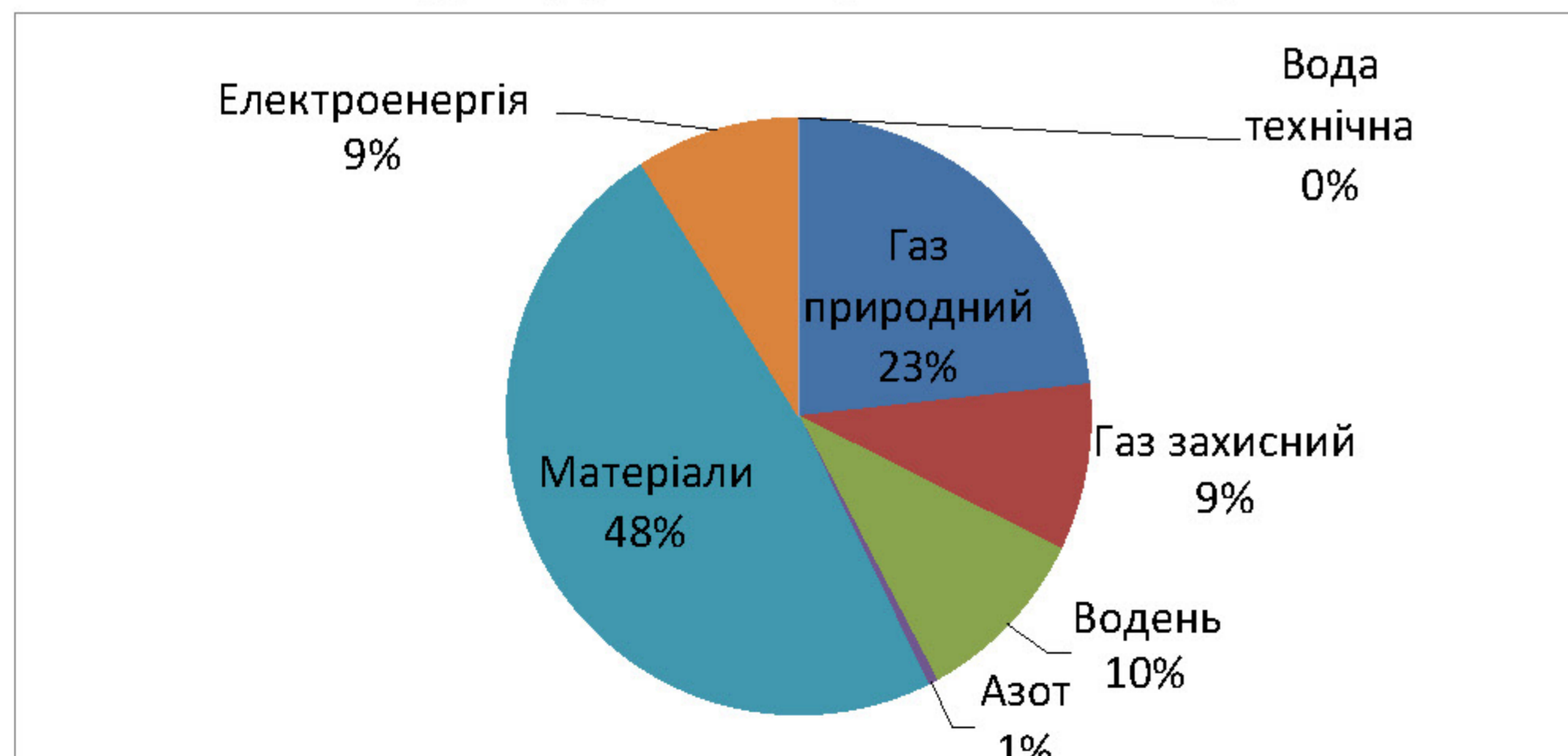
Фиг.1

ФАКТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ ВІДПАЛУ

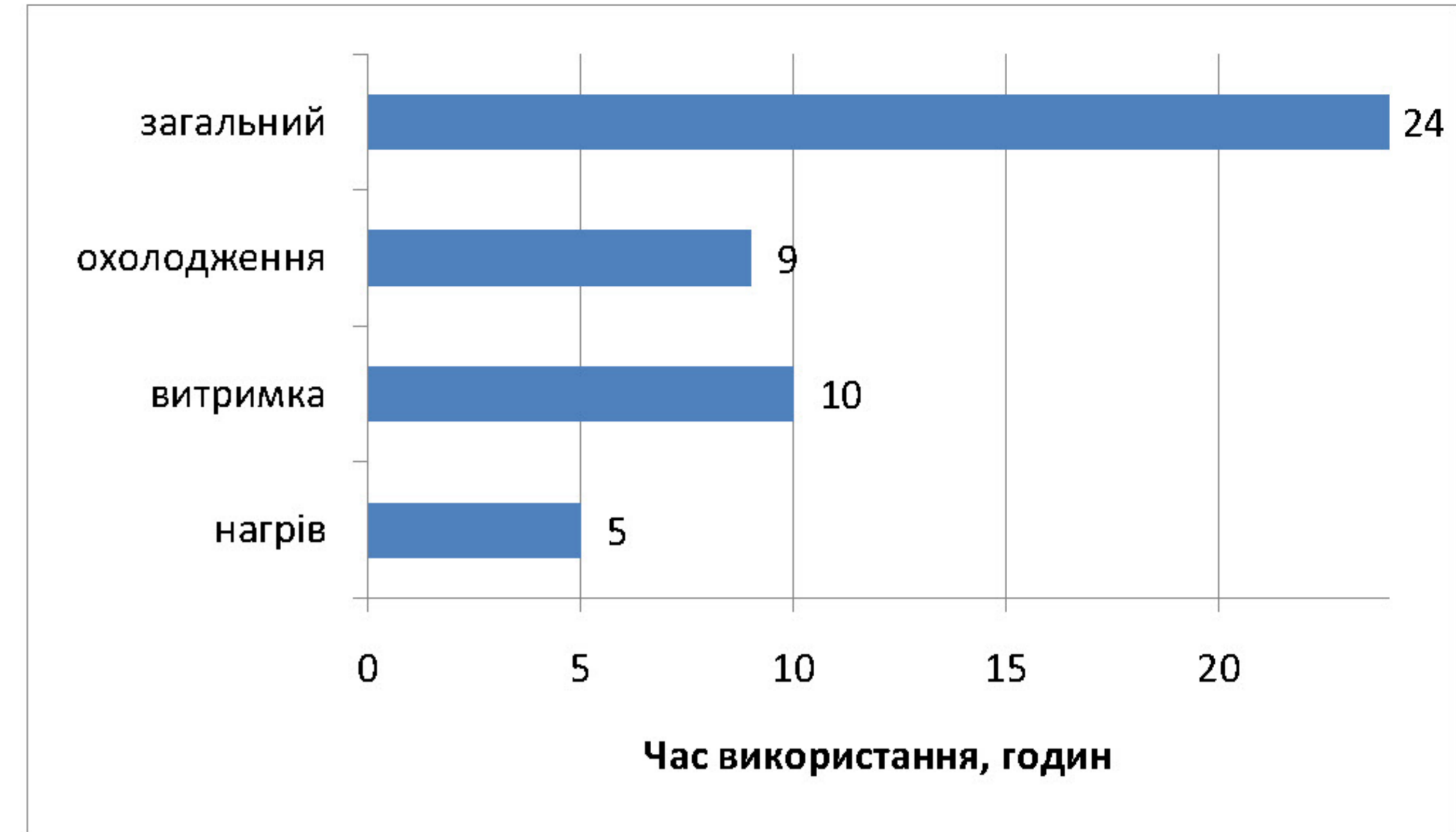
Графічне спостереження за відпалом



