

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

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота**

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему «Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності систем  
рекуперації теплової енергії мартенівської печі ПАТ «АрселорМіттал  
Кривий Ріг»

Виконав: студент II курсу,  
групи 8.1441-з  
спеціальності теплоенергетика  
освітньої програми теплоенергетика  
Івасенко Антон Валерійович

Керівник к.т.н., доц. Ільїн С.В.

Рецензент доц., к.т.н., Осаул О.І.

Запоріжжя  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Теплоенергетики та гідроенергетики  
Рівень вищої освіти другий магістерський  
Спеціальність 144 Теплоенергетика  
Освітня програма Теплоенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
« 05 » грудня 2022 року

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

Івасенко Антон Валерійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

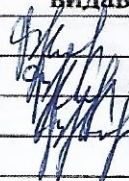
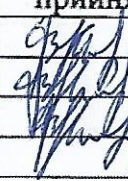
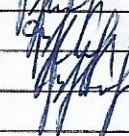
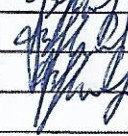
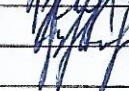
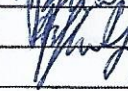
Тема роботи (проекту) Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності систем рекуперації теплової енергії мартенівської печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

керівник роботи Ільїн Сергій Віталійович, к.т.н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » листопада 2022 року № 598-С

- 1 Строк подання студентом роботи: 05 грудня 2022 р.
- 2 Вихідні дані до роботи: характеристики мартенівської печі, характеристики котла-утилізатора, хімічний склад газів, що відходять.
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Розрахунок димових газів та кількість тепла на утилізацію. Вибір котла-утилізатора. Основні дані для розрахунку котельної установки. Обчислення ентальпії димових газів. Розрахунок виробки пари. Аеродинамічний розрахунок котла.
- 4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальний вид КУ-90М. Повздовжний перетин КУ-90М. Система автоматизації КУ-90М.

## 5 Консультанти розділів роботи

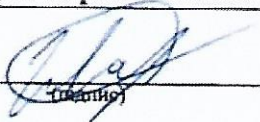
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Льїн С.В.		
2	Льїн С.В.		
3	Льїн С.В.		

6 Дата видачі завдання 05 травня 2022 р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

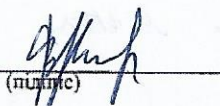
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис об'єкту реконструкції	25.06.2022	виконано
2	Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності систем рекуперації теплової енергії мартенівської печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	01.08.2022	виконано
3	КВП та автоматизація	01.10.2022	виконано
4	Охорона праці	25.11.2022	виконано
5	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно нормативним вимогам	05.12.2022	виконано

Студент

Івасенко А.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

Льїн С.В.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

Льїн С.В.

## ЗМІСТ

### ВСТУП

### 1 ОПИС ОБ'ЄКТУ РЕКОНСТРУКЦІЇ

1.1. Розрахунок димових газів та кількість тепла на утилізацію

1.2 Вибір котла-утилізатора

### 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ МАРТЕНІВСЬКОЇ ПЕЧІ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

2.1 Основні дані для розрахунку котельної установки

2.2 Обчислення ентальпії димових газів

2.3. Розрахунок виробки пари

2.4 Розрахунок випаровуючих вповерхонь нагріву

2.5 Аеродинамічний розрахунок котла

2.6 Вибір димососу

2.7 Вибір обладнання ХВО

2.8 Принципова схема трубопроводів котла-утилізатора в межах котельної

### 3. КВП ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Обґрунтування необхідності контролю, регулювання і сигналізації технологічних параметрів

3.2 Вибір і обґрунтування функціональної схеми контролю і управління

3.3 Захист і сигналізація

### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

4.3 Виробнича санітарія

4.5 Пожежна безпека

4.6 Вибір і розрахунок системи вентиляції

**ВИСНОВКИ**

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

## АНОТАЦІЯ

А.В. Івасенко Дослідження шляхів підвищення енергетичної ефективності систем рекуперації теплової енергії мартенівської печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник канд. техн. наук, доцент Ільїн С.В. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2022.

Об'єкт дослідження – котел-утилізатор для мартенівської печі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Метою проекту є реконструкція котла тепло-утилізатора № 1 за мартенівською піччю № 1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у зв'язку із збільшенням його теплової потужності.

Метод дослідження - розрахунково-дослідницький метод, що поєднує використання нормативних характеристик, заснованих на результатах досліджень, а також, розрахунок окремих складових технологічного процесу.

У зв'язку з реконструкцією мартенівської печі кількість продуктів згорання зросла з 80 тис. м<sup>3</sup> до 90 тис. м<sup>3</sup>. Проведені тепловий та аеродинамічний розрахунки для визначення можливого зросту паровиробництва, зробили оцінку використання та вибір тягодуттєвих механізмів.

Ключові слова: КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, ОРГАНІЧНЕ ПАЛИВО, ДИМОВІ ГАЗИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, РЕГУЛЮВАННЯ, ДИМОСОС, ОХОРОНА ПРАЦІ, ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

## ANNOTATION

A.V. Ivasenko Research on ways to increase the energy efficiency of the thermal energy recovery systems of the Marteniv furnace, Pat "ArcelorMittal Kryvyi Rih"

Qualifying final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, research supervisor Cand. tech. Sciences, Associate Professor Ilyin SV. Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute. Yu.M. Potebny, Department of Heat and Hydropower, 2022.

The object of the study is a recovery boiler for the Marteniv furnace of ArcelorMittal Kryvyi Rih PJSC.

The purpose of the project is the reconstruction of the heat recovery boiler No. 1 at the Marteniv furnace No. 1 of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih" in connection with the increase of its thermal capacity.

The research method is a calculation-research method that combines the use of normative characteristics based on the results of research, as well as the calculation of individual components of the technological process.

In connection with the reconstruction of the Marteniv furnace, the amount of combustion products increased from 80,000 m<sup>3</sup> to 90,000 m<sup>3</sup>. Conducted thermal and aerodynamic calculations to determine the possible growth of steam production, made an assessment of the use and selection of traction mechanisms.

Keywords: DISPOSER BOILER, ORGANIC FUEL, FLUE GASES, AUTOMATION, REGULATION, FUME EXTRACTOR, LABOR PROTECTION, SECONDARY ENERGY RESOURCES

## ВСТУП

В даний час, для України, особливо актуальною є проблема енергозбереження та забруднення повітряного середовища. Одним з основних джерел забруднення повітря є промисловість.

Ефективна державна політика у сфері споживання енергії повинна бути спрямована не лише на скорочення енергоємності виробничої продукції, а також стимулювати модернізації виробництва сучасним обладнанням і новими технологіями.

Одним з визначальних умов зниження витрат на промислових підприємствах і підвищення економічної ефективності виробництва в цілому є раціональне використання енергетичних ресурсів. Разом з тим, енергозберігаючий шлях розвитку економіки можливий тільки при формуванні і подальшій реалізації програм енергозбереження та переозброєння на окремих підприємствах, для чого необхідне створення відповідної методичної бази.

Затримання реалізації енергозберігаючих заходів завдає значних економічних збитків підприємствам і негативно відбивається на загальній екологічній та соціально-економічній ситуації. Крім цього, подальше зростання витрат у промисловості та інших галузях супроводжується зростаючим дефіцитом фінансових ресурсів, що затримує оновлення виробничої бази підприємств відповідно з досягненнями науково-технічного прогресу. Технічну оснащеність підприємства можна розглядати з точки зору виробництва будь-якого продукту на базі вже існуючого або з точки зору організації нового виробництва.

Однією з характерних рис сучасного етапу науково-технічного прогресу є зростаючий попит на всі види енергії. Важливим паливно-енергетичним ресурсом є природний газ. Витрати на його видобуток і транспортування нижче, ніж для твердих видів палива. Будучи прекрасним паливом (калорійність його на 10 % вище мазуту, в 1,5 рази вище вугілля і в



2,5 рази вище штучного газу), він відрізняється також високою віддачею тепла в різних установках. Газ використовується в печах, що вимагають точного регулювання температури; він мало дає відходів і диму, що забруднюють повітря. Широке застосування природного газу в металургії, при виробництві цементу і в інших галузях промисловості дозволило підняти на більш високий технічний рівень роботу промислових підприємств і збільшити об'єм продукції, одержуваної з одиниці площі технологічних установок, а так само поліпшити екологію регіону.

Рішення енергетичних проблем, багато в чому залежить від рівня наукових досліджень в сфері розробки енергозберігаючих технологій і реалізації освітньої Програми населення України з питань збереження енергії.

Котли використовуються для утилізації теплових відходів тепло-технологічних установок.

Основними технологічними відходами або вторинними енергоресурсами є: фізичне тепло відхідних газів, теплота технологічної продукції, теплота шлакових відходів, теплота робочих тіл систем примусового охолодження технологічних камер.

Характерною особливістю котлів-утилізаторів є відсутність у них топкового пристрою для спалювання палива.

Використання теплових відходів в котлах-утилізаторах забезпечує отримання додаткової продукції у вигляді енергетичної або технологічної пари, гарячої води, в результаті чого досягається економія палива на підприємстві.

Як додатковий зовнішній тепловикористач котел-утилізатор зазвичай не впливає на характер основного технологічного процесу. Проте, в деяких випадках котел-утилізатор сприяє покращенню умов роботи технологічного агрегату.

Наприклад, розташування котлів-утилізаторів за мартенівською піччю дозволяє встановити димосос на відхідних газах, що позитивно впливає на роботу печі, поліпшує тягу.

Перегріта пара, вироблена котлом-утилізатором, може подаватися в одній з двох магістральних парових труб (ЛПЦ-1 або ЛПЦ-2). Отримана пара також використовується для підігріву бойлера .

Перевірочний розрахунок виконується для існуючих котлів-утилізаторів. На підставі конструктивних характеристик та при даному навантаженню встановлюють температури води, пари, повітря та продуктів згоряння на межі між поверхнями нагріву, К.В.П. агрегату. В результаті обчислення отримують початкові дані, які необхідні для вибору допоміжного обладнання і виконання гідравлічних, аеродинамічних розрахунків та розрахунків на міцність.

Під час розробки проекту реконструкції котла-утилізатора, наприклад, у зв'язку із збільшенням продуктивності, зміною параметрів пари, можливо, потрібно буде змінити цілий ряд елементів агрегату. Однак основні частини парогенератора та його загальна компоновка зазвичай зберігається, а реконструкцію тих елементів, які необхідно змінити, виконують так, щоб по можливості зберігалися основні вузли і деталі типового парогенератора .

Розрахунок виконується методом послідовного проведення розрахункових операцій з поясненням дій. Розрахункові формули спочатку записуються в загальному вигляді, потім підставляються числові значення всіх вхідних в них величин, після чого наводиться остаточний результат.

*Актуальність роботи* полягає в розробці енергоефективної системи паропостачання промислового об'єкту з використанням передових світових технологій.

*Метою дипломної роботи* є розрахунок основних характеристик парогенератора – котла-утилізатора для мартенівської печі.

*Об'єктом дослідження* є енергоефективні інженерні мережі промислової будівлі.

*Предметом дослідження є процес створення системи ефективного використання теплового вторинного енергетичного ресурсу.*

*Методи дослідження.* Використано розрахунково-дослідницький метод, заснований на результатах досліджень і експлуатаційних даних, а також, розрахунок окремих складових технологічного процесу.

*Особистий внесок.* Наукові результати, які викладено в дипломній роботі, отримані особисто автором.

## 1 ОПИС ОБ'ЄКТА РЕКОНСТРУКЦІЇ

В мартенівському цеху комбінату «Криворіжсталь» встановлено мартенівські печі. За мартенівськими печами встановлені котли-утилізатори КУ-80-3. Вони призначені для вироблення пари за рахунок використання фізичного тепла відхідних димових газів мартенівських печей.

Котли-утилізатори споживають хімічно очищену воду від центральної насосно-деараторної установки .

Основним майданчиком обслуговування котлів є відмітка підлоги котельної, на якій встановлені котли, циркулюючі насоси, тепловий щит, панель управління електродвигунів.

Основними елементами мартенівської печі є: робоча ванна печі, яка з двох торців має по одному кесону (пальники) і регенератора (по два з кожного боку), перекидні шибера і димовий шибера перед димарем.

Як паливо застосовується природний газ. Він подається без підігрівання, безпосередньо в кесони.

Повітря, необхідне для спалювання природного газу, подається в кесони, заздалегідь пройшовши через регенератори, в яких воно нагрівається за рахунок тепла газів, що йдуть з ванни печі. Крім того, для інтенсивної роботи печі подається кисень.

Димові гази, покидаючи ванну мартенівської печі, рухаються через регенератори і борова за рахунок різниці тиску по тракту руху, що створюється трубою.

Висота димової труби на печі № 1-10 рівна 85 м, а на печах № 11,12 рівна 105 м.

Тяга є найважливішим параметром теплової роботи мартенівської печі, що в значній мірі визначає продуктивність печі, питому витрату палива. Проте при інтенсифікації процесу в мартенівських печах, із зростанням об'ємів і температур відхідних газів, зростає опір по газовому тракту і тяга створюється трубою. Заходи щодо підвищення тяги мартенівських печей як

правило відстають від постійної тенденції збільшення садіння мартенівських печей і підвищення їх теплового навантаження.

Тому для нормальної роботи мартенівської печі потрібний димосос, за допомогою якого здійснювалася б евакуація димових газів з печі.

Тиск в робочому просторі печі має бути в межах 2.6-4 мм. вод. ст., при цьому з гляділок завальних вікон походить легке викидання полум'я.

Мартенівські печі мають різне садіння (поза плавкою): мартенівська піч № 1,11 – 2× 250 т, мартенівська піч № 2,5,6,7,8,10,12 – 500 т кожна.

Температура димових газів в борові після регенератора вагається в межі 700-900 °С. За мартенівською піччю встановлені газоочистки мокрого типу для уловлювання пилу з відхідних газів. Для створення тяги по димовому тракту, за кожною газоочисткою встановлено по два димососа в окремих приміщеннях.

Для збільшення тяги і утилізації тепла за мартенівськими печами, встановлюють котли-утилізатори з димососами прямої дії. Перед димососами передбачається установка газоочисток, які споживають значну частину натиску димососа, зменшуючи розрядку в борові печі.

Важливою особливістю виробничих відхідних газів, у ряді випадків є вміст в них полідисперсного віднесення з переважанням дуже дрібних часток, що знаходяться в твердому, рідкому і газоподібному стані. Технологічне віднесення утворюється в результаті винесення газовим потоком дрібних часток шихти, опалини, розплавленого металу або шламу. Великий вплив на винесення цих часток надає швидкість газового потоку в технологічній камері. Істотне значення має розтріскування вихідного шихтового матеріалу під впливом внутрішнього газоутворення і температурної напруги, що виникають при нагріванні. Отримані при цьому частки виносяться за межі робочої камери печі.

