

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

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Кваліфікаційна робота

перший бакалаврський

(рівень вищої освіти)

на тему Реконструкція пальника котла КВГМ-20-150 з метою
підвищення ефективності роботи котельної

Виконав: студент IV курсу,
групи 6.1440-с
спеціальності 144 «Теплоенергетика»
(код і назва спеціальності)

освітньої програми
«Теплоенергетика»
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

Н. С. Ключко

(ініціали та прізвище)

Керівник ст. викладач С. Є. Чижов

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

Рецензент к.т.н., доцент О. І. Осаул

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

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«10» червня 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ключко Наталії Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Реконструкція пальника котла КВГМ-20-150
з метою підвищення ефективності роботи котельної

керівник роботи ст. викладач Чижов Сергій Євгенович

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

затверджені наказом ЗНУ від «29» грудня 2022 року № 1893-с

1 Строк подання студентом роботи 15.06.2023 р.

2 Вихідні дані до роботи: температура повітря зимового періоду – -23 °С;
витрата підживлюючої води – 1,6 м³/год.; жорсткість вихідної води – 4,2 мг-
екв/л.

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика котельної і її устаткування. Тепловий розрахунок котла. Проектування пальникового пристрою.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Загальний обсяг графічного матеріалу за темою проекту 7 листів креслень
формату А1

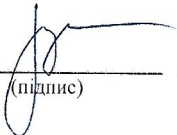
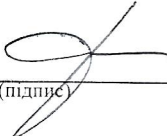
5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перший розділ	ст. викладач Чижов С.Є.	15.02.2023	10.04.2023
Другий розділ	ст. викладач Чижов С.Є.	12.04.2023	01.06.2023
Третій розділ	ст. викладач Чижов С.Є.	02.06.2023	15.06.2023

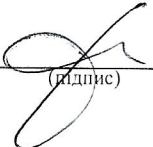
6 Дата видачі завдання 15.03.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент  Н.С. Ключко
(підпис) (ініціали та прізвище)Керівник роботи (проекту)  С.Є. Чижов
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  С.Є. Чижов
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему: «Реконструкція пальника котла КВГМ-20-150 з метою підвищення ефективності роботи котельної» містить 70 сторінок, 8 таблиць, 25 джерел посилань.

РЕКОНСТРУКЦІЯ, КОТЕЛЬНА УСТАНОВКА, ПАЛЬНИК, ВТРАТИ ТЕПЛОТИ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, ВИТРАТА ПАЛИВА, ТИСК, КОЕФІЦІЄНТ НАДЛИШКУ ПОВІТРЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ЕНТАЛЬПІЯ

Мета роботи – розрахунок та удосконалення роботи пальникового пристрою котла КВГМ-20-150 з метою підвищення ефективності.

У першому розділі кваліфікаційної роботи приведені характеристика котельної та її основного та допоміжного устаткування. Крім того, дана технічна характеристика котла, як об'єкту теплотехнічних випробувань, і пальника, як об'єкту реконструкції. Також проведений тепловий розрахунок котла з метою визначення номінальних параметрів його роботи, описані задачі і хід теплотехнічних випробувань котла, їх результати, а також виконаний розрахунок ККД котла для всіх режимів його роботи при проведенні випробувань.

У другому розділі кваліфікаційної роботи проведений аналіз результатів випробувань, а також порівняння параметрів його роботи з параметрами, визначеними в тепловому розрахунку. Крім того, виконаний розрахунок пристрою пальника, порівняння його геометричних характеристик з розрахунковими даними і видані рекомендації по реконструкції.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ ТА ЇЇ УСТАТКУВАННЯ.....	9
1.1 Характеристика устаткування водогрійної частини котельної.....	9
1.2 Тягодуттеві установки водогрійної частини котельної.....	12
1.3 Водопідготовка і водно-хімічний режим.....	13
1.4. Гаряче водопостачання.....	16
1.5 Характеристика котла КВГМ-20-150.....	16
1.6 Характеристика пальникового пристрою.....	20
1.7 Технічне обґрунтування реконструкції.....	22
1.8 Рекомендації по реконструкції пальникового пристрою.....	23
2 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛА І ПРОЄКТУВАННЯ ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ.....	25
2.1. Розрахунок об'ємів продуктів згорання і повітря.....	25
2.1.1 Розрахунок теоретичних об'ємів повітря і продуктів згорання.....	25
2.1.2 Розрахунок дійсних об'ємів повітря і продуктів згорання.....	26
2.2 Розрахунок ентальпій продуктів згорання і повітря.....	29
2.3 Тепловий розрахунок котла.....	29
2.3.1 Розрахунок витрати палива.....	30
2.3.2 Розрахунок теплообміну в топці.....	31
2.3.3 Розрахунок фестона.....	37
2.3.4 Розрахунок теплообміну в екранах конвективної шахти.....	42
2.3.5 Розрахунок конвективної частини котла.....	47
2.3.6 Нев'язка теплового балансу.....	52
2.4 Розрахунок і проєктування пальникового пристрою.....	53
2.4.1 Аеродинамічний розрахунок повітряного тракту пальника в цілому.....	53
2.4.2 Розрахунок параметрів внутрішнього завихорювача.....	56

2.4.3 Аеродинамічний розрахунок газової частини пальника.....	58
2.4.3.1 Розрахунок проникнення струменів газу в потік повітря, що проходить через верхній завихорювач.....	59
2.4.3.2 Розрахунок діаметру газовипускних отворів і глибини проникнення газових струменів в потік повітря, що проходить через нижній завихорювач...	61
3 КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І АВТОМАТИКА.....	64
3.1. Аналіз роботи котельного агрегату як об'єкту автоматизації.....	64
3.2 Обґрунтування прийнятої схеми теплового контролю.....	65
3.3 Обґрунтування прийнятої схеми регулювання.....	66
ВИСНОВКИ.....	68
ДЖЕРЕЛА ПОСИЛАНЬ.....	69

ВСТУП

Теплопостачання є однією з основних підсистем енергетики. На теплопостачання народного господарства і населення витрачається близько 1/3 всіх використовуваних в країні первинних паливно-енергетичних ресурсів.

Централізоване теплопостачання від теплоелектроцентралей поєднується з доцільним вживанням економічних котельних установок і утилізацією вторинних енергоресурсів промислових підприємств. Кожне з цих джерел теплопостачання має свою область доцільного використання.

У окремих районах країни виникають крупні територіальні формування з високою концентрацією теплового навантаження, що викликає необхідність створення комплексних систем з використанням різних джерел теплопостачання на окремих етапах розвитку цих територіальних формувань.

Посилювання екологічних вимог приводе до розміщення ТЕЦ на органічному паливі на значній відстані від районів теплового вжитку, що ускладнює теплові і гідравлічні режими систем теплопостачання та висуває підвищені вимоги до їх надійності.

Централізація теплопостачання може бути здійснена при подачі теплоти не лише від ТЕЦ, але і від інших джерел, наприклад, крупних котельних або промислових теплоутилізаційних установок. При цьому здійснюється економія палива, не дивлячись на додаткові втрати теплоти в мережах.

Вживання газу, як палива, вигідно, оскільки витрати на його видобуток і доставку невеликі в порівнянні з витратами на інші види палива.

Для більш економічного спалювання газу вимагається вдосконалення газових пальників всіх конструкцій, але в першу чергу найбільш поширених типів високопродуктивних пальників з примусовою подачею повітря. Досвід експлуатації сучасних котельних установок переконливо показав, що від роботи пальників значною мірою залежать надійність і економічність роботи котлоагрегатів.

Існуючі пристрої газових пальників, які сконструйовані на основі практичного досвіду без теоретичного обґрунтування, в більшості випадків працюють на режимі, що характеризується неоднорідністю середовища із-за нерівномірного розподілу газу по перетину повітряного потоку в пальнику і у факелі. Це у ряді випадків наводить не лише до втрат теплоти від недопалювання навіть при підвищених надлишках повітря в камері горіння, але і до пошкодження поверхонь нагріву труб унаслідок газової корозії їх при спалюванні високосірчистих газів. Усунення цих негативних явищ може бути досягнуте лише на основі вивчення процесів, що протікають в різних пальниках, створення та впровадження в практику науково-обґрунтованого інженерного методу розрахунку і конструювання пристроїв пальників, що забезпечить повне спалювання газу при малих надлишках повітря.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА КОТЕЛЬНОЇ ТА ЇЇ УСТАТКУВАННЯ

1.1 Характеристика устаткування водогрійної частини котельної

Районна котельна призначена для забезпечення теплотою та гарячою водою споживачів м. Вільногірськ Дніпропетровської області. У котельній встановлено 3 водогрійних котла типа КВГМ-20-150. Сумарна теплова потужність котельної складає 60 Гкал/год.

Гаряче водопостачання здійснюється від котельної через теплообмінні апарати, встановлені на абонентських вводах.

Водопостачання котельної здійснюється по двох незалежних міських вводах. У будівлю котельної вода поступає по трубопроводу Ø150 мм на водомірний вузол.

Паливом для котлів, встановлених в котельній, служить природний газ з $Q_H^p = 8300$ ккал/м³. Газ високого тиску з міського газопроводу Ø500 мм поступає через трубопровід Ø200 мм на ГРП-2, де він проходить доочищення, пониження тиску до середнього тиску (3 кгс/см²) і транспортується трубопроводом Ø273 мм, довжиною 1000 м через обліковий вузол до ГРП-1 і ГРП-1А по надземному газопроводу. В ГРП-1 і ГРП-1А газ проходить доочищення і пониження тиску до робочого тиску (0,8 кгс/см²).

Газ від ГРП-1 і ГРП-1А по надземному трубопроводу Ø273 мм входить в будівлю котельної до водогрійних котлів КВГМ-20-150.

Електропостачання котельної здійснюється по 2-х незалежних вводах через знижувальні трансформатори № 1 і № 2 по 1600 кВт. Електроустаткування котлів №№ 1-6 живиться від Ру-04кВ ТП-18. У ТП-18 змонтоване АВР по 0,4 кВ.

Вода, що використовується для поповнення втрат в теплових мережах, проходить спеціальну обробку через вузол водопідготовки. Для обробки води застосовуються двоступінчасті фільтри Na-катіонітні і атмосферна деаерація.

У котельній встановлені 4 Na-катіонітні фільтри Ø2000 мм.

1.1.1 Насосна група

Переміщення води по трубах і необхідний натиск у споживача забезпечуються відцентровими насосами.

Відцентрові насоси нагнітають воду під дією центробіжної сили, що розвивається при обертанні робочого колеса. Вода по всмоктуючій трубі поступає до центральної частини робочого колеса, захоплюється центробіжною силою уздовж лопаток робочого колеса від центру до стінок корпусу, внаслідок чого в центрі насоса утворюється розрідження. У цей розріджений простір засмоктуються нові порції води і відразу відкидаються до стінок корпусу, що оточує робоче колесо, що обертає. Під впливом центробіжної сили вода на виході з насоса набуває тиску. Залежно від призначення насоси підрозділяються на: мережеві, рециркуляційні і подживлюючі.

1.1.2 Мережеві насоси і їх характеристика

Циркуляція води через котли і далі в системі здійснюється мережевими насосами. Мережева вода із зворотної магістралі по 2-х незалежних вводах через грязьовики та засувки, встановлені на кожному вводі, поступає у всмоктуючий колектор мережевих насосів, після насосів мережева вода подається в загальний колектор. Нагріта в котлах мережева вода поступає в колектор мережевої води і далі в подаючу магістраль тепломережі.