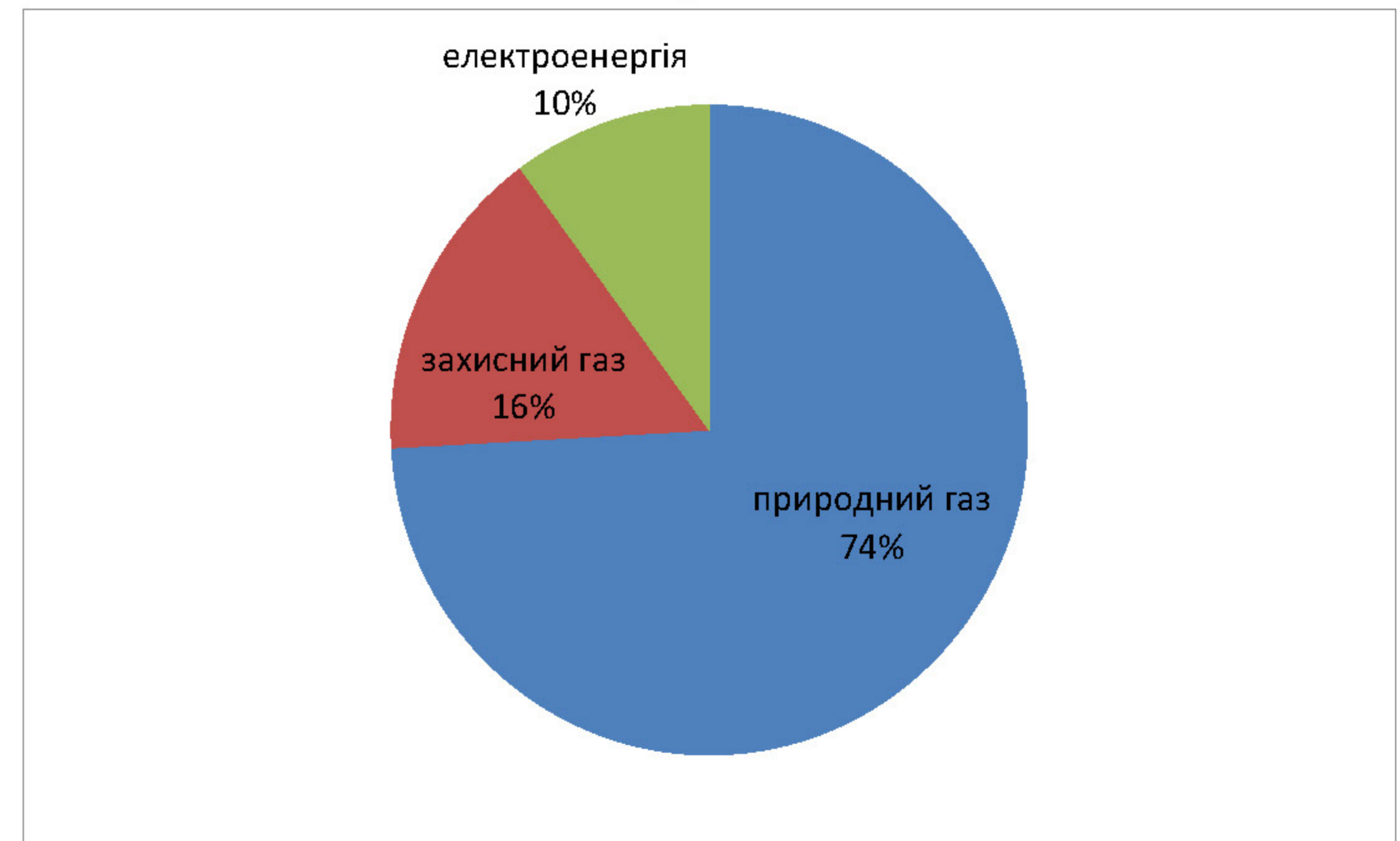
Структура собівартості відпалу



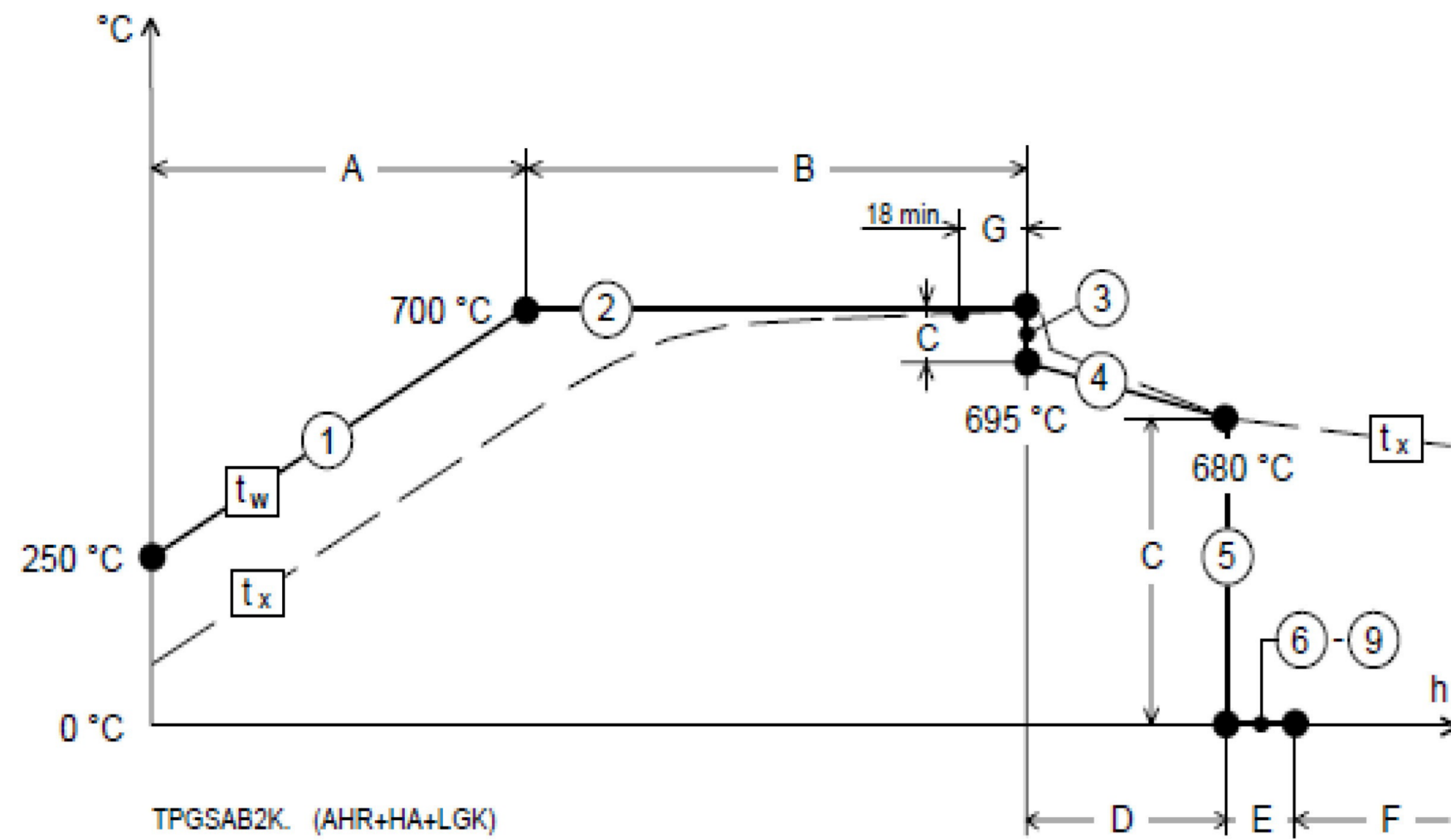
Показники використання станду



Питомі витрати енергоносіїв на тону завантаженої стопи, т.у.п.



Режим відпалу



Сегменти: 0 – початкові параметри; 1 – лінійний графік нагріву; 2 – витримка; 3 – швидке охолодження; 4 – повільне охолодження; 5 – швидке охолодження; 6-9 – не використовуються

Програма режиму відпалу

Повітряне охолодження	вентилятор стенда вимкнений
Запуск водоохолодження, °C	300
Температура ядра в кінці нагріву, °C	680
Температура ядра в кінці охолодження, °C	150
Спец. обсяг продув. газу, м³/т	4,5