Винесення рідких часток технологічного розплаву має місце головним чином в період кипіння або продування розплавленого матеріалу. Також

спостерігається частковий випар технологічного матеріалу через його високу температуру.

При цьому в робочій камері окремі складові матеріалу, що розплавляється, можуть знаходитися в пароподібному стані. Перегони, що утворилися при плавленні, несуться з робочої камери відхідними газами, і далі при зниженні температури в них конденсується з утворенням мілкодисперсних рідких і твердих часток.

Розміри часток віднесення залежать від режиму роботи печі. В період завалення шихти міститься велика кількість часток вапняку розміром до 600-800 мкм, причому частки менше 10 мкм складають всього 10-15%.

В період плавлення, коли відсоток пари оксидів заліза в утворенні віднесення підвищується, фракція з розміром часток до 10 мкм складає 33-38 %. При продуванні ванни киснем, частки менше 10 мкм складають 66,5 %

### 1.1 Розрахунок димових газів і кількість тепла на утилізацію

Склад продуктів згорання з ванни мартенівської печі представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Елементарний склад робочої маси продуктів згорання

CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Запиленість газу
%				
12	72	5,5	10,5	2-5 г/м <sup>3</sup>

Кількість тепла на утилізацію визначається за формулою, кВт

$$Q_{VT} = V_{VX} \cdot C_{VX} \cdot g_{VX},$$

де  $V_{VX}$  -кількість газу на утилізацію, м<sup>3</sup>;

$\vartheta_{yx}$  -температура продуктів згорання, °С;

$C_{yx}$  –теплоємність продуктів згорання, кДж / (м<sup>3</sup>·°С)

$$C_{yx} = \sum c_i \cdot r_i,$$

де  $c_i$  - теплоємність складових елементів продуктів згорання, приведена в таблиці 1.2;

$r_i$  - об'ємна складова, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$r_i = \frac{r\%}{100};$$

$$r_{CO_2} = \frac{CO_2\%}{100} = \frac{12}{100} = 0,12;$$

$$r_{N_2} = \frac{N_2\%}{100} = \frac{72}{100} = 0,72;$$

$$r_{O_2} = \frac{O_2\%}{100} = \frac{5,5}{100} = 0,055;$$

$$r_{H_2O} = \frac{H_2O\%}{100} = \frac{10,5}{100} = 0,105.$$

Таблиця 1.2 - Теплоємність складових елементів продуктів згорання, кДж/м<sup>3</sup>

$\vartheta$ °С	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Зола, кДж/кг
900	2,18	1,38	1,44	1,68	0,94

Теплоємність продуктів згорання визначається за формулою, кДж/м<sup>3</sup>

$$C_i = c_i \cdot r_i$$

$$C_{CO_2} = 2,18 \cdot 0,12 = 0,262;$$

$$C_{N_2} = 1,38 \cdot 0,72 = 0,994;$$

$$C_{O_2}=1,44 \cdot 0,055=0,0792;$$

$$C_{H_2O}=1,68 \cdot 0,105=0,1764;$$

$$C_{золи}=0,94 \cdot 0,002=0,0018;$$

$$C_{ух}=0,262+0,994+0,0792++0,1764+0,0018=1,5296.$$

Кількість тепла на утилізацію, кВт

$$Q_{ум} = \frac{90 \cdot 10^3 \cdot 1,5296 \cdot 900}{3600} = 34,416 \cdot 10^3.$$

## 1.2 Вибір котла-утилізатора

Інтенсифікація технологічних процесів і підвищення одиничної потужності пічних пристроїв пов'язані з підвищенням рівня температур в печі, а, отже, із збільшенням температури відхідних продуктів згорання. Ці виробничі теплові відходи є потужним резервом (близько 80%) теплових вторинних енергоресурсів (ВЕР), використовуваних переважно в парових котлах на відхідних газах (КВГ), для вироблення пари електроенергетичних і технологічних параметрів. В результаті економляться мільйони тонн умовного палива в рік в установках, що заміщаються, з автономним спалюванням органічного палива.

Загальні методичні положення по виявленню резервів економії палива за рахунок використання ВЕР на промислових підприємствах передбачають розділення всіх видів ВЕР на наступні три групи:

а) *пальні (паливні) ВЕР* – горючі гази плавильних печей (доменний, колошниковий шахтних печей і вагранок, конвертерний, феросплавний), горючі відходи процесів хімічної і термохімічної переробки вуглецевої або вуглеводневої сировини, невживані (непридатні) для подальшої технологічної переробки, відходи деревообробки (тріска, тирса, стружки, обрєзь і т. д.), упарені щелока целюлозно-паперового виробництва, газ



сажних печей, що відходить, абсорбційний газ при виробництві мономерів для синтетичних каучуків, окис-вуглецева фракція у виробництві аміаку та ін.

б) *теплові ВЕР* – фізична теплота відхідних газів технологічних агрегатів, фізична теплота основної, побічної, проміжної продукції і відходів основного виробництва, теплота робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, теплота гарячої води і пари, відпрацьованих в технологічних і силових установках.

в) *ВЕР надлишкового тиску* – потенційна енергія газів і рідин, що покидають технологічні агрегати з надлишковим тиском, який необхідно знижувати перед подальшим рівнем використання цих газів і рідин або при викиді їх в атмосферу.

Пальні ВЕР використовують як паливо, теплові ВЕР – для вироблення теплоти, електроенергії, холоду і механічної роботи в установках утилізацій.

У різних галузях промисловості в даний час працюють декілька тисяч КОГ, встановлених за вогнетехнічними установками різного технологічного призначення. Ці агрегати відрізняються між собою великим різноманіттям протікаючих процесів і параметрів, використовуваних енергоносіїв.

Особливості технологічного процесу, в якому беруть участь котли-утилізатори (КУ), накладають певні вимоги на завдання управління ними. Головною з особливостей, відрізняючих КУ від звичайних промислових котлів, є те, що провідним регульованим параметром є не вироблення пари, яка визначає витрату необхідної енергії палива, а, кількість енергії, що вноситься потоком відхідних технологічних газів, і що визначає вироблення пари, як реакцію КУ на режим теплової роботи, що задається технологічним агрегатом. У звичайних топкових котлах управляють витратою палива і повітря і добиваються здобуття таких

об'єму і температури газів в кінці топки, які дозволяють утворити пару необхідної якості і у необхідній кількості. У КУ, навпаки, витрата і температура газу задані; слід забезпечити вироблення пари заданої якості в заданих умовах; кількість же пари відповідає енергії, відданий робочому тілу (воді) відхідними газами від технологічних агрегатів. Таким чином, управління КУ полягає в тому, щоб забезпечити надійну утилізацію теплоти відхідних газів технологічної установки шляхом утворення відповідної кількості пари заданих параметрів (тиск, температура перегріву).

Другою особливістю КУ є нестабільність режиму роботи; кількість теплоти, яка підлягає утилізації, може вагатися від 0 до максимального значення, причому швидкість наростання теплового потоку у ряді випадків досягає 20-30% /с [3]. Тому КУ знаходиться в гранично важких умовах з точки зору забезпечення надійності.

Відповідно до ГОСТ.30.135–84 котли-утилізатори класифікують:

- за типом теплообміну в КУ: радіаційні, радіаційно-конвективні, конвективні;
- за типом конструктивного виконання: водотрубні і газотрубні;
- по компоновці і конструктивним особливостям газотрубних котлів-утилізаторів: горизонтальні, горизонтальні з барабаном сепаратором, вертикальні з барабаном сепаратором;
- за принципом циркуляції води: з природною, примусовою, комбінованою циркуляцією і прямоточні;
- по компоновці газоходів: П-, Г-, Т-, Л-, У-подібні, баштові, горизонтальні;
- по вигляду спалюваного і охолоджуваного технологічного матеріалу;
- за типом кріплення поверхонь нагріву;
- за типом установки: відкриті, напіввідкриті, закриті;
- за способом організації тяги : урівноважене і під розрядкою;

— по виконанню: для сейсмічних і несейсмічних районів.

Котли-утилізатори, залежно від найважливішого параметра – початкової температури гріючого теплоносія, діляться на дві групи:

— низькотемпературні котли-утилізатори з початковою температурою теплоносія  $T_r < 1100-1200$  К;

— високотемпературні котли-утилізатори  $T_r > 1400-1500$  К.

Конструкція і режимні характеристики котла-утилізатора тісно зв'язані і визначаються особливостями технологічних процесів. У чорній металургії більшість котлів-утилізаторів встановлюють за металургійними печами. Вибір параметрів пари визначається перш за все тепловою схемою його використання і в основному вони складають 1,8 і 4 МПа з невеликим перегрівом.

Створені конструкції котлів-утилізаторів мають як агента, що охолоджує, воду. З огляду на те, що теплова напруга в поверхнях нагріву невелика, а висота котлів, як правило, невелика, часто виникає питання про раціональний спосіб циркуляції води. Тому з метою створення компактних поверхонь нагріву використовують примусову циркуляцію.

Особливістю низькотемпературних водотрубних котлів-утилізаторів з поверхнями нагріву з поперечноомиваних продуктами згорання труб малого діаметру є змієвикова компоновка і багатократна примусова циркуляція робочого тіла і пароводяної суміші (МПЦ). Ці котли призначені для установки за металургійними печами з метою використання фізичної теплоти відхідних газів для вироблення перегрітої пари. Позначення типорозмірів котлів містять цифри, вказуючи на максимальну витрату продуктів згорання (ПС), на який розрахований котел в тисячах кубометрів в годину (40, 60, 80, 90, 100, 125, 150) Максимальна тривала температура продуктів згорання перед котлами 1125 і 925 К. Параметри пари, що виробляється 4,5 МПа, 650 К або 1,8 МПа, 650 К. Компоновка поверхонь нагріву П-подібна. Всі поверхні змієвикового типа скомпоновані в секції, а секції в блоки. В котлі використовується одноступінчатий випар. При тиску 1,8 МПа рух продуктів

згорання протиточний, блоки по парі включені паралельно. Передбачена можливість спільної роботи котла з випарним охолодженням печі. У барабані котла розміщений пристрій сепарації, що складається з циклонів з патрубками, що підводять, і дірчастої стелі з перфорованою паровідвідною трубою. Шламоуловлювач є фільтр з дротяної сітки або дірчастих ґрат з неіржавіючої сталі.

У проекті передбачено виконання реконструкції існуючого котла-утилізатора КУ–80 на пропускну спроможність 90 000 м<sup>3</sup>.

Характеристика котла-утилізатора, трубопроводів і допоміжного устаткування.

Котел-утилізатор складається із залізобетонного фундаменту, на який спирається каркас котла. Каркас виконаний з швелерів №24. На каркас кріпляться всі частини котла: барабан, випарні поверхні нагріву, пароперегрівач, обмурівка і обшивка котла.

На КУ газоходи виконані з вогнетривкої кладки до другої розвантажувальної балки. Фронтальна сторона котла обмурована повністю. Для створення газоходу застосовано листове залізо, яке зовні для поглинання теплоти заізольовано шлаковатою.

Для оберігання котлів від руйнування, в разі вибуху газів, встановлені вибухові клапани на бічних стінках газоходів котла. На першому газоході встановлені 2 вибухових клапана.

Циркуляція води в котлі здійснюється відцентровими циркуляційними насосами. На кожному котлі встановлено по два насоси, один з яких резервний. Тип насосів НКУ-140.

Перед котлом встановлений котельний шибер. На котлах з газоочистками мокрого типу після котлів встановлені шибера. Тяга регулюється направляючими апаратами перед димососами газоочистки.

Барабан котла:

- діаметр барабана 1500 мм;
- довжина циліндрової частини 4250 мм;

— внутрішньобарабанний пристрій сепарації складається з 7 циклонів діаметром 300 мм і перфорованого потокового листа з отворами діаметром 7 мм.

Барабан котла обладнаний двома запобіжними клапанами. На передньому днищі барабана встановлені 2 водовказівних колонки і манометр. Барабан має штуцера для приєднання датчика реєструючого рівнеміра і відбору проб котельної води, періодичного продування, аварійного скидання води з барабана, пониженого вказуючого рівнеміра.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ МАРТЕНІВСЬКОЇ ПЕЧІ ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ»

### 2.1 Основні дані для розрахунку котельної установки

Поверхня нагріву котла-утилізатора №1 скомпонована з вертикальних газоходів, створюючих букву «П». Випарна поверхня нагріву котла складається з 3-х секцій, розташованих в першому підймальному газоході і підключених на вході паралельно до шлаковіддільника.

Перша секція (по ходу газів) складається з одного пакету змійовиків і називається передвключеною. Пакет змійовиків складається з 4-х блоків. Кожен блок (куб) змійовиків складається з вхідного і вихідного колекторів і 22 паралельно включених змійовиків, сполучених планками в 11 ширм.

Послідовно з першою передвключеною магістральною секцією включена система охолоджуваних опорних балок, на які спираються блоки всіх поверхонь нагріву котла.

Схема руху робочого тіла і газів прийнята:

- для I-ої секції – протиточна;
- для II-ої секції – протиточна;
- для III-ої секції – протиточна;
- для пароперегрівача – прямоточна.

Всі змійовики виконані з труб 25х3 мм.

Випарні секції і пароперегрівач розташовані по ходу газів:

- а) I-а випарна секція;
- б). II-а випарна секція;
- в) III-а випарна секція;
- г) пароперегрівач.

Підведення циркуляційної води до кожної секції здійснюється по трубах 89х3,5 мм. Відведення пароводяної емульсії в барабан котла здійснюється по трьох трубах 108х4 мм від I-ої випарної секції через балки,

що охолоджують; по двох трубах 108x4мм від II-ої випарної секції і по двох трубах 108x4мм від III-ої випарної секції.

Вихідні дані для проектування котла-утилізатора наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Вихідні дані для розрахунку котельної установки

Параметр	Позначення	Розмірність	Величина
Тиск перегрітої пари	$P_{пе}$	МПа	1,8
Температура перегрітої пари	$T_{пп}$	К	653
Температура живильної води	$T_{пв}$	К	374
Кількість продуктів згоряння перед котлом	$V_{пс}$	м <sup>3</sup> /год	90·10 <sup>3</sup>
Температури продуктів згоряння перед котлом	$T_{пс}$	К	1123
Температури продуктів згоряння після котла	$T_{ух}$	К	543
Температура холодного повітря	$T_{хв}$	К	
Величина безперервного продування	$P$	%	2
Тиск в барабані	$P_б$	МПа	1,9
Тиск поживної води	$P_{пв}$	МПа	1,8

## 2.2 Розрахунок ентальпії димових газів

Розрахунки ентальпій продуктів згоряння робимо на 1 м<sup>3</sup> за нормальних умов.