Мережеві насоси 8НДВ-60, Д-300/60, Д200/60 і НКУ 140/45 відцентрові, одноступінчасті з двостороннім підведенням води до робочого колеса в горизонтальній площині. У нижній частині корпусу розташовані всмоктуючий та напірний патрубки. Сталевий вал насоса обертається на 2-х шарікопідшипникових опорах. На вал насаджено чавунне колесо і чавунні захисні втулки. По валу насоси ущільнюються сальниковими ущільнювачами. З'єднання насосів з електродвигуном здійснюється через муфти. Насос і електродвигун встановлені на загальній фундаментній плиті або на металевих

балках, вмонтованих в бетон. Анкерні болти закладені в бетон. На всмоктуючих трубопроводах насоса встановлені засувка і манометр. На нагнітальних: манометр, зворотний клапан, засувка.

1.1.3 Рециркуляційні насоси і їх характеристика

Для підтримки температури води, що подається в котли (не нижче 70 °С), встановлені рециркуляційні насоси.

Температура води на вході в котли підтримується шляхом подачі води, що виходить з котлів, рециркуляційними насосами в колектор входу води в котел. Рециркуляція необхідна для запобігання «точки роси» в конвективній частині котла. Температура води перед котлами підтримується автоматично за допомогою регулювальника рециркуляції або в дистанційному режимі.

1.1.4 Підживлюючі насоси та їх характеристики

Для заповнення витоків теплових мереж в котельної є група підживлюючих насосів, розташованих в конденсатній. Хім.очищена і деаерована вода надходить на насоси з конденсатних баків $V=50 \text{ м}^3$ і бака-акумулятора $V=25 \text{ м}^3$ деаерованої води. Підживлюючі насоси К-90/55 розташовані в конденсат-насосній, на відмітці 5.000 м.

Хім.очищена вода поступає з Na-катіонітних фільтрів.

1.1.5 Насоси холодної води та їх характеристика

Насоси холодної води служать для підвищення тиску холодної води на вузол ХВО і ГВП котельної при недостатньому тиску в міському водопроводі. У котельній встановлено 4 насоси холодної води: 2 насоси холодної води встановлено на вході до конденсат-насосної К-90/55 на вузол ХВО та власні

потреби і 2 насоси КМ-160/45 – на вузол гарячого водопостачання для підвищення тиску.

1.2 Тягодуттєві установки водогрійної частини котельної

Тягодуттєві установки водогрійної частини котельної наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Тягодуттєві установки водогрійної частини котельної

Найменування	Тип	Продуктивність, м ³ /год.	Натиск, кгс/см ²	Число зворотів в хв.	Потужність електродвигуна, кВт
Вентилятор котла № 1 моно	ВДН-12,5	25000	258	1000	40
Вентилятор котла № 2 моно	ВДН-12,5	35000	600	1500	90
Вентилятор котла № 3 через шпindelь	ВДН-12,5	27500	280	1000	75
Димосос	ДН-17,0	57000	170	750	55
Димосос	Д-15,5	54000	320	750	55

Вентилятор лівого обертання консольного типу однобічного всмоктування складається з робочого колеса, насадженого на вал, равлико-подібного кожуха, корпусу, підшипників, сполучної муфти і направляючого апарату. Робоче колесо є крильчаткою із заломленими вперед лопатками. Вал встановлений на 2-х сферичних ролико-підшипниках. Направляючий апарат встановлений на вході повітря в робоче колесо і служить для регулювання продуктивності та натиску вентилятора. Регулювання робиться дистанційно або автоматично. Забір повітря може бути як з приміщення котельної, так і зовні, перемиканням поворотного шиберу на повітроводі.

Регулювання тяги димососу двостороннього всмоктування здійснюється дистанційно з пульта управління або автоматично-виконавчим механізмом регулювальника розрідження.

1.3 Водопідготовка і водно-хімічний режим

Вода на котельних є основною технологічною сировиною. Розрізняють: початкову, підживлюючу, мережеву воду.

Вихідною водою для котельної служить вода з міського водопроводу. Середньорічна її жорсткість – 3,2 мг-екв/л, кількість розчиненого кисню – до 12 мг/л.

Для обробки вихідної води і доведення її якості до відповідної вимогам «Правил» служить вузол хім.водоочищення (ХВО).

Підживлююча вода служить для восповнення витоку води у теплових мережах.

Безаварійність і економічність роботи котельної в значній мірі залежить від якості підживлюючої води.

Якість води визначається наступними основними показниками:

- прозорістю, що характеризує кількість зважених мінеральних і органічних речовин, що містяться у воді;
- сухим залишком, який отримується випаровуванням певної кількості профільтрованої води з подальшим висушуванням. Вага речовин, що залишилися (в грамах), що відноситься до одного літра води, і є сухий залишок;
- жорсткістю – вмістом у воді солей кальцію і магнію;
- лужністю – вмістом гідратів і кальцинованої (зневодненої) соди;
- вмістом розчинених у воді газів (кисень, вуглекислий газ);
- окислюваністю, що вказує на забруднення води органічними речовинами.

Обробка води виконується за схемою двоступінчастого Na-катіонування, при якому відбувається обмін іонів солей кальцію і магнію на іони солей натрію.

Присутність у воді розчиненого кисню і інших агресивних газів викликають корозію металу. Наявність у воді вуглекислоти CO_2 у декілька разів прискорює кисневу корозію.

Видалення з води кисню і інших агресивних газів робиться шляхом термічної атмосферної деаерації.

Відповідно до вимог правил Держнаглядохоронпраці якість підживлюючої води для водогрійних котлів повинна відповідати наступним нормам:

- карбонатна жорсткість – не більш 200 мкг-екв/л;
- вміст розчиненого кисню – не більш 30 мкг/л;
- вміст вільної вуглекислоти – не допускається;
- вміст зважених речовин – не більш 5 мг/л;
- показник РН – не менше 7.

Сира вода на потреби ХВО і власні потреби (пожежогашіння, сантехнічні потреби, охолодження підшипників і т.д.) поступає з міського водопроводу 2 нитками трубопроводів $\text{Ø}100$ мм в будівлю котельної і, пройшовши через водомірний вузол, поступає в трубопровід сирі води котельної. Для підвищення тиску сирі води встановлений насос НХВ-1-2 типа К 90/55. По трубопроводу сирі води котельної сира вода поступає на підігрівач сирі води, типу Q-80/240, де нагрівається до температури (30...40) °С і далі йде на Na-катіонітні фільтри.

У котельній встановлено 4 Na-катіонітні фільтри $\text{Ø}2000$ мм. Фільтр є металеву судиною циліндрової форми з сферичними днищами, з комунікацією трубопроводів. У верхній частині фільтру розташований пристрій для рівномірного розподілу води, що поступає. У нижній частині розташований нижній дренажний пристрій, що складається з системи труб з вузькими

щілинами. Катіонітом служить сульфовугіль – на I ступені і КУ-2-8 – на II ступені.

Висота насипного шару катіоніту у фільтрах:

- I ступень Ø2000 мм – 2000 мм;

- II ступень Ø2000 мм – 2500мм.

Для ремонту, засипки сульфовугілля і КУ-2-8 передбачено 2 люки в нижній і верхній частині фільтру.

Зм'якшена вода після фільтрів проходить теплообмінник хім.очищеної води, де нагрівається до температури (70...80) °С. Теплоносієм служить пара.

Після підігрівача хім.очищеної води вода подається на атмосферний деаератор.

Захист від корозії поверхонь нагріву котлів, теплообмінної апаратури і трубопроводів здійснюється видаленням з живильної води парових котлів та підживлюючої води теплових мереж корозійно-агресивних газів (кисню і вільної вуглекислоти). Корозійно-агресивні гази потрапляють у вихідну воду в результаті тривалого контакту з атмосферою або інших фізико-хімічних процесів. При обробці води за схемами Na-катіонування або NaCl-катіонування вода додатково насичується двоокислом вуглецю за рахунок розкладання бікарбонату Na при нагріванні.

У котельних з водогрійними котлами застосовуються вакуумні деаератори, що працюють при абсолютному тиску від 0,075 до 0,5 кгс/м², тобто при температурах деаерованої води від 40 до 80 °С.

Деаераційна установка включає в себе: колонку деаератора типа ДС-50, бак-деаератор $V=20$ м³ і бак-акумулятор $V=25$ м³.

Виділення кисню та інших газів відбувається при кипінні води в колонці з тиском нижче атмосферного і залежить від температури пари (згідно технологічних вимог близько 104 °С).

Суміш газу і пари в деаераторах, так званий випар, безперервно відводиться з верхніх частин деаераційних колонок в охолоджувач випару

$E=2 \text{ м}^2$, де пара конденсується, а гази, що не сконденсувалися (O_2 , CO_2 і ін.), видаляються в атмосферу.

Хім.очищена та деаерована вода самоплив з колонок поступає в деаераторний бак $V=20 \text{ м}^3$, розташований в приміщенні котельної, звідки 3 живильними насосами подається на парові котли, і підживлюючими насосами через регулюючий клапан на підживлення в зворотний трубопровід перед мережевими насосами.

1.4 Гаряче водопостачання

Гаряче водопостачання здійснюється від котельної через теплообмінні апарати, що встановлені на абонентських вводах.

1.5 Характеристика котла КВГМ-20-150

1.5.1 Пристрій котла

Котел КВГМ-20-150 є прямоточним, теплофікаційним, водогрійним, газомазутним котлоагрегатом з примусовою циркуляцією.

Котли КВГМ-20-150 призначені для установки в опалювальних і промислово-опалювальних котельних як основні джерела теплопостачання.

Котли забезпечують підігрівання води до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ з різницею температур води на вході і виході, рівною $80 \text{ }^\circ\text{C}$, працюють з постійною витратою води на всіх навантаженнях на розрахункових паливах: мазуті марки 100 і природному газі з $Q_{\text{н}}^{\text{п}}=8300 \text{ ккал/м}^3$.

Котли теплопродуктивністю 20 Гкал/год. є прямоточними і складаються з 2-х транспортабельних блоків: горизонтальної топки та вертикального конвективного газоходу.

Топка котла обладнана встановленим на фронтівій стінці одним газомазутним пальником типа РГМГ теплопродуктивністю 20 Гкал/год.

Діапазон регулювання навантаження котла (20...100) % від номінальної теплопродуктивності.

Топка повністю екранована трубами $\varnothing 60 \times 3$ мм з кроком $S = 64$ мм і розділена проміжним поворотним екраном, виконаним з труб $\varnothing 60 \times 3$ мм з кроками $s_1 = 128$ мм і $s_2 = 182$ мм, на камеру горіння та камеру допалювання.

Пакети конвективних поверхонь нагріву розташовані у вертикальному газоході з повністю екранованими стінками. Задня і передня стінки виконані з труб $\varnothing 60 \times 3$ мм з кроком $S = 64$ мм. Бокові стіни екрановані трубами $\varnothing 83 \times 3,5$ мм з кроком $S = 128$ мм, що є колекторами для П-подібних ширм конвективних пакетів, виконаних з труб $\varnothing 28 \times 3$ мм.

Котел розрахований для роботи з урівноваженою тягою. Котел не має каркаса, що несе. Кожен блок котла має опори, приварені до нижніх колекторів. Число опор залежить від теплопродуктивності котла. Опори, розташовані на стику конвективного блоку та топки, і є нерухомими. Котел виконується в полегшеній обмурівці, яка кріпиться безпосередньо до труб. Обмурівка складається з 3-х шарів: шамотобетону, совелитових плит або мінераловатних матраців і ущільнювача магнезійної обмазки. Загальна товщина обмурівки складає 110 мм.

1.5.2 Арматура котла КВГМ-20-150

На вході і виході води з котла встановлені електрифіковані засувки $\varnothing 200$ мм. У нижніх точках колекторів трубопроводів, що підводять і відводять, врізані продувальні вентиля $\varnothing 32$ (15 шт.), для видалення повітря з котла $\varnothing 20$ мм (21 шт.) і для манометрів $\varnothing 15$ мм (2 шт.).