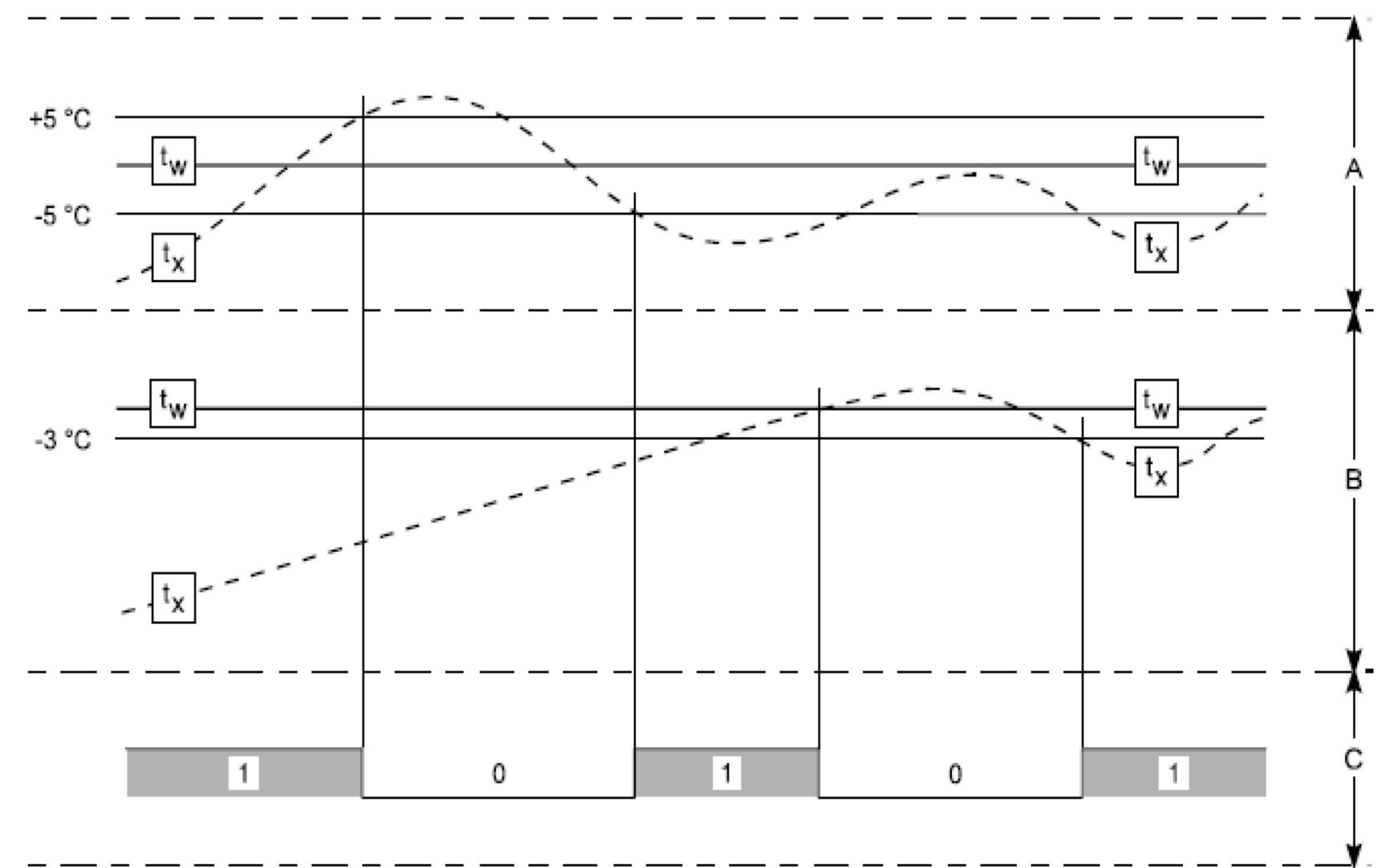
Програма режиму

Температурна програма											Програма захисного газу										
Параметри	Сегмент										Параметри	Сегмент									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Темпер., °C	250	450	450	600	600	700	700	690	0	0	Темпер., °C	0	0	500	600	690	0	0	0	0	0
Час, годин	0	0	5	4	5	0	0	3	0	6	Час, годин	0	0,5	0	4	2	0	0	2	0	0,1
											Род	0	5	5	5	5	5	4	5	0	4
											Витрата, м³/год	-	40	10	15	20	5	-	25	-	-

Характеристика регулювання температури в базовому варіанті

Нагрівання	Вмикається	Вимикається
Фактична температура нагрівального простору	нижче на $\geq 5^\circ\text{C}$ заданого значення температури	вище на $\geq 5^\circ\text{C}$ заданого значення температури
	та	або
Фактична температура під муфельного простору	нижче на $\geq 3^\circ\text{C}$ заданого значення температури	вище на $\geq 3^\circ\text{C}$ заданого значення температури

Графічне зображення регулювання



A – нагрівальний простір; B – підмуфельний простір; C – нагрівальний пристрій (0 – вимкнений; 1 – ввімкнений);

t_w – задана температура, °C; t_x – фактична температура, °C.