2.2.1 Величини присосів повітря і об'єми продуктів згоряння по газоходах котла

Середні характеристики продуктів згорання в поверхнях нагріву котельної установки заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Об'єми продуктів згорання і об'ємні долі трьохатомних газів по газоходах котла

Величина	Перед коглом до і після пароперегрівача	Між II та III пакетами	Перед економайзером	Після економайзера
Присос повітря $V_{пр}$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	-	0,010	0,020	0,050
Загальний обсяг продуктів згорання $V_{пс}$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	1,000	1,010	1,020	1,050
Об'ємна доля: - трьохатомних продуктів згорання $r_{\text{CO}_2}$	0,120	0,119	0,118	0,115
- водяної пари $r_{\text{H}_2\text{O}}$	0,105	0,104	0,103	0,100
Сумарна доля продуктів згорання $r_n=r_{\text{CO}_2}+r_{\text{H}_2\text{O}}$	0,225	0,223	0,221	0,215

### 2.2.2 Розрахунок ентальпій димових газів і повітря

Ентальпії димових газів при  $\alpha > 1$  вираховуємо по формулі,  $\text{кДж}/\text{м}^3$

$$I_z = I_z^o + (\alpha - 1)I_g^o, \quad (2.1)$$

де  $I_z^o$  - ентальпія димових газів при  $\alpha = 1$ ,  $\text{кДж}/\text{м}^3$ ;



$I_6^o$  - ентальпія повітря при  $\alpha = 1$ , кДж/м<sup>3</sup>.

Ентальпія газів при  $\alpha = 1$  і температурі газів Т, К вираховується по формулі, кДж/м<sup>3</sup>

$$I_2^o = V_{RO_2} (C \cdot (T-273))_{RO_2} + V_{N_2}^o (C \cdot (T-273))_{N_2} + V_{O_2} (C \cdot (T-273))_{O_2} + V_{H_2O}^o (C \cdot (T-273))_{H_2O}. \quad (2.2)$$

Ентальпії димових газів перед котлом, до і після пароперегрівача, кДж/м<sup>3</sup>:

$$I_{2, 373} = 20,5 + 7,12 + 93 + 15,9 = 137;$$

$$I_{2, 473} = 42,7 + 14,6 + 187 + 31,8 = 276;$$

$$I_{2, 573} = 67 + 22,2 + 282 + 48,6 = 420;$$

$$I_{2, 673} = 93 + 30,2 + 376 + 65,8 = 565;$$

$$I_{2, 773} = 119,4 + 38,5 + 477 + 83,5 = 718;$$

$$I_{2, 873} = 147 + 46,9 + 580 + 101 = 875;$$

$$I_{2, 973} = 176 + 55,2 + 680 + 120 = 1031;$$

$$I_{2, 1073} = 205 + 63,6 + 785 + 140 = 1194;$$

$$I_{2, 1173} = 235 + 72,4 + 895 + 160 = 1362.$$

Згідно (2.1) розраховуємо ентальпії димових газів для інших ділянок і заносимо в таблицю 2.3.

За результатами таблиці 2.3 будуємо І - Т діаграму, що дозволяє визначити ентальпію продуктів згорання при будь-якій температурі для заданого коефіцієнта надлишку повітря (рис. 2.1)

Таблиця 2.3- Значення ентальпій продуктів згорання, кДж/м<sup>3</sup>

Температури продуктів згорання Т, К	Перед котлом, до і після пароперегрівача I1	Між II та III пакетами I2	Перед економайзером I3	За економайзером I4
373	137	138,3	139,5	143,8
473	276	278,5	281,8	289
573	420	424,3	428	440,1
673	565	570,4	575,9	592,2
773	718	727,4	731,8	752,4
873	875	883,4	891,8	916,5
973	1031	1040,6	1050,7	1080
1073	1194	1205,3	-	-
1173	1362	1375	-	-

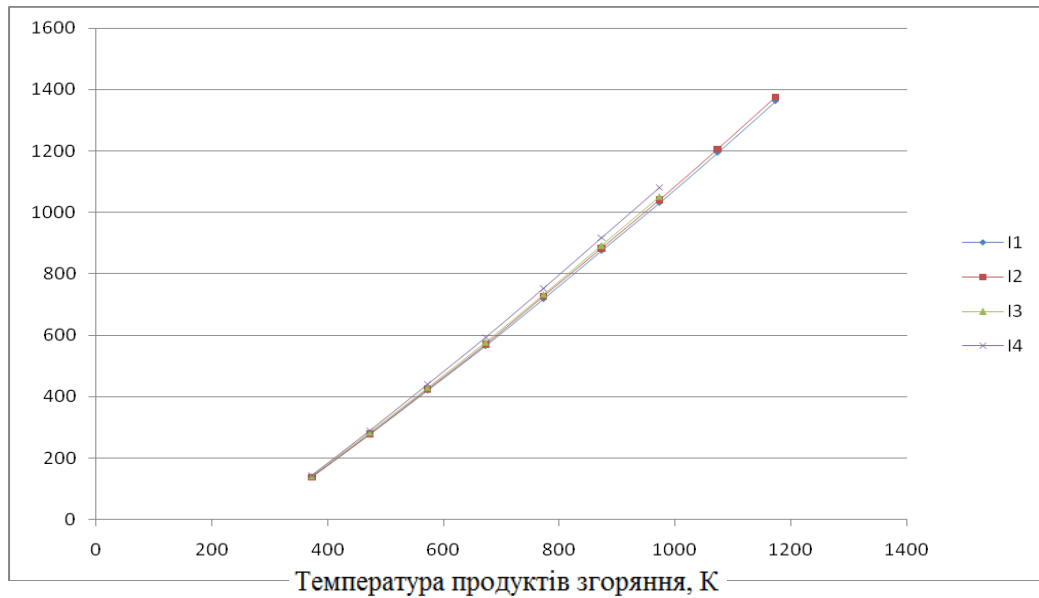


Рисунок 2.1- Ентальпії продуктів згоряння

### 2.3 Розрахунок паровиробництва котла

Витрата продуктів згоряння (згідно таблиці 2.1),  $\text{м}^3/\text{с}$

$$V_{n.z.}^0 = 25.$$

Температура продуктів згоряння (див. таблицю 2.1), К

$$T_{n.z.}^0 = 1123.$$

Ентальпія продуктів згоряння перед котлом (див. таблицю 2.3 і мал. 2.1),  $\text{кДж}/\text{м}^3$

$$I_{n.z.}^0 = 1280.$$

Температура продуктів згоряння після котла (див. таблицю 2.1), К

$$T_{n.z.}^{yx} = 543.$$

Ентальпія продуктів згорання на виході з котла (див. таблицю 2.3 і рис. 2.1), кДж/м<sup>3</sup>

$$I_{n.3}^{yx} = 362.$$

Ентальпія повітря, що присмоктується, кДж/м<sup>3</sup>

$$I_{\epsilon 3} = V_{np} \cdot c \cdot (T_{\epsilon 3} - T^0) = 0,05 \cdot 40 = 2. \quad (2.3)$$

Кількість теплоти, переданої відхідними продуктами згорання, кВт

$$Q = (I_{n.3}^0 - I_{n.3}^{yx} + I_{np}) \cdot V_{n.3}^0 = (1280 - 362 + 2) \cdot 22 = 22,18 \cdot 10^3. \quad (2.4)$$

Тиск перегрітої пари, МПа

$$p_{n.n} = 1,8.$$

Тиск пари в барабані, Мпа

$$p_{\sigma} = 1,9.$$

Температура пари, К

$$T_{n.n} = 653.$$

Ентальпія перегрітої пари (при  $p_{пп}$ ), кДж/кг

$$i_{n.n} = 3211.$$

Ентальпія рідини в барабані (при  $p_6$ ), кДж/кг

$$i_{кип} = 893.$$

Ентальпія живильної води (при  $p_6$ ), кДж/кг

$$i_{н.в} = 420,6.$$

Кількість теплоти продування, кДж/кг

$$i_{np} = 0,01 \cdot P \cdot (i_{кип} - i_{н.с}) = 0,01 \cdot 8 \cdot (893 - 420,6) = 37,8, \quad (2.5)$$

де  $P$  – величина безперервного продування %.

Кількість теплоти, сприйнятої в котлі 1 кг пари, кДж/кг

$$\Delta i_{np} = i_{н.п} - i_{н.в} + i_{np} = 3211 - 420,6 + 37,8 = 2828. \quad (2.6)$$

Коефіцієнт, що бере до уваги тепловідвід через огороження

$$\varphi = 0,98.$$

Розрахункове паровиробництво котла, кг/с

$$D = \frac{Q \cdot \varphi}{\Delta i} = \frac{22180 \cdot 0,98}{2828} = 7,68. \quad (2.7)$$

## 2.4 Розрахунок випарних поверхонь нагріву

### 2.4.1 Розрахунок I випарного пакета

Температури продуктів згоряння на виході з пакета, К

$$T''_{n.з.} = 1010.$$

Розрахунковий температурний натиск, К

$$\Delta T = \frac{(T_{n.з.}^0 - T_{н.п.}) - (T''_{n.з.} - T_{н.п.})}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta T_{\theta}}{\Delta T_{\mu}}} = \frac{(1123 - 482) - (1010 - 482)}{2,3 \cdot \lg \frac{641}{528}} = 582. \quad (2.8)$$

Розрахункова температура потоку, К

$$T_{ном} = T_{н.п.} + \Delta T = 482 + 582 = 1064. \quad (2.9)$$

Схема руху теплоносія в I випарному пакеті наведено на рисунку 2.2.

Середній об'єм продуктів згоряння, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V=1.$$

Витрата продуктів згоряння, м<sup>3</sup>/с

$$V_{n.c.} = \frac{V \cdot V_{n.з.}^0 \cdot T_{ном}}{273} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 1064}{273} = 94,7. \quad (2.10)$$

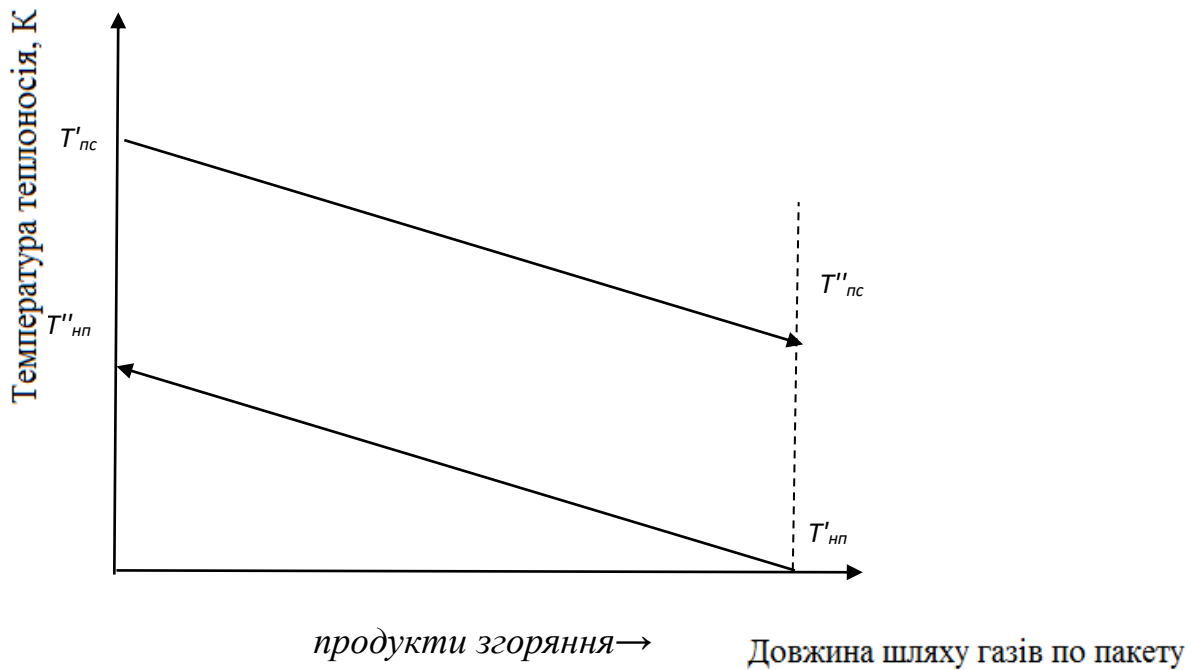


Рисунок 2.2 – Температурний графік I випарного пакету (протитечія)

Площа живого перетину для проходження продуктів згорання, м<sup>2</sup>

$$F = 6,96.$$

Середня швидкість продуктів згорання, м/с

$$\omega_{n.з} = \frac{V_{n.з}}{F} = \frac{94,7}{6,69} = 13,6. \quad (2.11)$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot C_\phi \cdot \alpha_n = 1 \cdot 1 \cdot 0,98 = 114. \quad (2.12)$$

Сумарна поглинаюча здатність трьохатомних продуктів згорання, м·МПа

$$p_n S = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) \cdot S \cdot p = (0,105 + 0,12) \cdot 0,122 \cdot 0,1 = 0,0274. \quad (2.13)$$

Сумарна сила поглинання продуктів згорання

$$KPS = K_2 \cdot r_n \cdot Sp = 4,4 \cdot 0,225 \cdot 0,122 = 0,12. \quad (2.14)$$

Коефіцієнт забруднення ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ) /Вт

$$\varepsilon = 0,0043.$$

Температура забрудненої стінки, К

$$T_3 = T_{н.н.} + \varepsilon \frac{Q_1 V_{н.з}^0}{H_1} \cdot 10^3 = 482 + 0,0043 \frac{184 \cdot 25}{93} \cdot 10^3 = 694, \quad (2.15)$$

де  $H_1$  – розрахункова площа поверхні нагріву,  $\text{м}^2$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\alpha_{л} = \alpha_{н} a C_2 = 144,3 \cdot 0,12 \cdot 0,94 = 16,24. \quad (2.16)$$

Коефіцієнт омивання

$$\omega = 1.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згорання до стінки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\alpha_1 = \omega \alpha_K + \alpha_{л} = 1 \cdot 114 + 16,24 = 130,24. \quad (2.17)$$

Коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$K = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \alpha_1} = \frac{130,24}{1 + 0,004 \cdot 130,24} = 83,4. \quad (2.18)$$

Кількість теплоти, сприйнятої поверхнею нагріву,  $\text{кДж}/\text{м}^3$



$$Q_1 = \frac{H_1 K \Delta T}{V_{пз} \cdot 10^3} = \frac{93 \cdot 83,4 \cdot 582}{25 \cdot 10^3} = 180,07. \quad (2.19)$$

Ентальпія продуктів згоряння на виході з пакету, кДж/м<sup>3</sup>

$$I''_{пз} = I^0_{пз} - \frac{Q}{\varphi} = 12800 - \frac{180,07}{0,98} = 1095. \quad (2.20)$$

Температури продуктів згоряння на виході з пакета, К

$$T_{пз} = 1012.$$

Кількість пари, виробленої 1 випарним пакетом, кг/с

$$D = \frac{QV}{(i'' - i')} = \frac{180,07 \cdot 25}{(2796,8 - 893)} = 2,36. \quad (2.21)$$

В процесі розрахунку I випарного пакету були збільшені довжини змійовиків і їх кількість в пакеті, шляхом зміни подовжнього і поперечного кроків.