1.5.3 Гарнітура котла КВГМ-20-150

Гарнітура котла складається з 3-х лазів (у топці котла, між пакетами конвективної частини і під конвективною частиною), вибухових клапанів (2 з

яких розташовані в поворотній камері газоходу, 2 – у фронтів частині топкового блоку і 1 – в боріві перед димарем). Топка котла обладнана гляділками для контролю за факелом і станом поверхні нагріву. На обвідному газоході димососу встановлений шибер, сполучений з виконавчим механізмом регулювальника розрідження.

1.5.4 Обмурівка котла КВГМ-20-150

Обмурівка котла виконана полегшеною, з кріпленням безпосередньо до труб. Надтрубна обмурівка складається з 3-х шарів теплоізоляційних матеріалів:

- вогнетривкого шамотобетону на глиноземистому цементі, армованого металевією сіткою;
- мінеральної вати, у вигляді матраців в металевій сітці;
- ущільнювача газонепроникної обмазки, яка також забезпечує гідроізоляцію поверхні котла від атмосферних опадів.

Загальна товщина обмурівки – $U=115$ мм. Вага 1 м^3 обмурівки – 100 кг.

Технічна характеристика котла наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика котла КВГМ-20-150

Найменування параметра	Значення
1	2
Теплопродуктивність, Гкал/год. (МВт)	20 (23,26)
Розрахунковий тиск, МПа (кгс/см ²) над.	2,5 (25)
Робочий тиск, МПа (кгс/см ²) абс., не менше	1,03 (10,3)
Температура води, °С:	
- на вході, не менше;	70
- на виході на газі, до	150
Витрата води через котел, т/год.	235

Продовження таблиці 1.2

1	2
Гідравлічний опір котла, МПа (кгс/см ²), не більш	0,25 (2,5)
Розрахунковий ККД котла (брутто) при роботі на газі, %	89,8
Гарантійний ККД котла (брутто) при роботі на газі, %	89
Габаритні розміри, мм:	
- вища відмітка;	7300
- ширина;	3200
- глибина	9700
Маса металу котла, т	26,2

1.5.5 Циркуляція води в котлі

Мережева вода через нижні (правий і лівий) колектори Ø219x10 топкового блоку піднімається у верхній (правий і лівий) колектор із швидкістю 1,6 м/с і по 10 трубах Ø60x3 (справа та зліва) проходить до заднього колектора, звідки по 21 трубі Ø60x3 піднімається у верхній колектор фронтального екрану із швидкістю 1,52 м/с і по 2-х стояках надходить у верхні подовжні колектори Ø219x10. З верхніх колекторів по 11 трубах Ø60x3 (справа та зліва) із швидкістю 1,44 м/с вода синусоїдально проходить по 5 секціям в нижній колектор заднього екрану топкового блоку (справа та зліва) і по 9 трубах Ø60x3 із швидкістю 1,76 м/с піднімається у верхній колектор. Далі по 21 трубі із швидкістю 1,52 м/с вода входить в нижній колектор Ø219x10 і через перемичку Ø219x10 ($L=200$ мм) одним потоком надходить в ліву частину нижнього колектора фестонного екрану, потім по 16 трубах Ø60x3 із швидкістю 1,9 м/с піднімається в правий Г-подібний колектор Ø219x10 і через 14 труб Ø60x3 із швидкістю 2,2 м/с опускається в нижній колектор фестонного екрану. З нижнього колектора фестонного екрану по 16 трубах Ø60x3 із швидкістю 1,9 м/с мережева вода піднімається в другу половину Г-подібного колектора Ø219x10 і через 23 секції конвективного пучка із швидкістю 1,44 м/с вода

опускається в нижній правий Г-подібний колектор і через 16 труб $\text{Ø}60 \times 3$ із швидкістю 1,9 м/с вода поступає в лівий верхній Г-подібний колектор. Далі по 23 секціях конвективного пучка із швидкістю 1,37 м/с вода поступає в нижній бічний колектор конвективного блоку і йде на вихідну засувку (з електроприводом) $D_y=200$ мм.

1.6 Характеристика пальникового пристрою

Котел обладнаний газомазутним пальником типа РГМГ-20, призначеним для високоекономічного спалювання газу в діапазоні регулювання (10...100) % від її номінальної продуктивності. Тиск газу перед пальником (2000...4000) мм вод. ст.

Котел може працювати в 3-х режимах управління: автоматичному, дистанційному і ручному.

Для дистанційного розжигу пальника застосований запально-захисний пристрій, що складається з наступних вузлів:

- запальник;
- електромагнітний вентиль СФВ-19;
- високовольтний трансформатор;
- іонізаційний датчик;
- контрольно-управляючий прилад Ф-24-2.

Пристрої пальників типа РГМГ-20 призначені для роздільного спалювання рідкого палива та природного газу, і встановлюються на водогрійних котлах типа КВГМ-20-150. Відмітною особливістю цих пальників є автономний вентилятор первинного повітря і безуліточний підвід вторинного повітря. Основними вузлами пристрою пальника є: газова частина периферійного типу, повітрянаправляючий пристрій і повітровід первинного повітря.

Повітрянаправляючий пристрій первинного повітря складається з повітряного короба, завихорювача аксіального типа з профільними лопатками,

встановленими під кутом 40° до осі пальника, і переднього кільця, створюючого горло пальника.

Газова частина пальника периферійного типу складається з газороздаючої кільцевої камери з однорядною однокаліберною системою газовидаючих отворів і газопідводячої труби. Для рівномірного розподілу газу по отворах усередині колектора встановлена кільцева діафрагма.

Газ поступає в кільцеву газову камеру, що охоплює пальник із зовнішнього боку, і витікає з неї через круглі отвори. Газові струмені, що володіють великою далекобійністю, пересікають закручений потік повітря під прямим кутом. Інтенсивне сумішевідтворення починається в пальнику і закінчується в топці. Така організація процесу забезпечує швидке і добре перемішування газу з повітрям, внаслідок чого газ згорає факелом, який не світиться. При правильному розташуванні газових отворів пальника працюють з втратами від хімічної неповноти горіння (0,4...0,7) %.

Переваги пальників:

- можливість спалювання значних кількостей газу при порівняно невеликих габаритах пальника;
- широкий діапазон регулювання продуктивності пальника;
- можливість підігрівання газу і повітря до температур, що перевищують температуру займання;
- порівняно легка можливість виконання конструкцій з комбінованим спалюванням палива.

Недоліки пальників:

- примусова подача повітря;
- спалювання газу з деякою хімічною неповнотою, навіть при збільшенні надлишку повітря до 1,15.

Технічна характеристика пальника приведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика пальника типа РГМГ-20

Найменування параметра	Значення
1	2
Номінальна теплова потужність, Гкал/год.	20
Коефіцієнт робочого регулювання по тепловій потужності	(0,1...1,0)
Тиск газу перед пальником, кПа (кгс/см ²)	34 (3400)
Тиск первинного повітря перед завихорювачем, кПа (кгс/см ²)	7 (700)
Аеродинамічний опір пальника по вторинному повітрю (при $t_{п}=10$ °С), кПа (кгс/см ²)	1,5 (150)
Коефіцієнт надлишку повітря за топкою при спалюванні газу	1,06
Номінальна витрата газу при $Q_{н}^p = 8500$ ккал/м ³ , м ³ /год.	2650
Маса пальника, кг	635
Габаритні розміри пальника, мм:	
- довжина;	635
- ширина;	1322
- висота	1750

1.7 Технічне обґрунтування реконструкції

На підставі результатів теплотехнічних випробувань котла були зроблені наступні висновки:

- ККД котла на встановлених режимах залежить від теплопродуктивності і склав (83,77...87,12) % і не відповідає паспортним даним (89,8 %);

- основними втратами були втрати теплоти з відходячими газами, які на перерахованих навантаженнях склали (8,06...10,34) %, що викликане збільшеною витратою повітря, оскільки коефіцієнт надлишку повітря за котлом у всьому діапазоні зміни навантажень склав (1,27...2,32) % і збільшеною температурою відходячих газів (130...200) °С;

- пристрій пальника не забезпечує досить повне згорання палива, втрати теплоти від хімічної неповноти згорання склали (2,48...7,77) % за рахунок збільшеного вмісту окислу вуглецю (CO) у відходячих газах;

- питома витрата умовного палива на 1 Гкал виробленої теплоти (без врахування втрат на власні потреби) на встановлених режимах складала (163,97...170,53) кг у.т./Гкал при середніх значеннях (150...155) кг у.т./Гкал сучасних котлів.

Відповідно до рекомендації заводу-виготівника при переході котла на газ з пальника демонтується мазутна частина, а внутрішній кільцевий простір, що утворився, закривається заглушкою [5]. В цьому випадку все повітря проходить через завихорювач. Схема завихорювача і його конструктивні розміри по натурних вимірах представлені на кресленні. При експлуатації котла заглушка часто прогорає в результаті частина повітря проходить через центральну частину завихорювача, а газові струмені перетинаються, що недопустимо з точки зору сумішевидтворення.

Враховуючи вищесказане необхідно виконати модернізацію котла за рахунок реконструкції його пальникового пристрою, для чого необхідно виконати конструктивний розрахунок нового пальника і порівняти з конструктивними розмірами існуючого пальника після чого намітити шляхи реконструкції.

1.8 Рекомендації по реконструкції пальникового пристрою

Теплотехнічні випробування котла, а також розрахунки ККД і основних параметрів роботи котла показали, що мають місце великі втрати теплоти з відходячими газами разом з високими коефіцієнтами надлишку повітря. Ці чинники вказують на неефективну і неекономічну роботу пристрою пальника, що не забезпечує інтенсивного сумішевидтворювання газу з повітрям до виходу суміші в топкову камеру. Внаслідок цього мають місце підвищена витрата газу і низький ККД котла.

Розрахунок пальника показав, що діаметр зони зворотних струмів усередині пальника значно менше внутрішнього діаметру завихорювача лопатки. Крім того, в пальнику відсутня внутрішня труба і потік повітря, не зустрічаючи на своїй дорозі опору, прямує у вільний канал, а через завихорювач лопатки проходить лише незначна частина повітря. В результаті цього основний повітряний потік не закручується, що погіршує сумішевідтворення і наводить до збільшення надлишку повітря, яке йде на горіння газу.

Для того, щоб усунути всі перераховані несприятливі чинники, рекомендується всередину пальника ввести трубу діаметром, рівним діаметру зони зворотних струмів, тобто $\varnothing 150$ мм. На кінці труби, розташованому в горлі пальника, рекомендується виконати ряд отворів по діаметру труби, а торець її заглушити теплоізолюваною заглушкою. Область, що залишилася, між завихорювачем і внутрішньою трубою пропонується заповнити втулкою, розрахунок якої приведений в п. 2.4.2. Для збільшення області попереднього змішення газу з повітрям рекомендується подовжити горло пальника. Для цього вихідний перетин пальника слід виконати прямим замість того, що розширюється під кутом 60° .

Для підвищення інтенсивності сумішевідтворення рекомендується отвори для виходу газу розташувати не в один, а в два ряди відповідно до розрахунку, приведеного в п. 2.4.2:

- перший ряд (вважаючи по напрямку руху повітря) – 6 отворів $\varnothing 26$ мм з кроком 340 мм;

- другий ряд – 29 отворів $\varnothing 9$ мм з кроком 70,5 мм.

Очікується, що після реконструкції пальника витрата газу зменшиться на 4,5 %, а ККД котла збільшиться на 2 %.

2 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОТЛА І ПРОЄКТУВАННЯ ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ

2.1 Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

Елементарний склад природного газу, %:

- метан – $CH_4 = 95,218$;
- етан – $C_2H_6 = 2,298$;
- пропан – $C_3H_8 = 0,525$;
- бутан – $C_4H_{10} = 0,08$;
- пентан і ін. – $C_5H_{12} = 0,074$;
- азот – $N_2 = 1,2$;
- діоксид вуглецю – $CO_2 = 0,513$;

Теплотворна здатність газу, кДж/кг $\rightarrow Q_H^C = 33968$.