Характеристика регулювання температури ПЛК Siemens 7

Нагрівання	Вмикається	Вимикається
Фактична температура нагрівального простору	нижче на $\geq 3^\circ\text{C}$ заданого значення температури	вище на $\geq 3^\circ\text{C}$ заданого значення температури
	та	або
Фактична температура під муфельного простору	нижче на $\geq 1,5^\circ\text{C}$ заданого значення температури	вище на $\geq 1,5^\circ\text{C}$ заданого значення температури

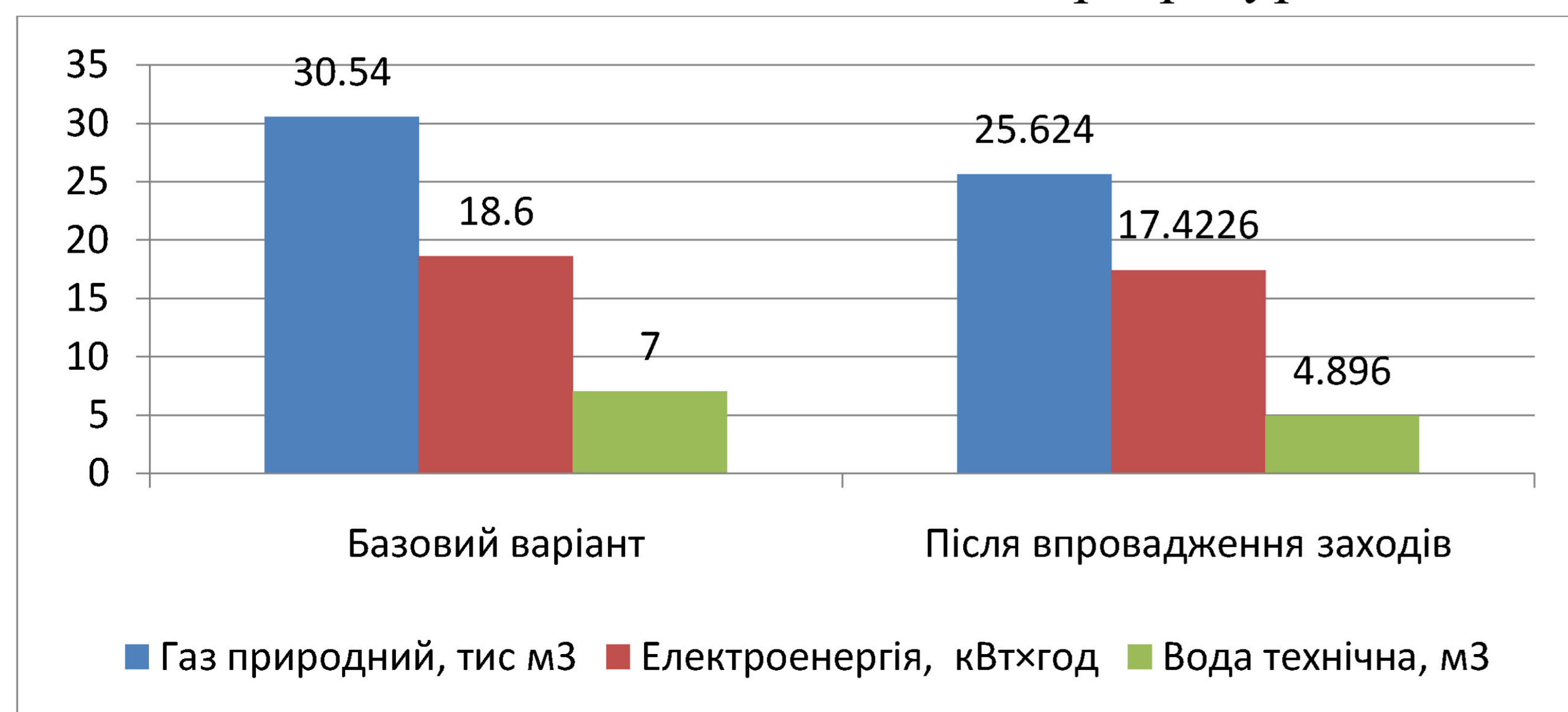
Очікувана економія паливно-енергетичних ресурсів