Розрахункова площа поверхні нагріву склала 93 м<sup>2</sup>. Базова площа поверхні нагріву складала 60 м<sup>2</sup>.

#### 2.4.2 Розрахунок пароперегрівача

Температура перегрітої пари, К

$$T_{пш} = 653.$$

Ентальпія перегрітої пари, кДж/кг

$$i_{III} = 3210,7.$$

Кількість теплоти, сприйнятої пароперегрівачем, кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_{III} = \frac{D(i_{III} - i_{III})}{V_{PC}} = \frac{7,68(3210,7 - 2796,8)}{25} = 127,14. \quad (2.22)$$

Температура продуктів згорання після пароперегрівача, К

*прямотечія*

$$\Delta T_{PP} = \frac{(T_{ПЗ} - T_{НП}) - (T''_{ПЗ} - T''_{НП})}{2,3 \lg \frac{\Delta T_B}{\Delta T_M}} = \frac{(1010 - 653) - (935 - 482)}{2,3 \lg \frac{453}{357}} = 364,9; \quad (2.23)$$

*протитечія*

$$\Delta T_{ПРО} = \frac{(T'_{ПЗ} - T'_{НП}) - (T''_{ПЗ} - T''_{НП})}{2,3 \lg \frac{\Delta T_B}{\Delta T_M}} = \frac{(1010 - 482) - (896 - 653)}{2,3 \lg \frac{528}{243}} = 367. \quad (2.24)$$

Розрахунковий температурний напір, К

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{PP} + \Delta T_{ПРО}}{2} = \frac{367 + 364,9}{2} = 365,8. \quad (2.25)$$

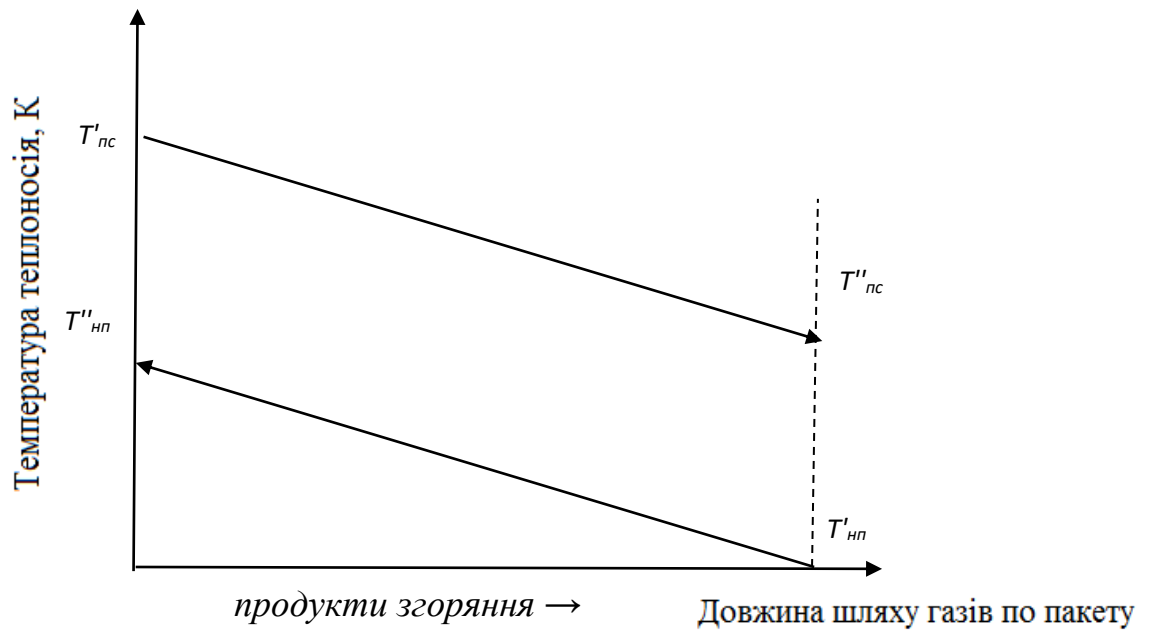


Рисунок 2.3 – Температурний графік пароперегрівача

Середня температура пари, К

$$\bar{T} = \frac{T_{шт} + T_{нп}}{2} = \frac{653 + 482}{2} = 567,5. \quad (2.26)$$

Розрахункова температура потоку, К

$$T_{пот} = \bar{T} + \Delta T = 567,5 + 365,8 = 933,3. \quad (2.27)$$

Середній об'єм продуктів згорання, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V = 1.$$

Витрата продуктів згорання, м<sup>3</sup>/с

$$V = \frac{V \cdot V_{пз}^0 \cdot T_{пот}}{273} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 960,1}{273} = 85,4. \quad (2.28)$$

Площа живого перетину для проходу продуктів згоряння, м<sup>2</sup>

$$F = 6,96.$$

Коефіцієнт омивання

$$\omega = 1.$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_{\kappa} = C_z \cdot C_s \cdot C_{\phi} \cdot \alpha_n = 1 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 107 = 102,8. \quad (2.29)$$

Сумарна поглинаюча здатність трьохатомних продуктів згоряння, м·МПа

$$p_n \cdot S = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) \cdot S \cdot p = 0,225 \cdot 0,122 \cdot 0,1 = 0,0275. \quad (2.30)$$

Сумарна сила поглинання продуктів згоряння

$$KPS = K_z \cdot r_n \cdot Sp = 7,3 \cdot 0,225 \cdot 0,122 = 0,123. \quad (2.31)$$

Температура забрудненої стінки, К

$$T_3 = \bar{T}_n + \left( \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \cdot \frac{Q_{n,n} V_{n,3}^0}{H_{n,n}} \cdot 10^3 = 567,5 + \left( 0,004 + \frac{1}{1163,8} \right) \cdot \frac{127,14 \cdot 25}{140} \cdot 10^3 = 694. \quad (2.32)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_{\lambda} = \alpha_n \cdot a \cdot C_z = 144,4 \cdot 0,132 \cdot 0,95 = 14,2. \quad (2.33)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згорання до стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_1 = \omega \cdot \alpha_{\kappa} + \alpha_{\lambda} = 1 \cdot 105 + 21,4 = 126,4. \quad (2.34)$$

Середній питомий об'єм пари, м<sup>3</sup>/кг

$$v = \frac{v + v}{2} = \frac{0,1662 + 0,1066}{2} = 0,1364. \quad (2.35)$$

Площа живого перетину для проходження пари, м<sup>2</sup>

$$f_n = 0,026.$$

Середня швидкість пари, м/с

$$w = \frac{Dv_n}{f_n} = \frac{7,68 \cdot 0,1364}{0,026} = 40,2. \quad (2.36)$$

Коефіцієнт передачі тепла від стінки до пари Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_2 = C_d \cdot \alpha_n = 1,02 \cdot 1163 = 1198,8 \quad (2.37)$$

Коефіцієнт забруднення, м<sup>2</sup>·К/Вт

$$\varepsilon = 0,0043.$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$K = \frac{\alpha_1}{1 + \left( \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2} \right) \alpha_1} = \frac{117}{1 + \left( 0,0043 + \frac{1}{1198,8} \right) 117} = 73,09. \quad (2.38)$$

Розрахункова площа поверхні нагріву пароперегрівача, м<sup>2</sup>

$$H_{n.n} = \frac{Q_{n.n} \cdot V_{n.з}^0}{K \cdot \Delta T} = \frac{127,14 \cdot 25 \cdot 10^3}{73,09 \cdot 365,8} = 119,02. \quad (2.39)$$

Кількість пари, виробленої пароперегрівачем, кг/с

$$D = \frac{Q \cdot V_{n.з}}{(i'' - i')} = \frac{127,14 \cdot 25}{(3210,7 - 2796,8)} = 7,68. \quad (2.40)$$

В процесі розрахунку пароперегрівача були збільшені довжини змійовиків і їх кількість в пакеті, шляхом зміни подовжнього і поперечного кроків. Розрахункова площа поверхні нагріву склала 120 м<sup>2</sup>. Базова площа поверхні нагріву складала 87 м<sup>2</sup>.

#### 2.4.3 Розрахунок II, III випарного пакета

Температура продуктів згорання на виході з пакету, К

$$T_{n.з}'' = 603.$$

Розрахунковий температурний натиск, К

$$\Delta T = \frac{(T'_{n.з} - T_{n.n.}) - (T''_{n.з} - T_{n.n.})}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta T_{\sigma}}{\Delta T_M}} = \frac{(896 - 482) - (603 - 482)}{2,3 \cdot \lg \frac{414}{121}} = 246. \quad (2.41)$$

Розрахункова температура потоку, К

$$T_{nom} = T_{n.n.} + \Delta T = 482 + 246 = 728. \quad (2.42)$$

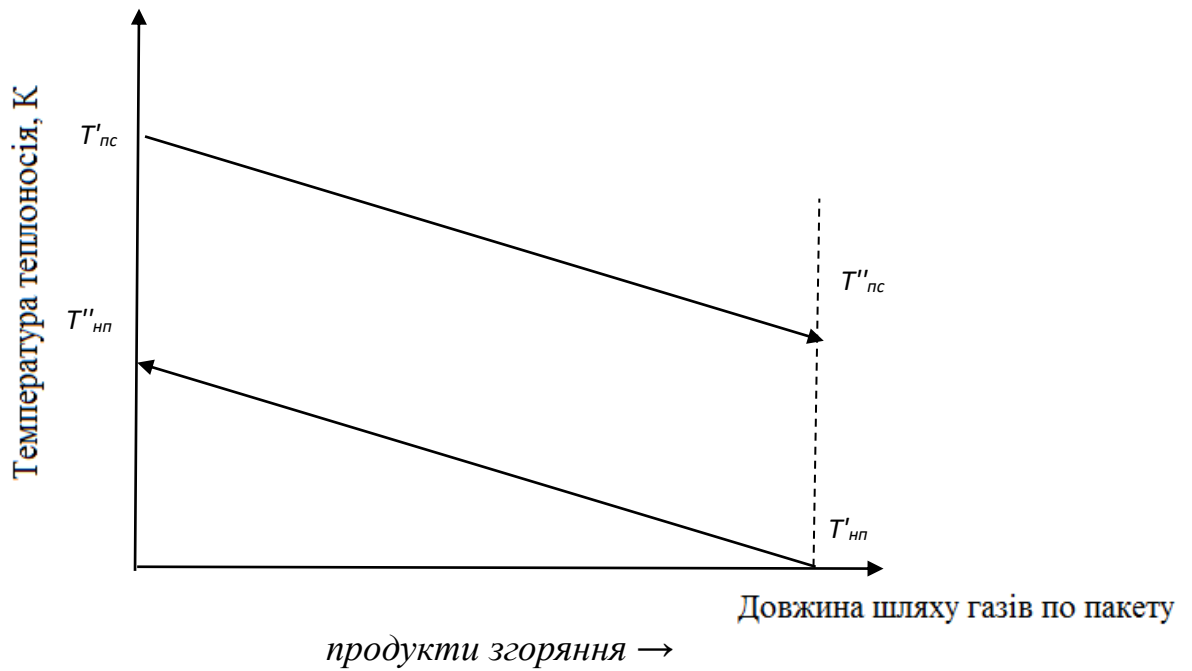


Рисунок 2.4 – Температурний графік II, III випарного пакету (протитечія).

Середній об'єм продуктів згоряння,  $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V=1,025.$$

Витрата продуктів згоряння,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$V_{n.c.} = \frac{V \cdot V_{n.з}^0 \cdot T_{nom}}{273} = \frac{1,025 \cdot 25 \cdot 728}{273} = 68,33. \quad (2.43)$$

Площа живого перетину для проходу продуктів згорання,  $\text{м}^2$

$$F=6,96.$$

Середня швидкість продуктів згоряння,  $\text{м}/\text{с}$

$$\omega_{n.з} = \frac{V_{n.з}}{F} = \frac{68,33}{6,96} = 9,7. \quad (2.44)$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot C_\phi \cdot \alpha_n = 1 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 90,7 = 88,88. \quad (2.45)$$

Сумарна поглинаюча здатність трьохатомних продуктів згорання, м·МПа

$$p_n S = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) S \cdot p = (0,1045 + 0,12) \cdot 0,1 \cdot 0,122 = 0,00268. \quad (2.46)$$

Сумарна сила поглинання продуктів згорання

$$KPS = K_z \cdot r_n \cdot Sp = 41 \cdot 0,224 \cdot 0,122 \cdot 0,1 = 0,112. \quad (2.47)$$

Коефіцієнт забруднення, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\varepsilon = 0,0043.$$

Температура забрудненої стінки, К

$$T_3 = T_{н.н.} + \varepsilon \frac{Q_1 \cdot V_{н.с}^0}{H_1} \cdot 10^3 = 482 + 0,0043 \frac{471 \cdot 25}{468} \cdot 10^3 = 554. \quad (2.48)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_l = \alpha_n \cdot a \cdot C_z = 573 \cdot 0,111 \cdot 0,95 = 6,07. \quad (2.49)$$

Коефіцієнт омивання

$$\omega = 1.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згорання до стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·К)



$$\alpha_1 = \omega \cdot \alpha_k + \alpha_n = 1 \cdot 88,88 + 6,07 = 94,95. \quad (2.50)$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$K = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1} = \frac{94,95}{1 + 0,045 \cdot 94,95} = 67,42. \quad (2.52)$$

Кількість теплоти, сприйнятої поверхнею нагріву, кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_1 = \frac{H_1 \cdot K \cdot \Delta T}{V_{n.c} \cdot 10^3} = \frac{468 \cdot 67,42 \cdot 246}{25 \cdot 10^3} = 465. \quad (2.53)$$

Ентальпія продуктів згоряння на виході з пакету, кДж/м<sup>3</sup>

$$I''_{n.з} = I^0_{n.з} - \frac{Q}{\varphi} = 928,1 - \frac{465}{0,98} = 454,8. \quad (2.54)$$

Температура продуктів згоряння на виході з пакета, К

$$T_{n.з.} = 588.$$

Кількість пари, виробленої II, III випарними пакетами, кг/с

$$D = \frac{Q \cdot V_{nc}}{(i'' - i')} = \frac{465 \cdot 25}{(2796,8 - 893)} = 6,11. \quad (2.55)$$

В процесі розрахунку II, III випарного пакету були збільшені довжини змійовиків і їх кількість в пакеті, шляхом зміни подовжнього і поперечного кроків. Розрахункова площа поверхні нагріву склала 468 м<sup>2</sup>. Базова площа поверхні нагріву складала 463 м<sup>2</sup>.