2.1.1 Розрахунок теоретичних об'ємів повітря і продуктів згорання

Теоретично необхідна витрата повітря, m^3/m^3

$$V_n^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \Sigma \left(m + \frac{n}{2} \right) C_m H_n - O_2 \right] =$$

$$= 0,0476 \cdot [0 + 0 + 0 + 2 \cdot 95,218 + 3,5 \cdot 2,298 + 5 \cdot 0,525 + 6,5 \cdot 0,08 + 8 \cdot 0,074] = 9,62$$

Теоретичні об'єми продуктів згорання:

- теоретичний об'єм азоту, m^3/m^3

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V_n^0 + \frac{N_2}{100} = 0,79 \cdot 9,62 + \frac{1,2}{100} = 7,61$$

- об'єм триатомних газів, m^3/m^3

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + H_2S + \Sigma(mC_m H_n)] =$$

$$= 0,01 \cdot [0,513 + 0 + 0 + 95,218 + 2 \cdot 2,298 + 3 \cdot 0,525 + 4 \cdot 0,08 + 5 \cdot 0,074] = 1,03$$

- теоретичний об'єм водяної пари, м³/м³

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(H_2S + H_2 + \Sigma \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_{z.m.} \right) + 0,0161 \cdot V_n^0 =$$

$$= 0,01 \cdot (0 + 0 + 2 \cdot 95,218 + 3 \cdot 2,298 + 4 \cdot 0,525 + 5 \cdot 0,08 + 6 \cdot 0,074 + 0,124 \cdot 10) +$$

$$+ 0,0161 \cdot 9,62 = 2,17$$

2.1.2 Розрахунок дійсних об'ємів повітря і продуктів згорання

Розрахунок дійсних об'ємів повітря і продуктів згорання проводиться з використанням середнього коефіцієнта надлишку повітря в даному перетині газоходу.

Коефіцієнт надлишку повітря в кінці топки $\alpha_m'' = 1,1$ (приймаємо по [17, табл. XX]).

Присоси повітря (приймаємо по [17, табл. XX]):

- у топці – $\Delta\alpha_m = 0,08$;
- у фестоні – $\Delta\alpha_\phi = 0$;
- у конвективному пучку – $\Delta\alpha_n = 0,08$.

Дійсна витрата повітря, м³/м³

$$V_n = (\alpha_m'' - \Delta\alpha_m) \cdot V_n^0 = (1,1 - 0,08) \cdot 9,62 = 9,81$$

Середні характеристики продуктів згорання в топці:

- коефіцієнт надлишку повітря перед фестоном – $\alpha_m'' = 1,1$;
- коефіцієнт надлишку повітря на вході в топку

$$\alpha_m' = \alpha_m'' - \Delta\alpha_m = 1,1 - 0,08 = 1,02$$

- коефіцієнт надлишку повітря в топці

$$\alpha_{m.cер.} = 0,5 \cdot (\alpha_m' + \alpha_m'') = 0,5 \cdot (1,02 + 1,1) = 1,06$$

- усереднений об'єм водяної пари, $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{сер.} - 1) \cdot V_n^0 = 2,17 + 0,0161 \cdot (1,06 - 1) \cdot 9,62 = 2,18$$

- усереднений об'єм продуктів згорання, $\text{м}^3/\text{м}^3$

$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha_{сер.} - 1) \cdot V_n^0 = 1,03 + 7,61 + 2,18 + (1,06 - 1) \cdot 9,62 = 11,4$$

- доля водяної пари

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}} = \frac{2,18}{11,4} = 0,191$$

- доля триатомних газів

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}} = \frac{1,03}{11,4} = 0,09$$

- сумарна доля водяної пари і триатомних газів

$$r_n = r_{H_2O} + r_{RO_2} = 0,191 + 0,09 = 0,281$$

Розрахунок середніх характеристик продуктів згорання в останніх поверхнях котла виконується аналогічно приведеному для топки і результати розрахунків зведені до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Середні характеристики продуктів згорання в поверхнях нагріву котельної установки

Найменування величин і розрахункова формула	Розмір	Найменування газоходу		
		топка	фестон	конвектив . пучок
Присос повітря	-	0,08	0	0,08
Коефіцієнт надлишку повітря за газоходом $\alpha'' = \alpha' + \Delta\alpha$	-	1,1	1,1	1,18
Середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході $\alpha_{сер} = 0,5 \cdot (\alpha' + \alpha'')$	-	1,06	1,1	1,14
Усереднені об'єми:				
- водяної пари $V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha_{сер} - 1)V_g^0$	м ³ /м ³	2,180	2,185	2,192
- продуктів згорання $V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha_{сер} - 1) \cdot V_n^0$	м ³ /м ³	11,40	11,79	12,18
Доля водяної пари $r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}}$	-	0,191	0,185	0,180
Доля триатомних газів $r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}}$	-	0,090	0,087	0,084
Сумарна доля водяної пари і триатомних газів $r_n = r_{H_2O} + r_{RO_2}$	-	0,281	0,272	0,264

2.2 Розрахунок ентальпій продуктів згорання і повітря

Ентальпії продуктів згорання при $\alpha > 1$, кДж/м³

$$H_{\Gamma} = H_{\Gamma}^0 + (\alpha'' - 1) \cdot H_{\Pi}^0 \quad ,$$

де H_{Γ}^0 – ентальпія продуктів згорання (при $\alpha=1$), кДж/м³;

H_{Π}^0 – ентальпія повітря (при $\alpha=1$), кДж/м³.

Ентальпія газів (при $\alpha=1$) і температурі газів ν , °С, кДж/м³

$$H_{\Gamma}^0 = (cv)_{CO_2} \cdot V_{RO_2} + (cv)_{N_2} \cdot V_{N_2}^0 + (cv)_{H_2O} \cdot V_{H_2O}^0$$

Ентальпія теоретично необхідної кількості повітря, кДж/м³

$$H_{\Pi}^0 = (cv)_{\Pi} \cdot V_{\Pi}^0$$

Множення теплоємностей на температуру (cv) наводиться в [17, табл. XIII]. Значення ентальпій теоретичних і дійсних об'ємів продуктів згорання зведені до таблиці 2.2.

За даними таблиці будується $h\nu$ -діаграма (див. рис. 2.1), що дозволяє визначити ентальпію продуктів згорання при будь-якій температурі для заданого коефіцієнта надлишку повітря.

2.3 Тепловий розрахунок котла

Вихідні дані:

- номінальна теплопродуктивність котла – $Q_{к.в.} = 23,28$ МВт;
- температура води на виході з котла – $t_2 = 150$ °С;
- температура води на вході в котел – $t_1 = 70$ °С;

- температура відходячих газів – $\vartheta_{\text{від}} = 180$ °С.

Значення ентальпій об'ємів повітря і продуктів згорання палива зведені до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення ентальпій об'ємів повітря і продуктів згорання палива, кДж/м³

Температура газів, °С	$H_{\text{п}}^{\circ}$	$H_{\text{г}}^{\circ}$	$H_{\text{г}} = H_{\text{г}}^{\circ} + (\alpha - 1) \cdot H_{\text{п}}^{\circ}$		
			$\alpha_{\text{г}}'' = 1,1$	$\alpha_{\text{ф}}'' = 1,1$	$\alpha_{\text{п}}'' = 1,18$
1	2	3	4	5	6
100	1273,726	1491,003	1618,376	1618,376	1720,27
200	2563,576	3009,685	3266,043	3266,043	3471,12
300	3877,61	4565,365	4953,126	4953,126	5263,33
400	5215,829	6167,269	6688,852	6688,852	7106,11
500	6586,295	7809,959	8468,588	8468,588	8995,49
600	7989,006	9482,599	10281,5	10281,5	10920,6
700	9432,025	11203,68	12146,89	12146,89	12901,4
800	10883,11	12979,15	14067,46	14067,46	14938,1
900	12334,19	14790,83	16024,24	16024,24	17010,9
1000	13825,58	16634,09	18016,65	18016,65	19122,6
1100	15357,27	18481,67	20017,4	20017,4	21245,9
1200	16888,97	20342,66	22031,56	22031,56	23382,6
1300	18420,66	22253,72	24095,78	24095,78	25569,4
1400	19992,67	24200,98	26200,25	26200,25	27799,6
1500	21564,67	26134,54	28291,01	28291,01	30016,1
1600	23136,68	28099,98	30413,65	30413,65	32264,5
1700	24708,68	30078,84	32549,7	32549,7	34526,4
1800	26280,69	32066,78	34694,85	34694,85	36797,3
1900	27893	34086,61	36875,91	36875,91	39107,5
2000	29505,31	36097,06	39047,59	39047,59	41408,2
2100	31117,62	38130,3	41242,06	41242,06	43731,7
2200	32725,93	40172,63	43445,62	43445,62	46064,2

2.3.1 Розрахунок витрати палива

Витрата води через котел, т/год.

$$D = \frac{Q_{\kappa}}{h'' - h'} \cdot 3,6 = \frac{23,28 \cdot 10^3}{632,8 - 294,2} \cdot 3,6 = 247,5 \text{ ,}$$

де h'' – ентальпія води (при температурі 150 °С), кДж/м³;

h' – ентальпія води (при температурі 70 °С), кДж/м³.

Температура відходячих газів $\vartheta_{\text{від}} = 180$ °С.

Ентальпія відходячих газів, кДж/м³

$$H_{\text{від}} = H_{\Gamma}^0 + (\alpha_{\text{від}} - 1) \cdot H_{\Pi}^0 = 2706,2 + (1,18 - 1) \cdot 2304,4 = 3121$$

Ентальпія холодного повітря, кДж/м³

$$H_{\text{х.п.}}^0 = V_{\Pi}^0 (c\vartheta)_{\text{х.п.}} = 9,62 \cdot 39 = 375$$

Втрати теплоти від хімічного недопалювання $q_3 = 0,5$ % (приймаємо по [17, табл. XX]).

Втрати теплоти від механічного недопалювання $q_4 = 0$ %.

Втрати теплоти з відходячими газами, %

$$q_2 = \frac{(H_{\text{від}} - \alpha_{\text{від}} \cdot H_{\text{х.п.}}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p} = \frac{(3121 - 1,18 \cdot 375) \cdot (100 - 0)}{33968} = 7,7$$

Втрати теплоти в довкілля $q_5 = 0,55$ % (приймаємо по [17, рис. 5-1]).

Сума теплових втрат, %

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = 7,7 + 0,5 + 0 + 0,55 = 8,75$$

Коефіцієнт корисної дії котельної установки, %

$$\eta_{к.у.} = 100 - \Sigma q = 100 - 8,75 = 91,25$$

Витрата палива, м³/с

$$B = \frac{Q_{к.у.}}{Q_H^c \cdot \eta_{к.у.}} \cdot 100 = \frac{23,28 \cdot 10^3}{33968 \cdot 91,25} \cdot 100 = 0,73$$

2.3.2 Розрахунок теплообміну в топці

Параметри топкової камери:

- розміри топки в плані – $a \times b = 2944 \times 6144$ мм;
- об'єм топкової камери – $V_m = 61,2$ м³;
- площа радіаційної поверхні – $H_p^m = 106,6$ м²;
- діаметр труб екранів – $d_n = 60 \times 3$ мм;
- крок між трубами – $S = 64$ мм;
- відношення кроку до діаметру труб

$$\frac{S}{d} = \frac{64}{60} = 1,06$$

- відношення відстані від осі труби до обмурівки до діаметру труби

$$\frac{l}{d} = \frac{30}{60} = 0,5$$

- кутовий коефіцієнт $X = 0,99$ (приймаємо по [17, ном. \bar{I}]);
- площа стін топки, м²

$$H_{cm}^m = \frac{H_p^m}{X} = \frac{106,6}{0,99} = 108$$

- степінь екранування топки

$$\phi = \frac{H_p^m}{H_{cm}^m} = \frac{106,6}{108} = 0,99$$

2.3.2.1 Тепловий розрахунок топки

Ефективна товщина випромінюючого шару, м

$$S = 3,6 \cdot \frac{V_m}{H_{cm}^m} = 3,6 \cdot \frac{61,2}{108} = 2,04$$

Сумарна об'ємна доля триатомних газів і водяної пари – $r_n = 0,281$.