Захід	Етап циклу термообробки, коли відбувається економія ПЕР	Вид ПЕР, за яким очікується економія, одиниці вимірювання	Питомий показник економії на 1 т садки, од.вим./т	Річний показник економії, од.вим.
Використання РКК; зміна схеми подачі захисного газу	нагрів	природний газ, м ³	2,63	473400
		електроенергія, кВт·год	0,213	38340
Встановлення рекуператорів	нагрів	природний газ, м ³	1,666	381060
Імпульсне охолодження	охолодження	електроенергія, кВт·год	0,9644	173592
		охолоджуюча вода, м ³	2,104	378720
Система регулювання температури	нагрів	природний газ, м ³	0,36	64800
	відпал		0,26	46800

Показники проектів

Обладнання	Кількість	Загальна вартість, тис. грн.	Вид ПЕР	Очікуваний ефект (економія), тис. грн.	Термін окупності, років
Радіаційно-конвективні кільця	72	1900	ПГ	918,396	1,97
Обладнання для зміни схеми подачі захисного газу	10		ЕЕ	47,158	
Рекуператори	8	1000	ПГ	581,767	1,72
Ковпак імпульсного охолодження	8	1750	ЕЕ	213,518	8,09
			Вода	2,840	
Система регулювання температури	10	340	ПГ	125,712	1,57
				90,792	
Комплекс заходів	-	4990	-	1980,184	2,52