#### 2.4.4 Розрахунок економайзера

Температура продуктів згоряння перед економайзером, К

$$T'_{n.з.} = 588.$$

Ентальпія продуктів згоряння перед економайзером, кДж/м<sup>3</sup>

$$I'_{n.з.} = 454,8.$$

Температура продуктів згоряння після економайзера, К

$$T''_{ек} = 503.$$

Ентальпія продуктів згоряння після економайзера, кДж/м<sup>3</sup>

$$I_{ек} = 319,22.$$

Тепло, поглинене економайзером, кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_e = \varphi \cdot (I'_{n.з.} - I''_{n.з.} + I_{вз}) = 0,98 \cdot (454,8 - 319,22 + 0,84) = 133,69. \quad (2.56)$$

Тепло, передане в економайзері 1 кг води, кДж/кг

$$\Delta i = \frac{Q_e \cdot V_{n.з.}^0}{(1 + 0,01 \cdot P) \cdot D_{к}} = \frac{133,69 \cdot 25}{1,08 \cdot 7,68} = 402,95. \quad (2.57)$$

Ентальпія води після економайзера, кДж/кг

$$i''_e = i' + \Delta i = 420,6 + 402,95 = 823,55. \quad (2.58)$$

Температура води після економайзера, К

$$T''_e = 466.$$

Розрахунковий температурний напір, К

$$\Delta T = \frac{(T'_{п.з} - T''_e) - (T''_{п.з} - T'_e)}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta T'_e}{\Delta T''_e}} = \frac{(588 - 466) - (503 - 374)}{2,3 \cdot \lg \frac{129}{122}} = 125,46. \quad (2.59)$$

Середня температура води, К

$$\bar{T}_e = \frac{T''_e + T'_e}{2} = \frac{466 + 374}{2} = 420. \quad (2.60)$$

Розрахункова температура води, К

$$T_{ном} = \bar{T}_e + \Delta T = 420 + 123,46 = 545,46. \quad (2.61)$$

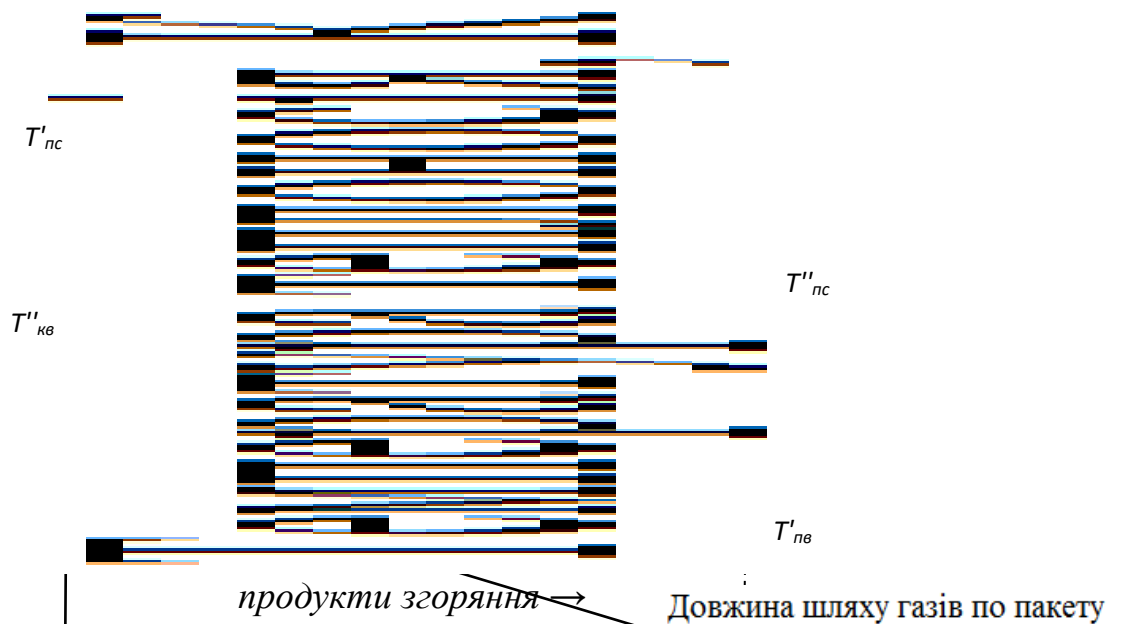


Рисунок 2.5 – Температурний графік економайзера (протитечія)

Середній об'єм продуктів згорання, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V=1,04.$$

Витрата продуктів згорання, м<sup>3</sup>/с

$$V_{n.z.} = \frac{V \cdot V_{n.z}^0 \cdot T_{nom}}{273} = \frac{1,04 \cdot 25 \cdot 545,4}{273} = 52,1. \quad (2.62)$$

Площа живого перетину для проходу продуктів згорання, м<sup>2</sup>

$$F=5,38.$$

Середня швидкість продуктів згорання, м/с

$$\omega_{n.c} = \frac{V_{n.c}}{F} = \frac{52,1}{5,38} = 9,7. \quad (2.63)$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_{\kappa} = C_z \cdot C_s \cdot C_{\phi} \cdot \alpha_n = 1 \cdot 1,02 \cdot 0,98 \cdot 107 = 107,03. \quad (2.64)$$

Питомий об'єм води (при T = 373 К), м<sup>3</sup>/кг

$$v_g = 0,00104.$$

Швидкість води на вході до економайзеру, м/с

$$w_g = \frac{(1 + 0,01 \cdot P) \cdot D_{\kappa} \cdot v_g}{f} = \frac{(1 + 0,8) \cdot 7,16 \cdot 0,001104}{0,0127} = 0,63. \quad (2.65)$$

Сумарна поглинаюча здатність трьохатомних продуктів згорання, м·МПа

$$p_n Sp = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) Sp = (0,101 + 0,116) \cdot 0,122 \cdot 0,1 = 0,0026. \quad (2.66)$$

Сумарна сила поглинання продуктів згоряння

$$KPS = K_z \cdot r_n \cdot Sp = 45 \cdot 0,217 \cdot 0,122 \cdot 0,1 = 0,119. \quad (2.67)$$

Коефіцієнт забруднення, (м<sup>2</sup>·К)/Вт

$$\varepsilon = 0,005.$$

Температура забрудненої стінки, К

$$T_3 = T_{н.п.} + \varepsilon \cdot \frac{Q_1 \cdot V_{н.з}^0}{H_1} \cdot 10^3 = 420 + 0,005 \cdot \frac{133,69 \cdot 25}{370} \cdot 10^3 = 465. \quad (2.68)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_n = \alpha_n \cdot a \cdot C_z = 27,9 \cdot 0,112 \cdot 0,98 = 3,06. \quad (2.69)$$

Коефіцієнт омивання

$$\omega = 1.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від продуктів згоряння до стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\alpha_1 = \omega \cdot \alpha_k + \alpha_n = 1 \cdot 107,03 + 3,06 = 110,09. \quad (2.70)$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$K = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1} = \frac{110,09}{1 + 0,005 \cdot 110,09} = 71,84. \quad (2.71)$$

Необхідна площа поверхні нагріву, м<sup>2</sup>

$$H_e = \frac{Q_3 \cdot V_{n.з}^0}{K \cdot \Delta T} \cdot 10^3 = \frac{133,69 \cdot 25}{71,34 \cdot 125,46} = 373,4. \quad (2.72)$$

Приймаємо площу поверхні нагріву, м<sup>2</sup>

$$H_s = 374.$$

В процесі розрахунку економайзера були збільшені довжини змійовиків. Розрахункова площа поверхні нагріву склала 374 м<sup>2</sup>. Базова площа поверхні нагріву складала 321 м<sup>2</sup>.

## 2.5 Аеродинамічний розрахунок котла

Рух продуктів згоряння і повітря, що розглядається, як рух в'язких рідин, має турбулентний характер і відбувається при змінній температурі, оскільки продукти згоряння охолоджуються, а повітря за наявності повітропідігрівача нагрівається.

При русі продуктів згоряння, що володіють в'язкістю, виникають опори, які перешкоджають руху. На подолання цих опорів витрачається частина енергії, якою володіє рухомий потік рідини. Опори обумовлені силами тертя рухомого потоку об стінки каналу і зростанням внутрішнього тертя в потоці при виникненні на його шляху різних перешкод.

Для подолання опорів рухомий потік повинен володіти певним надлишковим натиском, який у міру просування по тракту падатиме. Аеродинамічний опір якого або ділянки тракту складається з опору тертя і місцевих опорів і опорів омиваних пучків труб.

Аеродинамічний опір котла з поперечним обмиванням поверхні нагріву визначається

$$\Delta h = \Delta h_{\text{поп}} + \Delta h_{\text{пов}} + \Delta ht, \quad (2.73)$$

де  $\Delta h_{\text{поп}}$  - опір поперечного обмивання гладкотрубних пучків;

$\Delta h_{\text{пов}}$  - місцевий опір повороту газоходу при П- подібній компоновці котла;

$\Delta ht$  - опір обумовлений зміною динамічного напору.

Опір пучків, Па

$$\Delta h_{\text{поп}} = \Delta h_0 + \xi_0 \cdot (z + 1), \quad (2.74)$$

де  $\Delta h_0$  - опір одного поперечного ряду труб, визначається залежно від швидкості і температури в пучку;

$z$  - число труб по глибині шахового пучка;

$\xi_0 = C_s C_D$  - коефіцієнт опору форми шахового пучка, залежний від відношення  $\sigma_1 = \frac{s_1}{d}$  та  $\varphi = \frac{s_1 - d}{s'_2 - d}$ , а також від числа Re.

Діагональний шаг труб, м

$$s'_2 = \sqrt{\frac{1}{4} s_1^2 + s_2^2}. \quad (2.75)$$

Для всіх пучків котла геометричний параметр однаковий

$$s'_2 = \sqrt{\frac{1}{4} 0,07^2 + 0,05^2} = 0,061;$$

$$\varphi = \frac{0,07 - 0,025}{0,061 - 0,25} = 1,2.$$

В залежності від цього параметра визначається  $\xi_0$

$$\xi_0 = 1,2.$$

Опір повороту газоходу

$$\Delta h_{nos} = \varphi_{nos} \cdot \omega^2 / 2 \cdot \gamma. \quad (2.76)$$

Коефіцієнт місцевого опору

$$\varphi_{nos} = \varphi_0 \cdot k_\alpha. \quad (2.77)$$

де  $\varphi_0 = 1,2$  - початковий коефіцієнт опору;

$k_\alpha = 1,4$  - поправочний коефіцієнт залежний від кута повороту.

$$\varphi_{nos} = 1,2 \cdot 1,4 = 1,68.$$

Розрахунок опору пучків приведений в таблиці 2.4

Швидкість газу в повороті, м/с

$$\omega = \frac{V \cdot T}{3600 \cdot F \cdot 273} = \frac{92800 \cdot 563}{3600 \cdot 6,2 \cdot 273} = 9,7. \quad (2.78)$$

Опір повороту газоходу, Па

$$\Delta h_{nos} = \varphi_{nos} \frac{\omega^2 \gamma}{2} = 1,68 \cdot 42 = 25,4. \quad (2.79)$$

де  $\frac{\omega^2 \gamma}{2}$  - динамічний тиск, Па.

$$\frac{\omega^2 \gamma}{2} = \frac{9,7^2 \cdot 0,54}{2} = 42.$$



Таблиця 2.4 - Опір поперечно омиваних пучків труб

Найменування поверхні нагріву	Середня швидкість газу, м/с	Середня температура газів, °С	z	z+1	$\Delta h_0$	$\xi_0$	$\Delta h_{nom}$
I випарний пакет	13,6	1064	7	8	12,26	1,2	117,6
Пароперегрівач	12,2	933	11	12	9,81	1,2	141,2
II та III випарні пакети	9,7	728	53	54	8,3	1,2	537,8
I, II, III економізери пакети	9,7	545	57	58	8,83	1,2	588,9
Сумарний опір пучків труб	1385						

Опір, обумовлений зміною динамічного натиску, Па

$$\Delta ht = \frac{2(T' - T'')}{T_{cp}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \gamma}{2} = \frac{2(1064 - 545)}{804,5} \cdot 42 = 54,19, \quad (2.80)$$

де  $T', T'', T_{cp}$  - вхідна, вихідна і середня температура потоку, °С

Повний аеродинамічний опір котла, Па

$$\Delta h = \Delta h_{nom} + \Delta h_{нов} + \Delta ht = 1385,5 + 42 + 54,19 = 1481,7. \quad (2.81)$$

## 2.6 Вибір димососу

У котельних застосовуються, в основному, вентилятори і димососи однобічного всмоктування правого або лівого обертання. Димососи від вентиляторів відрізняються збільшеною товщиною лопаток робочого колеса, наявністю накладок біля їх кореня і броні по створюючому рагликові. В даний час промисловість випускає димососи типу ДН.

У передпусковий період перевіряється правильність установки димососов згідно з паспортними даними. По місцю перевіряється вузол кріплення робочого колеса на валу (наявність шпонки, кріпильного болта). Вимірюється зазор між вхідним отвором колеса і кільцем вхідного конуса (повинно бути  $0,002 \cdot D$ , де  $D$  – діаметр колеса; довжина перекриття робочим колесом вхідного кільця повинна складати  $0,01 \cdot D$ ).

Для забезпечення надійної роботи котла-утилізатора вибраний відцентровий димосос однобічного всмоктування ДН-21МГМ, тип 0,55-40-1 [2. рис. VII-32]. Характеристики димососу наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Характеристика димососу ДН-21МГМ 0,55-4-1 машинобудівного заводу «СИБМАШ»

Частота обертання валу, об/хв	980
Продуктивність, тис м <sup>3</sup> /год	142
Повний тиск, кПа	5,856
Потужність на валу, кВт	187
Максимальна допустима частота обертання, об/хв	1000
Максимальний ККД	85%
Діаметр робочого колеса, мм	2100
Температура потоку, °С	250
Запиленість потоку, г/м <sup>3</sup>	8

## 2.7 Вибір обладнання ХВО

Видалення розчинених корозійно-агресивних газів  $O_2$  і  $CO_2$  і  $NH_3$  з живильної води теплових мереж здійснюється шляхом термічної деаерації.

Термічна деаерація води заснована на законі розподілу речовини між фазами і є окремим випадком його застосування, згідно з яким розчинність газу у воді з врахуванням його парціального тиску в просторі під водою характеризується наступною залежністю

$$G = k_p \cdot p_g = k_p (p - p_n), \quad (2.82)$$

де  $G$  - розчинність газу у воді мг/кг або г/т;

$k_p$  - коефіцієнт розчинності газу, залежний від температури води мг/(кг мм.рт. стовпа) або г/(т.мм.рт.ст.);

$p$  - сумарний тиск газу і водяної пари в просторі під водою, мм.рт.ст.;

$p_n$  - парціальний тиск водяної пари в тому ж просторі, мм.рт.ст.;

$p_g$  - парціальний тиск газу в тому ж просторі мм.рт.ст.

Як видно з вираження (2.82) розчинність газу у воді дорівнює нулю коли  $p_n = p$ , що має місце при кипінні води. Чисельне значення тиску в просторі під водою практично не впливає на ефект деаерації. Тому термічну деаерацію можна здійснити при тиску як вище так і нижче атмосферного, якщо температура води рівна температурі кипіння при даному тиску.