Сумарна поглинальна здатність триатомних газів і водяної пари, (мМПа)

$$p_n \cdot S = p \cdot r_n \cdot S = 0,1 \cdot 0,281 \cdot 2,04 = 0,0573$$

Температура димових газів на виході з топки (приймаємо), °С(К)

$$g_m'' = 1245; \quad T_m'' = 273 + 1245 = 1518$$

Ентальпія газів на виході з топки $H_m'' = 22961$ кДж/м³.

Коефіцієнт послаблення променів триатомними газами, 1/(мМПа)

$$k_r = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_n \cdot S}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_m''}{1000} \right) =$$

$$= \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,191}{3,16 \cdot \sqrt{0,0573}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1518}{1000} \right) = 6,06$$

Відношення вуглецю палива до водню

$$\frac{C^p}{H^p} = 0,12 \cdot \left(\sum \frac{m}{n} C_m H_n \right) =$$

$$= 0,12 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot 95,218 + \frac{2}{6} \cdot 2,298 + \frac{3}{8} \cdot 0,525 + \frac{4}{10} \cdot 0,08 + \frac{5}{12} \cdot 0,074 \right) = 2,98$$

Коефіцієнт послаблення променів сажистими частками, 1/(м·МПа)

$$k_{саж} = 0,3 \cdot (2 - \alpha_m'') \cdot \left(1,6 \cdot \frac{T_m''}{1000} - 0,5 \right) \cdot \frac{C^p}{H^p} =$$

$$= 0,3 \cdot (2 - 1,1) \cdot \left(1,6 \cdot \frac{1518}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,98 = 1,55$$

Коефіцієнт послаблення променів топковим середовищем, 1/(м·МПа)

$$k = k_r \cdot r_n + k_{саж} = 6,06 \cdot 0,281 + 1,55 = 3,25$$

Сила поглинання газового шару

$$k_r \cdot p_n \cdot S = 6,06 \cdot 0,0573 = 0,347$$

Степінь чорноти частини факелу, що світиться

$$a_{св} = 1 - e^{-k_p \cdot S} = 1 - e^{-3,25 \cdot 0,12 \cdot 0,04} = 0,485$$

Степінь чорноти частини факелу, що не світиться

$$a_r = 1 - e^{-k_r \cdot p_n \cdot S} = 1 - e^{-0,347} = 0,293$$

Питома теплова напруга топкового об'єму, кВт/м³

$$q_v = \frac{B \cdot Q_H^C}{V_m} = \frac{0,73 \cdot 33968}{61,2} = 414,8$$

Коефіцієнт, що враховує заповнення топки полум'ям, що світиться (вибираємо інтерполяцією):

- при $q_v \leq 400$ кВт/м³ $\rightarrow m=0,1$;
- при $q_v = 1163$ кВт/м³ $\rightarrow m=0,6$;
- при $q_v = 414,8$ кВт/м³ $\rightarrow m=0,11$.

Степінь чорноти факелу

$$a_\phi = m \cdot a_{ce} + (1-m) \cdot a_r = 0,11 \cdot 0,485 + (1-0,11) \cdot 0,293 = 0,314$$

Коефіцієнт забруднення екранів $\xi = 0,65$ (приймаємо по [17, табл. 6-2]).

Середнє значення теплової ефективності топкових екранів

$$\varphi_{сер} = \frac{\sum X_i \cdot \xi \cdot H_{cm}^i}{H_{cm}^m} = \xi \cdot \varphi = 0,65 \cdot 0,8 = 0,52$$

Степінь чорноти топки

$$a_m = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1-a_\phi) \cdot \varphi_{сер}} = \frac{0,314}{0,314 + (1-0,314) \cdot 0,52} = 0,468$$

Теплота, що вноситься до топки повітрям, кДж/м³

$$Q_{II} = (\alpha_m'' - \Delta\alpha_m) \cdot V_{II}^0 (c\vartheta)_{X.II} = (1,1 - 0,08) \cdot 9,62 \cdot 39 = 383$$

Тепловиділення в топці, кДж/м³

$$Q_m = Q_p \cdot \frac{100 - (q_3 + q_4 + q_6)}{100 - q_4} + Q_B = 33968 \cdot \frac{100 - (0,5 + 0 + 0)}{100 - 0} + 383 = 34986$$

Адіабатна температура горіння, °С(К)

$$g_a = 1813; \quad T_a = 273 + 1813 = 2086$$

Тепловиділення на 1 м² поверхні стін, кВт/м²

$$q_m = \frac{Q_m \cdot B_p}{H_{cm}} = \frac{34986 \cdot 0,73}{108} = 236,5$$

Середня сумарна теплоємність продуктів згорання, кДж/(м³·К)

$$\overline{VC} = \frac{Q_m - H_m''}{g_a - g_a''} = \frac{34986 - 22961}{1813 - 1245} = 21,17$$

Критерій Больцмана

$$Bo = \frac{\phi \cdot B_p \cdot \overline{VC}}{5,6 \cdot 10^{-11} \cdot \phi_{cep} \cdot H_{cm}^m \cdot T_a^3} = \frac{0,994 \cdot 0,73 \cdot 21,17}{5,6 \cdot 10^{-11} \cdot 0,52 \cdot 108 \cdot 2086^3} = 0,538$$

Чинник, що характеризує місце розташування факела в топці

$$M = 0,54 - 0,2 \cdot X_m = 0,54 - 0,2 \cdot \frac{h_m}{H_m} = 0,54 - 0,2 \cdot \frac{2400}{4250} = 0,427$$

Температура газів на виході з топки, °С

$$g_m'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot \left(\frac{a_m}{Bo}\right)^{0,6}} - 273 = \frac{2086}{1 + 0,427 \cdot \left(\frac{0,468}{0,538}\right)^{0,6}} - 273 = 1225$$

Ентальпія газів на виході з топки $H_m'' = 22548$ кДж/м³.

Теплота, передана випромінюванням в топці, кДж/м³

$$Q_{\text{пром}} = \phi \cdot (Q_m - H_m'') = 0,994 \cdot (34986 - 22548) = 12363$$

Ентальпія води на виході з топки, кДж/кг

$$h'' = h' + \frac{B}{D} \cdot Q_{\text{пром}} = 294,2 + \frac{0,73}{68,75} \cdot 12363 = 425,5$$

Температура води на виході з топки $t'' = 101$ °С.

2.3.3 Розрахунок фестона

Конструктивні характеристики фестона:

- розташування труб – шахове;
- поперечний крок – $S_1 = 256$ мм;
- подовжній крок – $S_2 = 180$ мм;
- зовнішній діаметр труб – $d_3 = 60$ мм;
- відносний крок

$$\frac{S_1}{d} = \frac{256}{60} = 4,3; \quad \frac{S_2}{d} = \frac{180}{60} = 3$$

Інші конструктивні характеристики фестона наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Поверхня нагріву фестона

Ряд	Кількість труб у ряду, шт.	Довжина труби, м	Поверхня нагріву ряду, м ²	Поверхня нагріву пучка, м ²
1	12	1,238	$H_1 = \pi \cdot d_n \cdot l_1 \cdot n_1 =$ $= 3,14 \cdot 0,06 \cdot 1,238 \cdot 12 = 2,8$	13,07
2	11	1,418	$H_2 = 3,14 \cdot 0,06 \cdot 1,418 \cdot 11 = 2,94$	
3	11	1,598	$H_3 = 3,14 \cdot 0,06 \cdot 1,598 \cdot 11 = 3,31$	
4	12	1,778	$H_4 = 3,14 \cdot 0,06 \cdot 1,778 \cdot 12 = 4,02$	

Перетин для проходу газів, м²

$$\Omega_{\phi i} = (l_{\phi} + 0,5) \cdot \epsilon_{ce} - d_n \cdot n_i \cdot l_{\phi i}$$

$$\Omega_{\phi 1} = (1,238 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,238 = 4,225$$

$$\Omega_{\phi 2} = (1,418 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,418 = 4,711$$

$$\Omega_{\phi 3} = (1,598 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,598 = 5,122$$

$$\Omega_{\phi 4} = (1,778 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,778 = 5,426$$

Усереднений перетин для проходу газів, м²

$$\Omega_{k.n.} = \frac{H_{k.n.}}{\sum \frac{H_i}{\Omega_{\phi i}}} = \frac{13,07}{\frac{2,8}{4,225} + \frac{2,94}{4,711} + \frac{3,31}{5,122} + \frac{4,02}{5,426}} = 4,89$$

Площа фесто́на, м²

$$H^{\phi} = \epsilon \cdot l_{\phi} = 2,944 \cdot 1,238 = 3,645$$

Кутовий коефіцієнт фесто́на – $X^{\phi} = 1$.

Радіаційна поверхня фесто́на, м²

$$H_p^{\phi} = H^{\phi} \cdot X^{\phi} = 3,645 \cdot 1 = 3,645$$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м

$$\frac{S_1 + S_2}{d} = \frac{256 + 180}{60} = 7,27$$

$$S_{\text{эф}} = d \cdot \left(2,82 \cdot \frac{S_1 + S_2}{d} - 10,6 \right) = 0,06 \cdot (2,82 \cdot 7,27 - 10,6) = 0,594$$

2.3.3.1 Тепловий розрахунок фесто́на

Розрахункова поверхня фесто́на, м²

$$H_p = H_{k.n.} - \phi_{\phi} \cdot H_p^{\phi} = 13,07 - 0,79 \cdot 3,645 = 10,19$$

Температура газів перед фесто́ном – $\vartheta'_{\phi} = \vartheta''_T = 1225$ °С.

Ентальпія газів перед фесто́ном – $H'_{\phi} = H''_T = 22548$ кДж/м³.

Температура газів за фесто́ном – $\vartheta''_{\phi} = 1145$ °С.

Ентальпія газів за фестоном – $H''_{\phi}=20905$ кДж/м³.

Теплосприйняття фестона по балансу, кДж/м³

$$Q_{\phi}^E = \varphi \cdot (H'_{\phi} - H''_{\phi}) = 0,994 \cdot (22548 - 20905) = 1633$$

Середня температура води, °С

$$t_{cp} = \frac{t' + t''}{2} = \frac{101 + 150}{2} = 125,5$$

Середня температура газів, °С

$$g_{cp} = \frac{g' + g''}{2} = \frac{1225 + 1145}{2} = 1185$$

Середній температурний натиск, °С

$$\Delta t = g_{cp} - t_{cp} = 1185 - 125,5 = 1059,5$$

Середня швидкість газів у фестоні, м/с

$$W_{\Gamma, cp} = \frac{B_p \cdot V_{\Gamma} \cdot (g_{cp} + 273)}{\Omega_{к.п.} \cdot 273} = \frac{0,73 \cdot 11,79 \cdot (1185 + 273)}{4,89 \cdot 273} = 9,4$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією (приймаємо по [17, ном. 13]),
Вт/(м²·К)

$$\alpha_K = \alpha_H \cdot C_Z \cdot C_S \cdot C_{\phi} = 71,57 \cdot 0,92 \cdot 0,97 \cdot 1,03 = 65,79$$

Коефіцієнт забруднення – $\varepsilon = 0,005$ (м²·К)/Вт [17].