Співвідношення споживання енергоресурсів



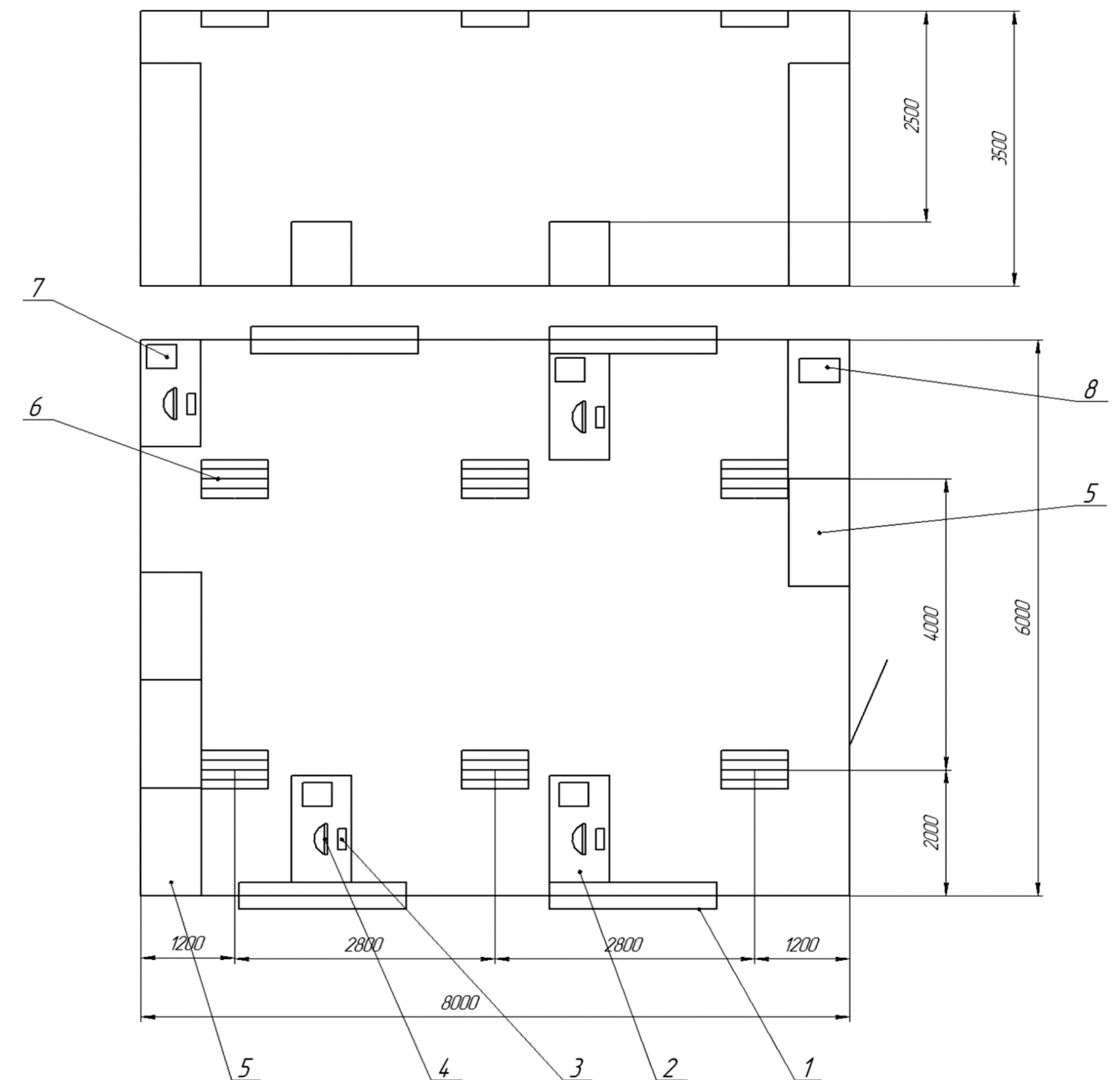
Дисконтований термін окупності



Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника приміщення ПАТ «Запоріжсталь»

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці				Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас безпеки – озон II клас безпеки III-IV клас безпеки – оксиди азоту	0,1	0,1					40
2	Пил, фіброгенної дії, мг/м ³	4	4					50
3	Шум, дБА	50-60	60					75
4	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °C - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, %	22-24	24					100
5	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена						

Остаточний варіант розміщення світильників



1 – вікно; 2 – робочий стіл; 3 – клавіатура; 4 – монітор; 5 – шафа;
6 – світильники; 7 – принтер; 8 - сканер

ВИСНОВКИ

Скоротити час охолодження запропоновано за допомогою ковпака імпульсного охолодження муфеля (4.2), при якому радіаційно-конвективні кільця дозволяють розділити та спрямувати рух охолоджуючого середовища у заданому напрямку. Експериментальні дані, отримані на Магнітогорському металургійному комбінаті, дозволили приблизно обчислити скорочення часу охолодження на 20%, що забезпечить економію електроенергії на привід вентилятора та витрати охолоджуючої води. При застосуванні 4 РКК скорочення часу нагріву складає 21,3%, а часу охолодження 53,58%.

Питома економія природного газу на 1 т садки $2,117 \text{ м}^3/\text{т}$, при скороченні часу нагріву, що дорівнює 5 годин, на 21,3%, економія електроенергії складе на 1 т садки $0,213 \text{ кВт}\cdot\text{год} / \text{т}$, при скороченні часу охолодження, що дорівнює 9 годин, на 53,58%, економія охолоджуючої води складе на 1 т садки $2,104 \text{ м}^3/\text{т}$.

Регулювання температури відпалу у діючих печах відбувається автоматично за заданим режимом (5.1) та його температурною програмою (5.2) за показами стендової термопари в діапазоні $\pm 5^\circ\text{C}$ у нагрівальному просторі або $\pm 3^\circ\text{C}$ у підмуфельному просторі (5.3).

Запропоновано перейти на більш сучасне управління печами за допомогою ПЛК Siemens S7 і системи управління процесом " Visual Furnaces 6 ", яке забезпечить економію паливного газу за рахунок більш точного регулювання температури в діапазоні $\pm 3^\circ\text{C}$ у нагрівальному просторі або $\pm 1,5^\circ\text{C}$ у підмуфельному просторі. Очікувана економія паливного газу становить за час нагріву, що дорівнює 5 годин $0,389 \text{ м}^3/\text{годину}$, під час відпалу у пічі $0,146 \text{ м}^3/\text{годину}$. Питома економія природного газу на 1 т садки за рахунок більш точного регулювання $0,062 \text{ м}^3/\text{т}$.

Термін окупності рекуператора, радіаційно- конвективних кілець та зміни схеми подачі захисного газу 7,57 років при економії 739140 грн. Термін окупності ковпаків імпульсного охолодження 3,62 року при економії 330808 грн. Впровадження більш досконалої системи регулювання температури окупиться за 4,62 року. Всі заходи окупляться за 6,06 року, враховуючи, що вартість природного газу для ВАТ «Запоріжсталь» становить зі знижкою 1940 грн/тис м^3 . При ринковому тарифі на природний газ 4800 грн/тис м^3 термін окупності для комплексу заходів знизиться до 3,62 років.