Проте доведення нерухомої води до стану кипіння ще не забезпечує повного видалення з неї розчинених газів навіть у тому випадку, коли парціальний тиск дорівнює нулю.

Процес термічної деаерації є поєднанням паралельно протікаючих і зв'язаних процесів нагріву води, що деаерується до температури кипіння, дифузії розчинених у воді газів десорбції їх, причому роль останнього процесу є визначальною.

Найважче видалити з води аміак, розчинність якого при температурі 100°C приблизно в 3000 разів вище за розчинність кисню і в 150 разів вище розчинності вуглекислоти. При спільній присутності в деаераційній воді вуглекислоти і аміаку вони утворюють особливо леткий вуглекислий амоній, що ще більш погіршує ефективність термічної деаерації.

Апарати, призначені для термічної деаерації, називаються термічними деаераторами.

Термічні деаератори живильної води відповідно до ГОСТ 16860-71 умовно діляться на наступні типи:

- вакуумні - ДСВ, що працюють при тиску до 0,3 кгс/см<sup>2</sup>;
- атмосферні- ДСН, що працюють при тиску 1,2 кгс/см<sup>2</sup>;
- підвищеного тиску -ДСП, що працюють при тиску від 6 до 8 кгс/см<sup>2</sup>.

Конструкції термічних деаераторів повинні задовольняти наступним вимогам:

- забезпечити надійне підігрівання води до температури кипіння, відповідної тиску в деаераторі;
- точне розбризування води з метою створення максимальної поверхні для виділення газів;
- достатній час перебування води в деаераторі, необхідне для виділення газів і розкладання бікарбонату натрію;
- хороше видалення з деаератора газів, що виділилися з води;
- точне регулювання підведення гріючої пари для підтримки температури кипіння води і вентиляції деаератора.

На всьому шляху між парою і водою в деаераторі повинні забезпечуватися чітко виражена протитечія і максимальна різниця між рівновагою, тиском пари у воді і його парціальним тиском під водою. У деаераторі не повинно бути застійних процесів ні по воді ні по парі. Для нашої роботи підійде двоступінчатий деаератор ДСН із затопленим барботажем пристроєм.

Деаератором (рис. 2.6) є горизонтальний циліндровий бак, на якому з одного боку розташована деаераційна колонка 2, а з іншого затоплений барбатажний пристрій. Хімічно очищена вода поступає в деаераційну колонку по трубопроводу 7. Потік основного конденсату подається в деаератор по трубопроводу 1. Обидва ці потоки змішуються на першій верхній тарілці деаераційної колонки, з якої вода струминними потоками зливається на другу колонку, а від туди в бак-акумулятор 14.

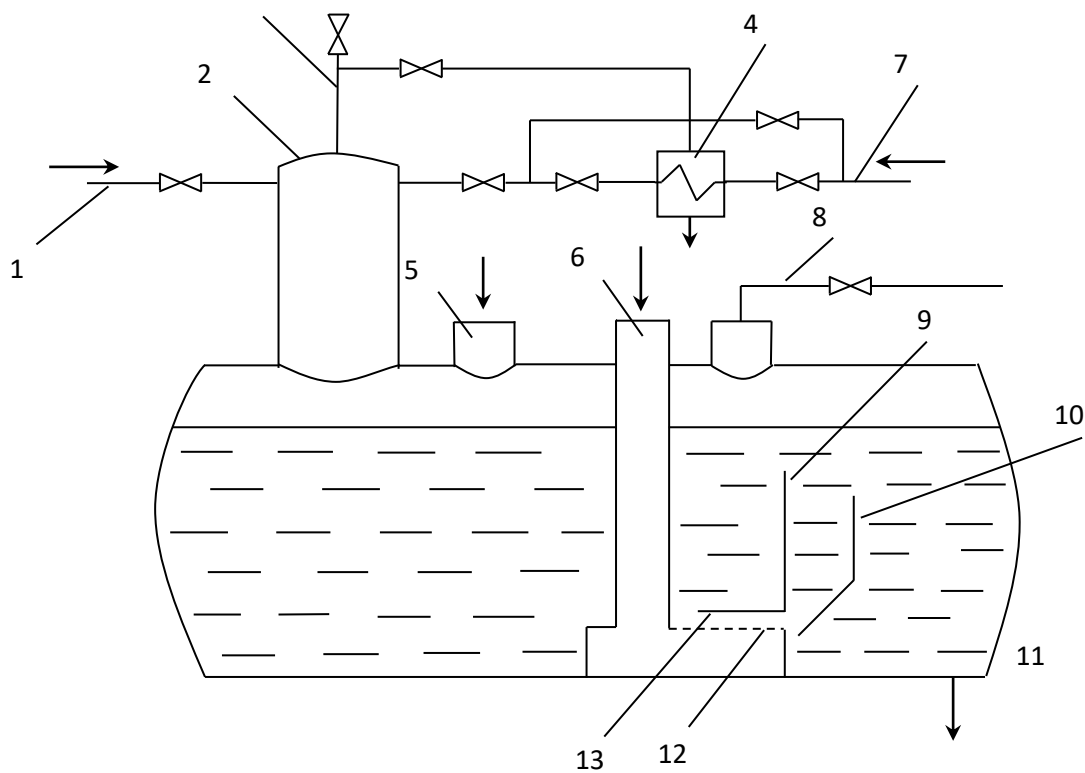


Рисунок 2.6 - Деаератор

Після витримки в баку-акумуляторі вода прямує в барбатажний пристрій, що є дірчастим листом 12, під який подається пара по трубопроводу 6. Через отвори дірчастого листа пар барбатуює в шар води, повільно рухомий по каналу 13 у бік трубопроводу 11 відведення деаерованої води з деаератора. Листи 9 і 10 утворюють вертикальний канал, в якому скипає вода, що виходить з барбатажного пристрою.

Пара після барботажного пристрою потрапляє в паровий простір бака і рухається до колони над поверхнею води. При цьому забезпечується хороша вентиляція парового простору бака від газів, що виділилися з води. Попавши в деарационную колону, пара піднімається по ній вгору і омиває струї води, що стікають з тарілок. Пара, що не сконденсувалася, і гази, виділилися з води, видаляються з деаератора по трубопроводу 3 і поступають в охолоджувач випара 4, де відбувається прогрівання хімічно очищеної води. У охолоджувачі пари пар конденсує, а гази, що виділилися, видаляються в атмосферу.

Барботаж пари сприяє досягненню повнішого видалення з води розчинених газів, що проскочили унаслідок ряду причин з поверхні деаератора в бак-акумулятор.

Надійна експлуатація термічного деаератора можлива лише при автоматичній підтримці в ньому постійного тиску. Завдяки цьому забезпечується, незалежно від його теплового і гідравлічного навантаження, постійність температурного режиму деаерації, необхідна для найбільшого видалення газів і живильної води.

## 2.8 Принципова схема трубопроводів котла-утилізатора в межах котельної

Живильна вода подається з центральної насосно-деараторної станції по двох сторонах живлення котлів: верхньою №1 і нижньою №2. Кожен котел підключений до збірок живлення трубопроводами. На живильних трубопроводах встановлений один імпульсний регулювальник живлення типу ОРМ з відсікаючими вентилями №4 і №5 і обвідною лінією з вентилями №3. На живильній лінії встановлені: вимірювальна шайба, манометр. Дані схеми живлення дозволяють живити котел будь-якої збірки через регулювальник живлення або в обхід нього. З барабана котла котельна вода поступає по двох трубопроводах, створюючих колектор, на всас

циркуляційних насосів. На всасі насосів є засувки №20, 22 і на нагнітанні регулювальні вентиля №21, 23.

На нагнітанні кожного насоса є зворотний клапан. Для виміру витрати циркуляційної води є вимірювальна шайба встановлена на загальній нагнітальній лінії циркуляційних насосів.

Циркуляційні насоси подають воду на вхідні колектори випарних змішувачів через фільтр (шлаковіддільник). Проїшовши випарні змішувачі, котельна вода перетворюється на пароводяну суміш, яка поступає в циклон барабана.

Насичена пара з барабана поступає по паропроводу у вхідний колектор пароперегрівача. Відбір проб насиченої пари здійснюється з паропроводу насиченої пари.

Проїшовши пароперегрівач, насичена пара перегрівается до температури вище за температуру насичення пари, відповідну тиску в котлі. Перегріта пара з вихідного колектора пароперегрівача поступає в паропровід перегрітої пари на якому встановлена відсікаюча засувка, вимірювальна діафрагма, термопара, манометр, запобіжний клапан. Перегріта пара з котла № 1 поступає в паропровід ЛПЦ-2 або ЛПЦ-1.

Для видалення з котла шламу, що утворився, котел має періодичне продування барабана, фільтру, вихідних колекторів випарних змішувачів, вхідного колектора пароперегрівача, паропроводу перегрітої пари.

Періодичне продування дозволяє також швидко приводити відповідно до норм солемісту котельної води і у разі потреби може бути використана для швидкого спуску частини котельної води. Крім того, є спеціальна лінія для аварійного скидання води з барабана котла. Лінії дренажів колекторів пароперегрівача і паропроводу перегрітої пари виведені в окремий колектор.

Дренажні колектори кожного з двох котлів, встановлених в котельній, об'єднані в один загальний трубопровід, який підведений до барбатури. З дренажних колекторів котла є скидання в шламовий приямок. З шламового приямку за допомогою парового інжектора вода відкачується в шламопровід.

У трубному прольоті встановлені два барбатера, до яких підведені дренажі КУ №1,2.

У кожній котельній встановлені точки для відбору проб котельної води з барабана котла і відбору проб насиченої пари з паропроводу насиченої пари. Уздовж стінки мартенівського цеху прокладений колектор технічної води високого тиску, який врізається в мартенівський трубопровід високого тиску по перемичках в районі КУ №7,2.



### 3 КВП ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Застосування автоматизованого управління дає значні переваги: підвищує безперебійність, чіткість і надійність роботи, оскільки автоматична апаратура швидко реагує на зміну режиму роботи; знижує експлуатаційні витрати внаслідок зменшення числа обслуговуючого персоналу, а також витрат на опалення та освітлення приміщень; знижує будівельну вартість, оскільки обладнання концентрується на меншій площі, і відпадає необхідність у пристрої побутових і допоміжних приміщень; збільшує термін служби обладнання і приладів завдяки своєчасному виключенню з роботи агрегатів при виникненні неполадок в їх роботі; виключає участь персоналу в технологічних операціях, що протікають в антисанітарних умовах.

#### 3.1 Обґрунтування необхідності контролю, регулювання і сигналізації технологічних параметрів

Регулювання живлення котельних агрегатів і регулювання тиску в барабані котла-утилізатора головним чином зводиться до підтримки матеріального балансу між відведенням пари і подачею води. Параметром, що характеризує баланс, є рівень води в барабані котла. Надійність роботи котельного агрегату багато в чому визначається якістю регулювання рівня. При підвищенні тиску, зниження рівня нижче за допустимі межі, може привести до порушення циркуляції в трубах випарних пакетів, внаслідок чого станеться підвищення температури стінок труб, що обігріваються, і їх перегрів.

Підвищення рівня також веде до аварійних наслідків, оскільки можливий закид води в пароперегрівач, що викличе вихід його з ладу. У зв'язку з цим, до точності підтримки заданого рівня пред'являються дуже високі вимоги. Якість регулювання живлення також визначається рівністю подачі живильної води. Необхідно забезпечити рівномірне живлення котла

водою, оскільки часті і глибокі зміни витрати живильної води можуть викликати значну температурну напругу в металі економайзера.

Барабанам котла-утилізатора з примусовою циркуляцією властива значна акумулююча здатність, яка виявляється в перехідних режимах. Якщо в стаціонарному режимі положення рівня води в барабані котла визначається станом матеріального балансу, то в перехідних режимах на положення рівня впливає велика кількість обурень. Основними з них є зміна витрати живильної води, зміна пароз'єму котла при зміні навантаження споживача, зміна паровиробництва при зміні температури в газоходах, зміна температури живильної води (рис. 3.1, рис.3.2).

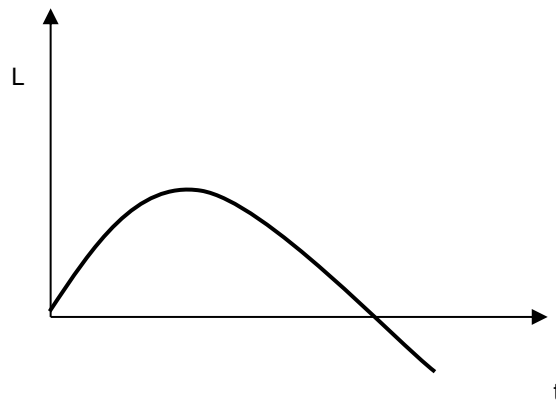


Рисунок 3.1 - Положення рівня води в барабані котла-утилізатора при зниженні рівня нижче за допустимі межі

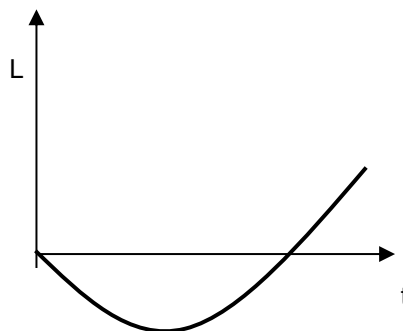


Рисунок 3.2 - Положення рівня води в барабані котла-утилізатора при підвищенні рівня вище за допустимі межі

Система автоматичного регулювання розрядки в газоходах котла зроблена для підтримки постійності розрядки. За відсутності розрядки димові гази підуть в приміщення цеху, що робить неможливою роботу обслуговуючого персоналу.

У живильній воді є розчинені солі, допустима кількість яких визначається нормами. В процесі паротворення ці солі залишаються в котельній воді і поступово накопичуються. Деякі солі утворюють шлам – тверду речовину, що кристалізується в котельній воді. Важча частина шламу скупчується в нижніх частинах барабана і колекторів.

Підвищення концентрації солей в котельній воді вище за допустимі величини може привести до віднесення їх в пароперегрівач. Тому солі, що скупчилися в котельній воді, віддаляються безперервним продуванням, яке в даному випадку автоматично не регулюється. Розрахункове значення продування парогенераторів при сталому режимі визначається з рівнянь балансу домішок до води в парогенераторі. Таким чином, доля продування залежить від відношення концентрації домішок у воді продувальної і живильної. Чим краще якість живильної води і вище допустима концентрація домішок у воді, тим доля продування менша. А концентрація домішок у свою чергу залежить від долі додаткової води, в яку входить, зокрема, доля продувальної води, що втрачається.