Сумарна поглинальна здатність газів, 1/(м·МПа)

$$p_n \cdot S = p \cdot r_n \cdot S = 0,1 \cdot 0,272 \cdot 0,594 = 0,0161$$

Коефіцієнт послаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа)

$$k_\Gamma = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_n \cdot S}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T_\phi''}{1000} \right) =$$

$$= \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,185}{3,16 \cdot \sqrt{0,0161}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1418}{1000} \right) = 12,28$$

Сила поглинання газового потоку, 1/(м·МПа)

$$k \cdot p \cdot S = k_\Gamma \cdot r_n \cdot S = 12,28 \cdot 0,272 \cdot 0,594 = 1,984$$

Температура забрудненої стінки труби, °С

$$t_3 = t_{cep} + \frac{Q_B \cdot B_p \cdot \varepsilon}{H_p} = 125,5 + \frac{1633 \cdot 0,73 \cdot 0,005}{10,19} = 126,1$$

Степінь чорноти газів у фестоні

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot S} = 1 - e^{-1,984} = 0,862$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням (приймаємо по [17, ном. 19]),
Вт/(м²·К)

$$\alpha_n = \alpha_H \cdot a \cdot C_r = 224 \cdot 0,862 \cdot 1 = 193,13$$

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К)

$$k = \frac{\alpha_{\text{пром}} + \alpha_K}{1 + \varepsilon \cdot (\alpha_{\text{пром}} + \alpha_K)} = \frac{193,13 + 65,79}{1 + 0,005 \cdot (193,13 + 65,79)} = 112,84$$

Теплосприйняття фестона по теплопередачі, кДж/м³

$$Q_{\Phi}^T = \frac{k \cdot \Delta t \cdot H_p}{1000 \cdot B_p} = \frac{112,84 \cdot 1059,5 \cdot 10,19}{1000 \cdot 0,73} = 1668,8$$

Нев'язка теплосприйняття, %

$$\Delta Q = \frac{Q_{\Phi}^B - Q_{\Phi}^T}{Q_{\Phi}^B} \cdot 100 = \frac{1633 - 1668,8}{1633} \cdot 100 = -2,2$$

2.3.4 Розрахунок теплообміну в екранах конвективної шахти

Конструктивні характеристики задньої і передньої стінок:

- діаметр труб – $d_H = 60 \times 3$ мм.
- крок між трубами – $S = 64$ мм.
- відносний крок

$$\frac{S}{d} = \frac{64}{60} = 1,06$$

- відносна відстань від осі труби до обмурівки

$$\frac{l}{d} = \frac{30}{60} = 0,5$$

- кутовий коефіцієнт – $X = 0,99$;
- площа стін, зайнятих екранами, м²

$$H_{cm} = (5,9 + 4,05) \cdot 2,944 = 29,3$$

- промениста поверхня, м²

$$H_{пром} = X \cdot H_{cm} = 0,99 \cdot 29,3 = 29,0$$

Конструктивні характеристики бокових стін:

- діаметр труб – $d_H = 83 \times 3,5$ мм;
- крок між трубами – $S = 128$ мм;
- відносний крок

$$\frac{S}{d} = \frac{128}{83} = 1,54$$

- відносна відстань від осі труби до обмурівки

$$\frac{l}{d} = \frac{41,5}{83} = 0,5$$

- кутовий коефіцієнт – $X = 0,92$;
- площа стін, зайнятих екранами, м²

$$H_{cm} = 5,9 \cdot 1,536 \cdot 2 = 18,12$$

- промениста поверхня, м²

$$H_{пром} = X \cdot H_{cm} = 0,92 \cdot 18,12 = 16,7$$

- повна промениста поверхня, м²

$$H_{\text{пром}} = 29 + 16,7 = 45,7$$

- температура газів на вході в конвективну шахту, °С

$$g'_{\text{к.ш.}} = g''_{\phi} = 1145$$

- ентальпія газів на вході в конвективну шахту, кДж/м³

$$H'_{\text{к.ш.}} = H''_{\phi} = 20905$$

- середня температура води, °С

$$t_{\text{сер}} = \frac{t' + t''}{2} = \frac{70 + 150}{2} = 110$$

- теплосприйняття поверхні нагріву – $Q_B = 1085$ кДж/м³;

- коефіцієнт забруднення – $\varepsilon = 1$ (м²·К)/Вт [17];

- температура забрудненої поверхні, °С

$$t_3 = t_{\text{сер}} + \frac{B_p \cdot Q_B}{H_{\text{луч}}} = 110 + \frac{0,73 \cdot 1085}{45,7} = 127$$

- об'єм конвективної шахти в області екранів, м³

$$V = 1,536 \cdot 2,944 \cdot 4,05 = 18,3$$

- площа стін, м²

$$F_{\text{ст}} = 29,3 + 18,12 = 47,42$$

- товщина випромінюючого шару, м

$$S_{\text{эф}} = 3,6 \cdot \frac{V}{F_{\text{см}}} = 3,6 \cdot \frac{18,3}{47,42} = 1,4$$

- сумарна поглинальна здатність газів, 1/(м·МПа)

$$p_n \cdot S = p \cdot r_n \cdot S = 0,1 \cdot 0,264 \cdot 1,4 = 0,037$$

2.3.4.1 Тепловий розрахунок стін конвективної шахти

Коефіцієнт послаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа)

$$k_r = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{\text{H}_2\text{O}}}{3,16 \cdot \sqrt{p_n S}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T'}{1000} \right) =$$

$$= \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,18}{3,16 \cdot \sqrt{0,037}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1418}{1000} \right) = 7,87$$

Сила поглинання газового потоку, 1/(м·МПа)

$$k \cdot p \cdot S = k_r \cdot p_n \cdot S = 7,87 \cdot 0,037 = 0,291$$

Степінь чорноти

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot S} = 1 - e^{-0,291} = 0,256$$

Середня температура газового середовища, °С(К)

$$g_{\text{сер}} = \frac{g' + g''}{2} = \frac{1145 + 180}{2} = 662,5$$

$$T = g_{\text{сер}} + 273 = 662,5 + 273 = 935,5$$

Температура забрудненої стінки труби, °С

$$T_3 = t_3 + 273 = 127 + 273 = 400$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, кДж/(м²·К)

$$\alpha_{\text{т}} = \left[4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{a_3 + 1}{2} \cdot a \cdot T^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T}\right)^{3,6}}{1 - \frac{T_3}{T}} \right] \cdot \frac{4,19}{3,6} =$$

$$= \left[4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,8 + 1}{2} \cdot 0,256 \cdot 935,5^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{400}{935,5}\right)^{3,6}}{1 - \frac{400}{935,5}} \right] \cdot \frac{4,19}{3,6} = 17$$

Теплосприйняття поверхні нагріву, кДж/м³

$$Q_{\text{пром}} = \frac{\alpha_{\text{пром}} \cdot (g' - t_3) \cdot H_{\text{пром}}}{1000 \cdot B_p} = \frac{17 \cdot (1145 - 127) \cdot 45,7}{1000 \cdot 0,73} = 1083,4$$

Нев'язка теплосприйняття, %

$$\Delta Q_{\text{пром}} = \frac{Q_{\text{пром}} - Q_B}{Q_B} \cdot 100 = \frac{1083,4 - 1085}{1085} \cdot 100 = -0,15$$

2.3.5 Розрахунок конвективної частини котла

Для розрахунку конвективної частини необхідні дані беремо з [7] та зводимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Поверхня нагріву трубної частини напівсекції

№ змійовика	Довжина напівпетлі l_i , м	Поверхня нагріву H_i , м^2
1	2,864	$H_1=3,14 \cdot 0,06 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2,864=1,007$
2	2,821	0,992
3	2,778	0,977
4	2,735	0,962
5	2,692	0,947
6	2,649	0,932
7	2,606	0,916
8	2,563	0,901

Поверхня нагріву напівпетлі, м^2

$$H_i = \pi \cdot d_H \cdot n \cdot z \cdot l_i$$

Поверхня нагріву напівсекції, м^2

$$H_{mp} = \Sigma H_i = 7,634$$

Поверхня нагріву стояка, м^2

$$H_{cm} = \pi \cdot d \cdot l = 3,14 \cdot 0,083 \cdot 4,05 = 1,055$$

Поверхня нагріву секції, м²

$$H_{\text{секц}} = 2 \cdot H_{\text{тр}} + H_{\text{ст}} = 7,634 \cdot 2 + 1,055 = 16,32$$

Поверхня нагріву конвективного пакету, м²

$$H_{\text{пак}} = n_{\text{секц}} \cdot H_{\text{секц}} = 23 \cdot 16,32 = 375,4$$

Діаметр труб – $d_s = 28 \times 3$ мм.

Подовжній крок між трубами – $S_1 = 64$ мм.

Поперечний крок між трубами – $S_2 = 40$ мм.

Відносний подовжній крок

$$\frac{S_1}{d} = \frac{64}{28} = 2,28$$

Відносний поперечний крок

$$\frac{S_2}{d} = \frac{40}{28} = 1,43$$

Розміри газоходу, мм

$$a \times b = 2944 \times 1536$$

Перетин для проходу газу, м²

$$\Omega = a \cdot b - d \cdot l \cdot n = 2,944 \cdot 1,536 - 0,028 \cdot 2,944 \cdot 23 = 2,626$$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м

$$S_{\text{эф}} = 3,6 \cdot \frac{V}{F} = 3,6 \cdot \frac{18,3}{47,42} = 1,4$$

Сумарна поглинальна здатність газів, 1/(м·МПа)

$$p_n \cdot S = p \cdot r_n \cdot S = 0,1 \cdot 0,264 \cdot 1,4 = 0,037$$

Коефіцієнт послаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа)

$$k_r = \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \cdot \sqrt{p_n S}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{T'}{1000} \right) =$$

$$= \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,18}{3,16 \cdot \sqrt{0,037}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \cdot \frac{1418}{1000} \right) = 7,87$$

Сила поглинання газового потоку, 1/(м·МПа)

$$k \cdot p \cdot S = k_r \cdot p_n \cdot S = 7,87 \cdot 0,037 = 0,291$$

Степінь чорноти

$$a = 1 - e^{-k \cdot p \cdot S} = 1 - e^{-0,291} = 0,256$$

Температура газів перед поверхнею – $\vartheta' = \vartheta'_\phi = 1145$ °С.

Ентальпія газів перед поверхнею – $H'_r = H''_\phi = 20905$ кДж/м³.

Температура газів за поверхнею – $\vartheta'' = 180$ °С.

Ентальпія газів за поверхнею – $H''_r = 3121$ кДж/м³.

Сумарне теплосприйняття поверхонь по балансу, кДж/м³

$$Q_{\Sigma} = \phi \cdot (H'_r - H''_r + \Delta\alpha_{np} \cdot H_{X.II}^0) = 0,994 \cdot (20905 - 3121 + 0,08 \cdot 392) = 16993$$

Теплосприйняття конвективного блоку, кДж/м³

$$Q_{К.Б.} = Q_{\Sigma} - Q_{cm} = 16993 - 1085 = 15908$$

Температура води на вході – $t' = 101$ °С.

Температура води на виході – $t'' = 150$ °С.

Середня температура води в конвективному блоці, °С

$$t_{сер} = \frac{t' + t''}{2} = \frac{101 + 150}{2} = 125,5$$

Найбільший температурний натиск, °С

$$\Delta t_{\delta} = g' - t' = 1145 - 101 = 1044$$

Найменший температурний натиск, °С

$$\Delta t_{m} = g'' - t'' = 180 - 150 = 30$$

Середній температурний натиск, °С

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}} = \frac{1044 - 30}{2,3 \cdot \lg \frac{1044}{30}} = 285$$

Середня температура газів, °С

$$g_{\text{сер}} = \frac{g' + g''}{2} = \frac{1145 + 180}{2} = 662,5$$

Середня швидкість газів, м/с

$$W_{\Gamma} = \frac{B_p \cdot V_{\Gamma} \cdot (g_{\text{сер}} + 273)}{\Omega \cdot 273} = \frac{0,73 \cdot 12,18 \cdot (662,5 + 273)}{2,626 \cdot 273} = 11,6$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²·К)

$$\alpha_K = \alpha_H \cdot C_Z \cdot C_S \cdot C_{\Phi} = 91,39 \cdot 1,0 \cdot 0,99 \cdot 1,04 = 94,1$$

Температура зовнішніх забруднень стінки, °С

$$t_3 = t_{\text{сер}} + \frac{B_p \cdot Q_{\text{К.Б}}}{H} = 125,5 + \frac{0,73 \cdot 15908}{375,4} = 156$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/(м²·К)

$$\alpha_{\text{пром}} = \alpha_3 \cdot a \cdot C_r = 72,2 \cdot 0,256 \cdot 0,99 = 18,3$$

Коефіцієнт теплопередачі від газів до води, Вт/(м²·К)

$$k = \xi \cdot (\alpha_K + \alpha_{\text{пром}}) = 1 \cdot (94,1 + 18,3) = 112,4$$

Теплосприйняття по теплопередачі, кДж/м³

$$Q_{\Gamma} = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{1000 \cdot B_p} = \frac{112,4 \cdot 375,4 \cdot 285}{1000 \cdot 0,73} = 16473$$

Нев'язка теплосприйняття, %

$$\Delta Q = \frac{Q_B - Q_T}{Q_B} \cdot 100 = \frac{15908 - 16473}{15908} \cdot 100 = -3,55$$

2.3.6 Нев'язка теплового балансу

Корисно використана теплота від наявної теплоти, кДж/м³

$$Q'' = Q_P \cdot \eta_{к.у.} = 33968 \cdot \frac{91,25}{100} = 30995,8$$

Корисно використана теплота по окремих елементах котла, кДж/м³

- у топці – $Q_{пром} = 12363$;

- у фестоні – $Q_{\phi} = 1633$;

- у екранах конвективної шахти – $Q_{см} = 1085$;

- у конвективному блоці – $Q_{блок} = 15908$.

Сума корисно використаної теплоти, кДж/м³

$$Q = \sum Q_i = 12363 + 1633 + 1085 + 15908 = 30989$$

Розрахункова нев'язка теплового балансу котла, кДж/м³

$$\Delta Q = Q'' - Q = 30995,8 - 30989 = 6,8$$

Відносна нев'язка теплового балансу котла, %

$$\frac{\Delta Q}{Q_P} \cdot 100 = \frac{6,8}{33968} \cdot 100 = 0,02$$

2.4 Розрахунок і проектування пальникового пристрою

Існуючий пальник з периферійною подачею газу реконструюється на пальник з периферійною і центральною подачею газу. Для цього по осі пальника вмонтовується труба зовнішнім діаметром 89 мм, по якій підводиться газ, в кількості, необхідній для сумішевідтворення з повітрям, що проходить через внутрішній завихорювач. Газ виходить в закручений повітряний потік через отвори, виконані в цій трубі.

Кільцевий зазор, що утворився, між зовнішнім завихорювачем і центральною трубою заповнюється внутрішнім завихорювачем з параметрами крутки повітря, відповідними параметрам крутки зовнішнього завихорювача. Розмір втулки внутрішнього завихорювача відповідає стандартному діаметру труби рівному 108 мм. При цьому зовнішній газовий колектор реконструкції не підлягає.

2.4.1 Аеродинамічний розрахунок повітряного тракту пальника в цілому

Кут виходу потоку повітря із завихорювача $\alpha_{1r} = 45^\circ = \beta$.

Середній діаметр облопачування, мм

$$D_{сер} = \frac{D_{зов} + D_{вн}}{2} = \frac{638 + 108}{2} = 373$$

Плече крутки, мм

$$R_0 = \frac{D_{сер}}{2} = \frac{373}{2} = 186,5$$

Площа проходу повітря через зовнішній завихорювач, м²

$$\Sigma f_1 = z \cdot a \cdot b = 18 \cdot 0,0055 \cdot 0,17 = 0,1683$$

Площа завихорювача нормальна до осьової швидкості, м²

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{зов}}^2 - D_{\text{ем}}^2) = \frac{3,14}{4} \cdot (0,638^2 - 0,108^2) = 0,31$$

Середньовитратна швидкість на виході із завихорювача, м/с

$$W_{1a} = \frac{V_b}{F} = \frac{7,35}{0,31} = 23,7$$

Швидкість повітря в мінімальних перетинах міжлопаткових каналів завихорювача, м/с

$$W_0 = \frac{W_{1a}}{\sin \beta} = \frac{23,7}{\sin 45} = 33,5$$

Сумарна площа мінімальних перетинів міжлопаткових каналів завихорювача, м²

$$\Sigma f = \frac{V_b}{W_0} = \frac{7,35}{33,5} = 0,219$$

Площа проходу повітря через внутрішній завихорювач, м²

$$\Sigma f_2 = \Sigma f - \Sigma f_1 = 0,219 - 0,1683 = 0,0507$$

Геометричний параметр крутки пальника

$$\frac{\Sigma f}{\pi \cdot R_0 \cdot R_n \cdot \cos \beta} = \frac{0,219}{3,14 \cdot 0,1865 \cdot 0,319 \cdot \cos 45} = 1,65$$

Даному параметру крутки відповідає кут крутки на виході з пальника при $\varepsilon = 1 \rightarrow \alpha_1 = 45^\circ$.

Відносний розмір зони зворотних струмів за завихорювачем

$$\frac{R_B}{R_{II}} = 0,27$$

Абсолютний розмір зони зворотних струмів за завихорювачем, мм

$$D_B = D_1 \cdot \frac{R_B}{R_{II}} = 638 \cdot 0,27 = 172$$

При $\varepsilon = 0,5 \rightarrow \alpha_1 = 60^\circ$.

Коефіцієнт опору

$$\xi = \left[\frac{\frac{R_0}{R_u} \cdot \cos \beta}{\phi_0 \cdot \frac{R_n}{R_u} \cdot \left(1 - \frac{A}{4 \cdot \tan \alpha_1 \cdot \varepsilon} \right) \cdot \cos \alpha_1} \right]^2 = \left[\frac{0,584 \cdot \cos 45}{0,9 \cdot 0,99 \cdot \left(1 - \frac{1,65}{4 \cdot \tan 60 \cdot 0,5} \right) \cdot \cos 60} \right]^2 = 3,13$$

Перепад тиску між входом в завихорювач і виходом з пальника, Па
(мм вод. ст.)

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot W_0^2}{2} = 3,13 \cdot \frac{1,18 \cdot 33,5^2}{2} = 2112(212)$$

Витрата повітря через зовнішній завихорювач, м³/с

$$V_1 = W_0 \cdot \Sigma f_1 = 33,5 \cdot 0,1683 = 5,63$$

Витрата повітря через внутрішній завихорювач, м³/с

$$V_2 = W_0 \cdot \Sigma f_2 = 33,5 \cdot 0,05 = 1,67$$

Площа отвору між центральною трубою і втулкою внутрішнього завихорювача, м²

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{em}^2 - D_{mp}^2) = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,089^2) = 0,00163$$

Швидкість повітря в цьому зазорі, м/с

$$W_3 = \phi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2025}{1,18}} = 47,83$$

Витрата повітря через зазор, м³/с

$$V_3 = W_3 \cdot F = 47,83 \cdot 0,00163 = 0,08$$

Сумарна витрата повітря через кільцевий зазор і нижній завихорювач, м³/с

$$V_4 = V_2 + V_3 = 1,76 + 0,08 = 1,75$$

Витрата повітря на пальник, м/с

$$V_n = V_1 + V_4 = 5,63 + 1,75 = 7,38$$

Число лопаток зовнішнього завихорювача колишнє $Z_1 = 18$ шт.

2.4.2 Розрахунок параметрів внутрішнього завихорювача

Число лопаток $Z_2 = 8$ шт. (приймаємо).

Середній діаметр облопачування, мм

$$D_{cep_2} = \frac{D_{306} + D_{6m}}{2} = \frac{290 + 108}{2} = 199$$

Крок установки лопаток на D_{cep_2} , мм

$$t_{cep_2} = \frac{\pi \cdot D_{cep_2}}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 199}{8} = 78,1$$

«Горло» решётки на D_{cep_2} , мм

$$a_{cep_2} = \frac{t_{cep_2} \cdot \sin \beta}{m} = \frac{78,1 \cdot \sin 45}{1,05} = 52,58$$

Крок установки лопаток на D_{306_2} , мм

$$t_{306_2} = \frac{\pi \cdot D_{306_2}}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 290}{8} = 113,8$$

«Горло» решётки на D_{306_2} , мм

$$a_{306_2} = \frac{t_{306_2} \cdot \sin \beta}{m} = \frac{113,8 \cdot \sin 45}{1,05} = 76,6$$

Крок установки лопаток на D_{6m} , мм

$$t_{6m} = \frac{\pi \cdot D_{6m}}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 108}{8} = 42,4$$

«Горло» решётки на D_{6m} , мм

$$a_{6m} = \frac{t_{6m} \cdot \sin \beta}{m} = \frac{42,4 \cdot \sin 45}{1,05} = 28,5$$

Висота лопатки завихорювача, мм

$$b = \frac{D_{зоб2} - D_{em}}{2} = \frac{290 - 108}{2} = 91$$

Параметри прямих лопаток при $\beta = 45^\circ$.

- ширина бандажу:

- на $D_{em} \rightarrow L=42,4$ мм;

- на $D_{зоб} \rightarrow L=113,8$ мм.

Довжина лопатки:

- на втулці $L_{bt}=L/\sin\beta=42,4/\sin45^\circ=60$ мм;

- на зовнішньому діаметрі $L_{зоб}=L'_{нар}/\sin\beta=113,8/\sin45^\circ=161$ мм.

Для додання повітря осьового входу в завихорювач його лопатки на вході загинаються виходячи з конструктивних міркувань.

По даних розмірах спроектований завихорювач і представлений на кресленні.

2.4.3 Аеродинамічний розрахунок газової частини пальника

Сумарна витрата газу на номінальному режимі $V_{Г1}=0,75$ м³/с=2700 м³/год.

Питома витрата повітря на пальник $V_B=9,81$ м³/м³.

Витрата газу через зовнішній завихорювач, м³/с

$$V_{Г1} = \frac{V_{B1}}{V_B} = \frac{5,63}{9,81} = 0,574$$

Витрата газу через внутрішній завихорювач, м³/с

$$V_{Г2} = \frac{V_{B4}}{V_B} = \frac{1,75}{9,81} = 0,178$$

Площа існуючих отворів для проходу газу $F_{Г1}=0,004 \text{ м}^2$ (відома).

Швидкість газу в цих отворах, м/с

$$W_{Г1} = \frac{B_{Г1}}{F_{Г1}} = \frac{0,574}{0,004} = 143,4$$

Перепад тиску в отворах, мм вод. ст.

$$\Delta P = \frac{1}{\phi^2} \cdot \frac{\rho \cdot W_{Г1}^2}{2 \cdot g} = \frac{1}{0,7^2} \cdot \frac{0,73 \cdot 143,4^2}{2 \cdot 9,81} = 1563 \text{ ,}$$

що менше, ніж при однобічному підведенні газу рівному 1899,5 мм вод. ст.

2.4.3.1 Розрахунок проникнення струменів газу в потік повітря, що проходить через верхній завихорювач

Швидкість повітря в абсолютному русі за завихорювачем $W_B=W_0=33,5$ м/с.