Сигналізація параметрів і захисту, що діють на зупинку котла, фізично необхідні, оскільки оператор або машиніст котла не в силах устежити за всіма параметрами функціонуючого котла. Внаслідок цього може виникнути аварійна ситуація. Наприклад, при втраті води з барабана, рівень води в ньому знижується, внаслідок цього може бути порушена циркуляція і викликаний ним перегрів труб випарних пакетів. Захист, що спрацював без зволікання, запобіжить виходу з ладу парогенератора. Надійність захисту значною мірою визначається кількістю, схемою включення і надійністю використовуваних в ній приладів. По своїй дії

захисту підрозділяються на: такі що діють на зупинку парогенератора; зниження навантаження парогенератора; такі що виконують локальні операції.

Система призначена для автоматизованого управління технологічним процесом вироблення перегрітої пари в котлі-утилізаторі за тунельної піччю.

Для створення умов надійної роботи котла-утилізатора необхідно забезпечити підтримку параметрів котла на певному рівні.

Функції по управлінню технологічним процесом, який підлягає автоматизації, наступні:

— контроль технологічних параметрів, їх оцінка і сигналізація виходу параметрів за встановлені межі;

— при підвищенні рівня води в барабані котла на 100 мм вище середнього включається звуковий і світловий сигнали табло «високий рівень»;

— при пониженні рівня води в барабані котла на 100 мм нижче середнього включається звуковий і світловий сигнали табло «низький рівень»;

— при зменшенні витрати циркуляційної води до 80 м<sup>3</sup>/год включається звуковий і світловий сигнали табло «порушення циркуляції»;

— при пониженні тиску в живильних магістралях нижче 1,8 МПа включається звуковий сигнал і включається резервний живильний насос;

— при відхиленні температури (пара, до і після котла) від заданого значення включається світловий сигнал;

— визначення параметрів теплового режиму і температурного режиму котла-утилізатора в різні моменти в тунельної печі, необхідних для здобуття перегрітої пари заданої температури;

— стабілізація параметрів теплового режиму за рахунок подачі природного газу в газорегулювальні пристрої, які розташовані на газоході котла-утилізатора;

- формування, зберігання на зовнішніх носіях і протоколювання по виклику оператора історії зміни параметрів теплового режиму, температурного режиму, а також зміни рівня води в барабані котла;
- інформаційне обслуговування операторів технологічних постів;
- розрахунок техніко-економічних показників роботи котла-утилізатора за рахунок економії палива, в тунельної печі;
- облік роботи системи автоматизації і видача повідомлень в разі відмови технічних засобів автоматизації.

Метою створення системи є:

- поліпшення управління технологічним процесом вироблення перегрітої пари за рахунок надання оперативному персоналу повного об'єму обробленої інформації про хід і результати роботи об'єкту;
- здобуття пари заданих параметрів за рахунок зменшення відхилення температури димових газів;
- скорочення витрати палива, використовуваного в тунельної печі, за рахунок вироблення перегрітої пари.

### 3.2 Вибір і обґрунтування функціональної схеми контролю і управління

Функціональна схема систем автоматизації технологічних процесів є основним технічним документом, що визначає структуру і характер систем автоматизації технологічних процесів, а також оснащення їх приладами і засобами автоматизації.

Розглянувши і проаналізувавши роботу котла-утилізатора, були вибрані схеми контролю і регулювання:

- враховуючи велику інерційність барабана котла, як об'єкту регулювання рівня, для забезпечення стійкої роботи системи регулювання живлення котла-утилізатора здійснюється трьохімпульсною схемою, регулюючим клапаном на лінії подачі живильної води. Система регулювання

складається із зрівняльної судини (11а), вимірювального перетворювача різниці тиску (11б) і сигналізуючого регулюючого пристрою Диск-250 м (11в). При відхиленні рівня води в барабані котла від заданого сигнали від перетворювачів різниці тиску витрати води і пари (8б,9б) поступають до регулятора (11г). З регулювальника сигнал поступає на вхід безконтактного пускача (11е) і через ключ 2SA1 подається на електричний двигун виконавчого механізму (11ж). При такому трьохімпульсному регулюванні стійко підтримується постійний рівень в барабані незалежно від навантаження котла і продуктивності печі;

— витрата циркуляційної води. Система контролю виконується на базі вимірювального перетворювача різниці тиску (10б), який працює в комплексі з блоком живлення і вторинним пристроєм Диск-250 м (10в);

— тиск в живильних магістралях. Система контролю виконана на базі манометра електроконтактного (12а);

— тиск перегрітої пари. Система контролю виконана на базі перетворювача тиску (3а);

— температура перегрітої пари. Вона складається з перетворювача термоелектричного (1а), потенціометра того, що автоматично сигналізує (1б);

— розрідження до і після котла. Система контролю виконана на базі тягомірів (6а,7а). Імпульси узяті від датчиків, встановлених відповідно перед передвключеною секцією в I-ому газоході котла і в II-ому газоході котла.

### 3.3 Захист і сигналізація

Для забезпечення безпечної експлуатації котлоагрегату передбачена система автоматичного припинення подачі димових газів, при відхиленні наступних параметрів від гранично допустимих значень :

- витрати води нижче мінімально допустимого;
- тиску води на виході з котла нижче мінімально допустимого;

- тиску повітря нижче допустимого;
- температури води на виході з котла вище від допустимої;
- зупинки димососа або дутьєвого вентилятора. Спрацювання захисту по одному з перерахованих параметрів супроводжується звуковою та світловою сигналізацією.

В результаті роботи над проектом було проведено аналіз котельні установки, як об'єкта автоматизації. Обрана найбільш підходяща концепція розробки системи управління.

Реалізована логічна модель, графіки функціонування якої підтверджують правильність обраних керівників алгоритмів.

Проведено підбір необхідних для реалізації системи апаратних засобів і розроблений принцип функціонування управління.

Таким чином впровадження системи управління дозволить підвищити ефективність функціонування комплексу гідроочищення за рахунок оптимального режиму роботи компресорної установки, підвищення продуктивності обладнання і оперативності управління технологічним процесом, зниження споживання енергоресурсів, а також знизити аварійність і збільшити термін служби устаткування, зменшити вплив людського фактора у виробничому процесі і, одночасно, підвищити культуру виробництва.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці розглядається як одне з найважливіших соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і економічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних і здорових умов праці робітників у процесі виробництва цегли. Охорона здоров'я робітників і службовців у процесі виконання трудових обов'язків закріплена в кодексі про працю, безпосередньо направленому на створення безпечних і здорових умов праці. Крім того, розроблені і введені в дію численні правила техніки безпеки, санітарії, норми і правила, дотримання яких забезпечує безпеку праці.

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При виробництві сталі в мартенівському цеху присутні шкідливі та небезпечні фактори, характеристика яких наведена в таблиці 4.1.

Підвищення рівня шуму надає шкідливий вплив на організм людини.

Виробниче обладнання повинно відповідати вимогам безпеки протягом всього терміну служби.

При застосуванні сітчастої огорожі повинні дотримуватися зазначені відстані від небезпечного місця до огорожі (Правила ТБ і ПС в ПСМ, частина I).

В цеху виробничий процес робить негативний вплив на якість повітря за рахунок надходження теплових надлишків.



Таблиця 4.1 - Оцінка ступеня небезпеки технологічного процесу.

Найменування цеху	Найменування устаткування, тип, марка	Перелік токсичних, вибухопонебезпечних речовин	Шкідливі і небезпечні фактори
Мартенівський цех	Грейферний кран	Відсутні	Шум, електричний струм, напруга, рухомі частини обладнання
	Заливочний кран	CO, NO <sub>2</sub>	Шум, підвищена температура повітря робочої зони, електричний струм, рухомі частини обладнання, внутрішній заводський транспорт, нагріті стінки технологічного обладнання, вибухопонебезпечні речовини
	Мартенівська піч	CO, NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	

#### 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

До виконання робіт сталевара допускаються особи чоловічої статі, які досягли 18 років, що пройшли медичний огляд і не мають протипоказань, навчені за фахом, атестовані кваліфікаційною комісією, мають посвідчення за професією, пройшли вступний інструктаж, інструктаж на робочому місці, атестовані на 2-у групу по електробезпеці.

Експлуатація мартенівської печі повинна здійснюватися у відповідність до вимог технічної документації, технологічних інструкцій та інструкцій з охорони праці.

Основна робота сталевара полягає в якісному веденні процесу виплавки сталі і безаварійним обслуговуванні печі. Спостереження за виплавою у печі необхідно вести тільки в захисних окулярах. Не допускати присутності сторонніх осіб на робочих майданчиках, зведенні і в контрольному коридорі. При роботі лебідкою бути уважним, стежити за справністю і правильним укладанням троса, надійним кріпленням крюка. Не проходити між вагонами, що стоять один від одного не менше 0,6 м.

Таблиця 4.2 – Карта умов праці

Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
			I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1. Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-
2й клас небезпеки	20,0	2,6	-	-	-	90,8
3й клас небезпеки (вуглецю оксид)	6,0	7,2	1,2	-	-	15,0
2. Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	90	37	-	-	-	20,83
3. Вібрація (загальна і локальна), дБ	80	40	-	-	-	100
4. Шум, дБА						
7. Теплове випромінювання (облучаєма поверхня тіла 50 и більше %), Вт/м <sup>2</sup>	35	30	-	-	-	25
Мікроклімат - температура повітря	18-23	33	-	6	-	55,0
- підвищений рух повітря	0,2-0,4	0,18	-	-	-	90,8
- відносна вологість повітря	40-55	41	-	-	-	90,8

Для забезпечення стабільного режиму роботи мартенівської печі повинні виконуватися такі вимоги:

— пісочний затвор по всій довжині зони підігріву повинен засипатися чистим меленим шамотом, згідно з установленим графіком; відкривати кришки пісочних затворів обережно, металевим гачком, перебуваючи з боку від затвора;

— необхідно стежити і забезпечувати справний стан і щільність вхідних і вихідних шиберів пічного і підподового каналів.

Під час роботи стежити за справністю звукової та світлової сигналізації між сушив і піччю.

Виробниче обладнання цеху повинно відповідати вимогам. Виробниче обладнання повинно відповідати вимогам безпеки протягом усього терміну служби. Рухомі (обертові) частини виробничого обладнання, що є джерелами небезпеки, повинні бути огорожені.

#### 4.3 Виробнича санітарія

Заходи з виробничої санітарії забезпечують раціональне влаштування і використання систем опалення, освітлення і вентиляції.

Якщо є шкідливі і небезпечні чинники то необхідні засоби індивідуального або загального захисту людей.

Для індивідуального захисту органів дихання працюючих необхідно постійне використання засобів захисту. Органи дихання добре захищаються респіраторами ШБ-1 «Лепесток». Їх фільтруюча тканина, виготовлена з дуже тонких волокон перхлорвинила, затримує 99,9% дрібнодисперсного пилу. Носіння респіратора протягом усього робочого часу обов'язково. Для всіх працюючих, передбачено щоденне лікувально-спецодяг та спецвзуття.

*Вентиляція, пилопригнітання.*

При розвантаженні залізничних вагонів з курними матеріалами повинні бути передбачені заходи, що запобігають запилення території.

У всіх виробничих приміщеннях, де можливі виділення пожежонебезпечних або токсичних речовин, під час виробничого процесу припливно-витяжна вентиляція повинна працювати постійно і забезпечувати зниження вмісту шкідливих речовин у цих приміщеннях до ГДК згідно санітарно-гігієнічним вимогам до повітря робочої зони.

При виконанні технологічних процесів повинна забезпечуватися робота всіх аспіраційних установок, передбачених проектом.

На ділянках, де робітники зазнають інтенсивного впливу тепла ( при роботі у топках, завантаження та вивантаження печей тощо), повинні застосовуватися душируючі установки, екрани та інші пристрої для захисту від теплових випромінювань відповідно до чинних норм.

Швидкості подачі повітря в приміщення з джерелами пиловиділення повинні відповідати вимогам.

Очищення повітропроводів місцевої витяжної вентиляції (аспірації) повинна проводитися за графіком, затвердженим головним інженером підприємства. Для зменшення пилосадження в повітропроводах аспіраційних систем слід проводити прокладку їх по можливості з нахилом не менше 45<sup>0</sup>С.

На ділянках аспіраційних повітропроводів, що мають кут нахилу до горизонталі менш кута природного укосу осілого пилу і в інших місцях можливого засмічення повітропроводів слід встановлювати герметичні лючки для прочищення.

Ремонт та очищення вентиляційних пристроїв у цехах, переробних, що пилять, повинні здійснюватися з використанням засобів захисту органів дихання.

Аналіз повітря на запиленість і загазованість повинен проводитися за графіком, затвердженим головним інженером заводу , не рідше двох разів на тиждень на динасових заводах і одного разу на тиждень на інших заводах. Місця забору повітря повинні бути узгоджені з санітарної та технічної інспекціями праці профспілки.

Для локалізації пилевиділення необхідно передбачати:

- герметизацію і аспірацію устаткування;
- зволоження переробляються, допустиме технологічними нормами;
- відсмоктування повітря з бункерів і установку на люках бункерів щільних кришок;
- розвантаження бункерів при заповненні конусної частини їх більш ніж на одну третину;
- прибирання приміщень мокрою (вологою) або пилососами.

Шліфування й різання виробів на верстатах без пристрою пиловідсмоктуючих вентиляційних установок не допускається.

Склади для зберігання матеріалів (чистих оксидів) повинні відповідати вимогам санітарних норм і бути обладнані необхідною вентиляцією і камерами для перетарювання матеріалів.

Мартенівська піч повинна бути обладнана газопилеуловлюючими установками.

Вміст шкідливих речовин у викидах при виробничих процесах не повинно викликати збільшення концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів і у водоймах санітарно-побутового водокористування вище гранично допустимих величин, встановлених «Санітарними нормами».

Контроль температури повітря в цеху здійснюється згідно оптимальним та допустимих мікрокліматичних умовах залежно від характеру виробничих приміщень, пори року і категорії виконуваної роботи.

Таблиця 4.3 - Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень для холодного і перехідного періодів року для робіт середньої важкості Па.

Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с, не більше	
оптимальна	допустима	оптимальна	допустима	оптимальна	допустима
18-20	17-23	60-40	75	0,2	0,3

### *Освітлення.*

При освітленні виробничих приміщень використовується природне освітлення, штучне і суміщене, при якому природне доповнюється штучним освітленням. У виробничих приміщеннях природне освітлення бічне, одностороннє. Штучне освітлення здійснюється газорозрядними лампами і лампами розжарювання. Також передбачено аварійне і евакуаційне освітлення.

Аварійне освітлення роблять для продовження роботи в тих випадках, коли раптове відключення робочого освітлення не дозволяє нормально обслуговувати устаткування. Якнайменша освітленість робочих поверхонь, що вимагають обслуговування при аварійному режимі, повинна складати 5% від загальної освітленості, але не менше 2 лк всередині будівлі і не менше 1 лк на території. Для аварійного і евакуаційного освітлення застосовують лампи розжарювання.

Евакуаційне освітлення передбачається для евакуації людей з приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення, в місцях небезпечних для проходу людей: на сходових клітках, уздовж основних проходів приміщень, біля щитів управління.

Евакуаційне освітлення повинне забезпечувати якнайменшу освітленість в приміщеннях на підлозі основних проходах і на рівнях не менше 0,5 лк, а на відкритих територіях – не менше 0,2 лк. Вхідні двері повинні бути відзначені світловими сигналами-показчиками.

За неробочого часу, співпадаючого з темним часом доби необхідно забезпечити охоронне освітлення. За відсутності спеціальних технічних засобів охорони воно повинне складати 0,5 лк.

#### 4.4 Електробезпека

Ураження електричним струмом відбувається при зіткненні людини з струмоведучими частинами. Небезпека ураження електричним струмом залежить від сили струму, напруги і електроопору людини. Небезпечним напругою для людини є 40 вольт і вище залежно від навколишнього середовища. Електричний струм силою 0,05 ампер вважається небезпечним для життя людини.

В цеху для обпалення цеглі знаходяться електроспоживачі на напругу 380/220В, що живляться від мережі з глухозаземленої нейтраллю (вакуумній прес, автоматика не піч, димососи, вентилятори горілок, витратоміри повітря, регулятори заслінок і т.д.).

Для місцевого освітлення застосовувати переносні світильники з напругою не більше 36 вольт. Виконувати роботу відповідно до кваліфікаційною групою з електробезпеки. При ремонті устаткування необхідно відключити електродвигуни від системи енергопостачання. Відключення провадиться електротехнічним персоналом (черговий електрик) мають відповідні кваліфікаційну групу з електробезпеки. Вивісити попереджувальні плакати.

З електробезпеки цех у відповідності з вимогами ПУЕ відноситися до категорії з підвищеною небезпекою (2 клас).

Для захисту людей від ураження електричним струмом виробниче обладнання повинно задовольняти наступним вимоги:

— струмопровідні частини виробничого обладнання є джерелом небезпеки повинні бути надійно ізольовані або розташовані в недоступних для людей місцях;

— металеві частини виробничого обладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції струмоведучих частин можуть опинитися під напругою небезпечної величини, повинні бути заземлені (занулені) згідно правил.

Розміщення виробничого обладнання у виробничих приміщеннях не повинно становити небезпеки для персоналу та повинна відповідати діючим нормам технічного проектування БНіП.

#### 4.5 Пожежна безпека

##### Категорія приміщення котельні Д

Номенклатура засобів пожежогасіння в цехах повинна визначатися за Правилами пожежної безпеки в Україні, виходячи з категорії виробництв за пожежо - та вибухонебезпечності .

Первинні засоби пожежогасіння, що розміщуються на об'єкті, або обладнанні, повинні відповідати вимогам стандартів або технічних умов відповідно до вимог «Пожежна техніка для захисту об'єктів. Основні види. Розміщення і обслуговування».

Виробничі приміщення, в яких розташовані вибухо- і пожежонебезпечні виробництва, а також приміщення складів, де зберігаються вибухонебезпечні, вибухопожежонебезпечні та пожежонебезпечні речовини повинні бути обладнані автоматичними засобами пожежогасіння та пожежною сигналізацією.

У вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях забороняється палити, а також застосовувати відкритий вогонь, про що на зовнішніх дверях зазначених приміщень і всередині них на видних місцях повинні бути вивішені заборонні знаки безпеки, що відповідають вимогам [42].

Вогнезахисна обробка дерев'яних конструкцій будинків повинна проводитися через кожні 3 роки.



При перетині протипожежних перешкод різними комунікаціями зазори між ними та будівельними конструкціями на всю їх товщину повинні бути закладені негорючими матеріалами і не мати нещільностей, через які можуть проникати продукти горіння.

Всі транспортерні галереї повинні бути обладнані автоматичною пожежною сигналізацією та засобами пожежогасіння.

Знову споруджувані і ті, що реконструюються транспортні галереї повинні обладнуватися автоматичними системами пожежогасіння.

У виробничих приміщеннях, в яких вентиляційні пристрої транспортують горючі і вибухонебезпечні речовини, всі металеві повітропроводи, фільтри та інше обладнання витяжних установок повинні бути заземлені.

Застосовувати відкритий вогонь і курити в приміщеннях витратних ємностей, насосних і компресорних станцій, а також відігрівати відкритим вогнем труби, арматуру і резервуари мазутного господарства забороняється.

У приміщеннях пультів та постів управління в якості засобів пожежогасіння повинні застосовуватися вуглекислотні та порошкові вогнегасники.

Для гасіння тліючого вугільного пилу до бункерів приміщень сушильних установок вугілля повинен бути передбачений підвід насиченої пари або вуглекислоти.

Порядок і строки проходження протипожежного інструктажу та знань з пожежотехнічного мінімуму встановлюються наказом головного інженера підприємства.

В якості палива при роботі печі для випалювання цегли використовується природний газ, який вважається пожежо-вибухонебезпечною речовиною (головним складником природного газу є метан  $\text{CH}_4$ ). Продукти горіння природного газу (димові гази  $\text{CO}$  та  $\text{NO}_2$ ) шкідливі речовини. Природний газ - газ без кольору і запаху, майже в два рази легше повітря, є паливим і вибухонебезпечним, коефіцієнт участі у

вибуху 0,5, отруйний газ, горючий легкозаймистий, горить блакитним полум'ям, легший за повітря.

#### 4.6 Вибір і розрахунок системи вентиляції

Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів у виробничих приміщеннях і на робочих місцях не повинні перевищувати нормативних величин.

Для вибору системи вентиляції розраховуємо обсяг повітря, що видаляється і визначаємо кратність повітрообміну.

Обсяг повітря, що видаляється, м<sup>3</sup>/год

$$L_{уд}^{OB} = \frac{Q}{c \cdot \rho_{CP} \cdot (t_1 - t_2)},$$

де  $Q$  – надлишки явного тепла, кДж/год;

$c$  – теплоємність повітря, кДж/(кг·К);

$\rho_{CP}$  – щільність повітря при середній температурі, кг/м<sup>3</sup>,

$t_1$  і  $t_2$  - температура повітря відповідно що видаляється і прибуває, °С;

Щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{CP} = \rho_0 \cdot (273 / (273 + t_{CP})),$$

$$\rho_{CP} = 1,29 \cdot (273 / (273 + 34,6)) = 1,145.$$

Середня температура, °С

$$t_{CP} = (t_{PЗ} + t_1) / 2 = (25 + 44,2) / 2 = 34,6,$$

$$t_1 = t_{PЗ} + \Delta t \cdot (H - 2) = 25 + 3 \cdot (8,4 - 2) = 44,2,$$

де  $t_{PЗ}$  – температура робочої зони, °С;

$\Delta t$  – перепад температур по висоті приміщення (2-5 °C/м);

$t_2$  – середньомісячна температура для найбільш теплого періоду року (21,2°C);

$H$  – висота приміщення, м;

Обсяг повітря, м<sup>3</sup>/год

$$L_{\text{уд}}^{\text{OB}} = \frac{3177760,12}{2,24 \cdot 1,145 \cdot (44,2 - 21,2)} = 53869,47.$$

Визначаємо кратність повітрообміну

$$K = \frac{L_{\text{уд}}^{\text{OB}}}{0,8 \cdot V_{\text{ПОМ}}} = \frac{53869,47}{0,8 \cdot 66528} = 0,97.$$

Оскільки кратність повітрообміну в цеху менше одиниці, то для підтримки нормальних метеорологічних умов в цеху не потрібно встановлювати загальну обмінну припливно-витяжну систему вентиляції. Достатньо аераційних ліхтарів.

## ВИСНОВКИ

Виконані розрахунки (тепловий, аеродинамічний) показали, що котел-утилізатор може експлуатуватися з паровиробництвом  $D=7,68$  кг/с (27,6 т/год) із заданими параметрами перегрітої пари, при цьому не буде потрібно внесення змін до конструкції каркаса котла.

В процесі теплового розрахунку були збільшені довжини змійовиків і їх кількість в пакеті, шляхом зміни подовжнього і поперечного кроків. Для зручності обслуговування поверхонь нагріву пропонується розбити економайзер на три, послідовно включених, пакетів.

На підставі аеродинамічного розрахунку можна зробити висновок, що при збільшенні кількості змійовиків в пакетах збільшився аеродинамічний опір. Димосос Д-18, тип 0,7-37 не забезпечить роботу котла-утилізатора з необхідною кількістю відхідних продуктів згорання. Для забезпечення надійної роботи котла-утилізатора вибраний відцентровий димосос однобічного всмоктування ДН-21МГМ, тип 0,55-40-1.

Реалізація запропонованих в дипломному проекті технічних рішень з реконструкції котла-утилізатора №1 КЦ № 2 ТЕЦ дозволить збільшити річний об'єм вироблення теплової енергії з 1787555 ГДж до 1864810ГДж.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов, Н.В. Тепловой расчет котельных установок. Нормативный метод [Текст] / Н.В. Кузнецов. - М: Энергия, 1973. – 324 с.
2. Мочан, С.И. Аэродинамический расчет котельных установок [Текст] / С.И. Мочан. - Л: Энергия, 1977. – 255 с.
3. Липов, Ю.М. Компоновка и тепловой расчет парогенератора [Текст] / Ю.М. Липов. – М: Энергия, 1975. – 266 с.
4. Частухин, В.И. Тепловой расчет промышленных парогенераторов [Текст] / В.И. Частухин.– К: Вища школа, 1980. – 184 с.
5. Макаров, В.Н. Методика поверочного теплового расчета парогенератора [Текст] / В.Н. Макаров.– М: МЭИ, 1976. – 52 с.
6. Мазуров, Д.Я. Теплотехника и теплотехническое оборудование предприятий промышленности строительных материалов [Текст] / Д.Я. Мазуров.– М.: Стройиздат, 1966. – 200 с.
7. Кузнецова, Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ [Текст] / Г.А. Кузнецова. - И.: Методическое пособие, 2005. – 28 с.
8. Павлов, В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики [Текст] / В.Ф. Павлов. - М.: Стройиздат. 1977.-239 с.
9. Бобровников, Н.А. Охрана воздушной среды на предприятиях строительной индустрии [Текст] / Н.А. Бобровников. - М., 1981. – 54 с.
10. Банит, Ф.Г. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов [Текст] / Ф.Г. Банит. - М., 1979. – 163с.
11. Страус, В. Промышленная очистка газов [Текст] / В. Страус. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
12. Алиев, Г.М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок [Текст] / Г.М. Алиев. – М.: Металлургия, 1988. – 368 с.

13. Макаров, Г.В. Охрана труда в химической промышленности [Текст] / Г.В. Макаров. – М.: Химия, 1977. – 568 с.
14. Бузников, Е.Ф. Виробничі та опалювальні котельні [Текст] / Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис. – М.: Вища школа, 1984. – 248 с.
15. Староверов, К.В. Справочник проектировщика [Текст] / К.В. Староверов. - М.: Стройиздат, 1976. – 120 с.
16. Николаев, А.А. Справочник проектировщика. Проектирование топок и печей [Текст] / А.А. Николаев. - М.: Стройиздат, 1965. – 236 с.
17. Денисенко, Р.Ф. Охорона праці: Уч. посібник для інж.- екон. спец. Вузів [Текст] / Р.Ф. Денисенко. – М.: Вища школа, 1985. – 248 с.
18. Гаджієв, Р.В. Охорона праці в тепловому господарстві промислових підприємств: Уч. посібник для технікумів [Текст] / Р.В. Гаджієв, А.А. Вороніна. – М.: Енергія, 1980. – 224 с.
19. Оніщенко, Н.С. Охорона праці при експлуатації котельних установок [Текст] / Н.С. Оніщенко. – М.: Енергія, 1992. – 350 с.
20. ДНАОП 0.00-1-08.-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів [Текст] – К: Стройиздат, 1995 – 12 с.
21. Прузнер, С.С. Правила пристрої і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском [Текст] / С.С. Прузнер. – М.: Металургія, 1971. – 45 с.
22. Нормативи чисельності робітників, що обслуговують парокотельные установки промислових підприємств [Текст] – М: Економіка, 1988 – 26 с.
23. Златопольський, Е.В. Економіка, організація і планування теплового господарства промислових підприємств: Підручник для технікумів [Текст] / Е. В. Златопольський. – М.: Енергія, 1979. – 376 с.
24. Plechec, L. Tepelny vypocet plynuteho vinuti transformatoru s prirodzenym obehem obeje [Text] / L. Plechec // Electrotechnic obz. — 1972— №1— P.5-10.

25. Petras, V. Teplotne pole olejoveha transformatora so zvitkovym vinutim [Text] / V. Petras, L. Kriho, T. Fiedler // Transformatory.- 1984.- №2.- P. 7-13.
26. Guerra, F. Primeira abordagem a utilizacáo de modelos reduzidos para a determinacao experimental do campo termico de transformadores arrefecidos por conveccáo natural [Text] / Fraklin Guerra, Isaac Moreira // Electricidade.- 1987.- № 233.- P. 141-145.
27. Pivnek, M. Vyzkum tepelnych zavislosti na modelech vinuti transformatoru [Text] / M. Pivnek, K.Havlichek // Electrotechn. obz. — 1974. — №4. — pp. 175-181.
28. Die Darstellung das Wärmeüberganskoeffiyienten im transformator mit Kriteriellen Potenzfunktion [Text] / H. Lobenstein // Elektric. — 1979. — №4. — pp. 218-220.
29. Вукалович, М.П. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / М.П. Вукалович. - М.: Машиностроение, 1967. - 160 с.
30. Дубковский, В.А. Рациональные процессы, циклы и схемы энергоустановок [Текст] / В.А. Дубковский.- Одесса: Наука и техника, 2003. - 224 с.
31. Ривкин, С.Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара [Текст] / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.
32. Макаров, Г.В. Охрана труда в химической промышленности [Текст] / Г.В. Макаров. – М.: Химия, 1977. –568 с.
33. Сафонов, Н.А. Спецодежда и спецобувь [Текст] / Н.А. Сафонов. – М.: Химия, 1976. – 152 с.
34. Анисимов, А.С. Предупреждение и тушение пожаров на промышленных предприятиях [Текст] / А.С. Анисимов. – К.: Техника, 1978. – 164 с.
35. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция [Текст] / В.Н. Богословский. – М. 1980. – 290 С.

36. Линецкой, В.А. Охрана труда и техника безопасности и пожарная профилактика на предприятиях химической промышленности [Текст] / В.А. Линецкой.– М.: Химия, 1976. – 440 с.

37. Кораблев, В.П. Электробезопасность на предприятиях химической промышленности [Текст] / В.П.Кораблев.– М.: Химия, 1977. – 232 с.

38. Кукин, П.П. Безопасность технологических процессов и производств [Текст] / П.П. Кукин.– М.: Высшая школа, 2007. – 335 с.

39. Зотов, Б.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве [Текст] / Б.И. Зотов. - М.: Колосс, 2003.- 432с.