Глибина проникнення газових струменів в повітряний потік, мм

$$h_1 = d \cdot k \cdot \frac{W_{Г1}}{W_{П}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{Г}}{\rho_{П}}} = 16 \cdot 1,6 \cdot \frac{143,4}{33,5} \cdot \sqrt{\frac{0,73}{1,18}} = 86$$

Діаметр газового струменя в потоці повітря, мм

$$D_{C1} = 0,75 \cdot h_1 = 0,75 \cdot 86 = 64$$

Радіус струменя, на якому розташовуються газові струмені в потоці повітря, мм

$$r_1 = \frac{D_1}{2} - h_1 = \frac{638}{2} - 64 = 232$$

Крок між струменями в потоці повітря, мм

$$t_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_1}{z} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 232}{20} = 73$$

Відносний крок між струменями в потоці повітря

$$\frac{t_1}{D_{c1}} = \frac{73}{64} = 1,14$$

Абсолютний крок між газовипускними отворами, мм

$$S = \frac{\pi \cdot D_1}{z} = \frac{3,14 \cdot 638}{20} = 100$$

Відносний крок між газовипускними отворами

$$\frac{S}{d_1} = \frac{100}{16} = 6,26$$

Отже, струмені розташовуються із зазорами, що забезпечують розвиток струменів в потоці повітря без злиття.

Зазор між струменями, мм

$$\Delta = t_1 - D_{c1} = 73 - 64 = 9$$

2.4.3.2 Розрахунок діаметру газовипускних отворів і глибини проникнення газових струменів в потік повітря, що проходить через нижній завихорювач

Розглядається центральна проточна частина для повітря, як кільцевий канал розмірами $D_{зоб}=290$ мм на $D_{BT}=89$ мм.

Розмір кільця по радіусу, мм

$$A=0,5 \cdot (D_{зоб}-D_{BT})=0,5 \cdot (290-89)=100,5$$

Значення глибини проникнення газових струменів в повітряний потік, що рекомендуються [2], мм

$$h=(0,58 \dots 0,72) \cdot A=(0,58 \dots 0,72) \cdot 100,5=(58 \dots 72)$$

Приймаємо $h_2=58$ мм.

Швидкість газу в отворах, м/с

$$W_{r2} = \phi^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{\rho}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1563}{0,73}} = 143$$

Площа отворів для проходу газу, м²

$$F_{r2} = \frac{B_{r2}}{W_{r2}} = \frac{0,178}{143} = 0,00124$$

Діаметр газовипускних отворів, мм

$$d_2 = \frac{h_2}{k \cdot \frac{W_{r2}}{W_{r2}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_r}{\rho_{r2}}}} = \frac{58}{1,6 \cdot \frac{143}{33,5} \cdot \sqrt{\frac{0,73}{1,18}}} = 10,8$$

Приймаємо $d_2=11$ мм.

Площа одного отвору, м²

$$f = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,011^2}{4} = 0,000095$$

Число отворів, шт.

$$n = \frac{F}{f} = \frac{0,0124}{0,000095} = 13$$

Приймаємо $n_2=12$ отв.

Тоді площа одного отвору складе, м²

$$f = \frac{F_{r2}}{n_2} = \frac{0,0124}{12} = 0,000148$$

Діаметр отвору, мм

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000148}{3,14}} = 13,8$$

Приймаємо $d=14$ мм.

Глибина проникнення газових струменів (при $d=14$ мм), мм

$$h_2 = d_2 \cdot k \frac{W}{W} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho}} = 14 \cdot 1,6 \cdot \frac{143}{33,5} \cdot \sqrt{\frac{0,73}{1,18}} = 75 ,$$

що відповідає рекомендаціям [2].

Діаметр газового струменя в потоці повітря, мм

$$D_{c2} = 0,75 \cdot h_2 = 0,75 \cdot 75 = 56,25$$

Радіус струменя, на якому розташовуються газові струмені в потоці повітря, мм

$$r_2 = \frac{D_{BT}}{2} + h_2 = \frac{89}{2} + 75 = 119,5$$

Крок між струменями газу в потоці повітря, мм

$$t_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_2}{n_2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 119,5}{12} = 62,54$$

Відносний крок між струменями

$$\frac{t_2}{D_{c2}} = \frac{62,54}{56,25} = 1,11$$

Струмені не перетинаються.

Крок між газовими отворами на втулці, мм

$$t_{BT} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{BT}}{n_2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \frac{89}{2}}{12} = 23,3$$

Відносний крок між отворами на втулці

$$\frac{t_{BT}}{d_2} = \frac{23,3}{14} = 1,66$$

Чому відповідає поправочний коефіцієнт $\kappa=1,6$ [3] і перерахунку не потрібує.

Схема розподілу струменів газу в потоці повітря приведена на листах графічної частини.

3 КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І АВТОМАТИКА

3.1 Аналіз роботи котельного агрегату як об'єкту автоматизації

Надійна, економічна і безпечна робота котельної з мінімальним числом обслуговуючого персоналу може здійснюватися лише за наявності теплового контролю, автоматичного регулювання і управління технологічним процесом, сигналізації і захисту устаткування.

Завданнями контролю і управління роботою водогрійного котла є забезпечення:

- вироблення необхідної кількості гарячої води при певних її параметрах – тиску і температурі;
- економічності спалювання природного газу, як основного виду палива, раціонального використання електроенергії для власних потреб котла і зведенні теплових втрат до мінімуму;
- надійності та безпеці, тобто встановлення і збереження нормальних умов роботи котла, що унеможливають неполадки і аварії, як власне котельного агрегату, так і допоміжного устаткування.

Персонал, обслуговуючий котел, постійно повинен мати уявлення про режим роботи, що забезпечується свідченнями контрольно-вимірювальних приладів, якими має бути забезпечений котельний агрегат.

Автоматика безпеки (захист) призначена для контролю за основними технологічними параметрами і відключення котла при відхиленні цих параметрів за межі допустимих значень. Дія захисту зводиться до відсічення газу, що подається в топку котла. Параметри захисту водогрійного котла типа КВГМ-20-150 приведені в таблиці 3.1.

Розташування і освітлення всіх контрольно-вимірювальних приладів повинні забезпечувати хорошу видимість з робочого місця оператора і доступність для перевірки. Прилади безпеки захищаються від дії (відключення,

зміна регулювання) осіб, не пов'язаних з їх обслуговуванням і ремонтом, і мають пристосування для перевірки справності їх дії.

Таблиця 3.1 – Параметри захисту котла КВГМ-20-150

Найменування параметра	Значення
Тиск води перед котлом	5 кгс/см ²
Тиск води після котла	8 кгс/см ²
Витрата води через котел	235 т/год.
Розрідження в топці котла:	
- високе;	-7 мм вод. ст.
- низьке	+1 мм вод. ст.
Тиск повітря	10 мм вод. ст.
Тиск газу низький	0,1 кгс/см ²
Температура води за котлом	151°С
Згасання полум'я в топці котла	МИГТЄВО

3.2 Обґрунтування прийнятої схеми теплового контролю

Контрольно-вимірювальні прилади котла можна розділити на дві групи. Одна група контролю дає можливість контролювати витрату газу, води на котел, температуру води, тобто оцінити працездатність котла. Інша група приладів дозволяє правильно і раціонально вести технологію горіння в котлі, підтримувати параметри згідно режимної карти котла.

Організація теплового контролю і вибір приладів зроблені відповідно до наступних принципів:

а) параметри, спостереження за якими необхідне для правильного ведення встановлених режимів, вимірюються показуючими приладами:

- тиск газу перед пальником – тягонатискоміром диференційним ТДЖ-4-630 з шкалою (0...630) мм вод. ст., встановленим по місцю;

- тиск повітря перед пальником тягонатискоміром ТНЖ-40, встановленим по місцю;

- тиск води за котлом – манометром пружинним МТІ з шкалою (0...25) кгс/см², встановленим по місцю;

б) параметри, облік яких необхідний для господарських розрахунків або аналізу роботи устаткування, контролюються самописними приладами:

- витрата газу – діф.манометром, мембранним, безшкальним з індукційним датчиком ДМ-3583, встановленим по місцю, в комплекті з вторинним показуючим приладом з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою КСД-1, встановленим на щиті;

- витрата води через котел – діафрагмою камерної ДК-16, встановленою по місцю, в комплекті з діф.манометром ДМ-3583 і вторинним показуючим приладом з диференційно-трансформаторною вимірювальною схемою КСД-1, встановленим на щиті;

- тиск води до котла – манометром пружинним МТІ з шкалою (0...25) кгс/см², встановленим по місцю;

- температура води до котла і за котлом – термометрами опору ТСП-0879, встановленими по місцю, в комплекті з вторинними показуючими і самописними приладами логометрами Ш-69000, встановленими на щиті;

- температура відходячих газів – термометром опору ТСП-8051, встановленим по місцю, в комплекті з логометром Л-64 з шкалою (0...500) °С, встановленим на щиті.

3.3 Обґрунтування прийнятої схеми регулювання

Автоматизація котельного агрегату представлена 3 схемами регулювання:

- регулювання подачі газу;
- регулювання співвідношення «паливо-повітря»;
- регулювання розрідження в топці котла.

У всіх 3-х схемах використовуються електронні регулювальники серії Р-25.

Регулювання подачі газу

Регулювальником палива підтримується постійна температура води на виході з котла, щоб забезпечити температуру води на вході в котел 70 °С. Сигнал від термометра опору, встановленого на трубопроводі води за котлом, поступає на регулювальник, який виробляє управляючу дію на виконавчий механізм і за допомогою регулюючого органу змінює витрату газу, що подається на горіння.

Регулювання співвідношення «паливо-повітря»

При зміні витрати газу потрібна також корекція витрати повітря. Регулювальник повітря отримує імпульс по витраті газу, вимірюваного диф.манометром ДМ-3583, виробляє управляючу дію на виконавчий механізм і за допомогою регулюючого органу впливає на направляючий апарат дуттєвого вентилятора, наводячи у відповідність співвідношення «газ-повітря».

Регулювання розрідження в топці котла

По сигналу тиску в топці котла регулювальник розрідження виробляє управляючу дію на виконавчий механізм і за допомогою регулюючого органу змінює положення направляючого апарату димососу.

Запропонована схема теплового контролю і регулювання забезпечує надійну і безпечну роботу котла, тобто встановлює та зберігає нормальні умови роботи котельного агрегату, унеможливаючи неполадки і аварії.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі була запропонована реконструкція пальникового пристрою котла КВГМ-20-150 з метою підвищення ефективності роботи котельної. Причиною проведення реконструкції з'явилися незадовільні результати теплотехнічних випробувань котла, які показали, що пристрій пальника не забезпечує досить повного сумішевідтворювання газу з повітрям, унаслідок чого котел працює з низьким ККД (великі втрати теплоти з газами, що відходять) і з завищеними значеннями витрати газу та коефіцієнта надлишку повітря.

Для усунення вищеперелічених несприятливих чинників, що негативно впливають на роботу котла, були розроблені відповідні рекомендації по реконструкції пристрою пальника, які ґрунтуються на результатах теплового розрахунку котла і розрахунку самого пальникового пристрою.

Очікується, що після реконструкції ККД котла збільшиться на 2 %, а витрата газу скоротиться на 4,5 %.

ДЖЕРЕЛА ПОСИЛАНЬ

1. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л.А. Котельні установки. – Вінниця : ВНТУ 2016.
2. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник / Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар / - Вінниця : ВНТУ, 2011. 120 с.
3. Кадневський В. К. Котельні установки промислових підприємств / В. К. Кадневський, Н. Г. Ніколенко, А. А. Каграманян, П. В. Рукавишников, Д. Ю. Бороді / - Харків : 2009.
4. Драганов Б. Х. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем. Підручник / Б. Х. Драганов, В. В. Іщенко, О. В. Шеліманова / – Київ : Вид-во ЦП Компринт, 2017. 338 с.
5. Бузников Е. Ф. Производственные и отопительные котельные. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
6. СНіП-П-35-08 «Котельні установки».
7. СНіП 3.05.02-08 «Газопостачання».
8. ДБН В.2.5-2018. Газопостачання. / Чинний від 2019-07-01 / Київ: Мінрегіон України, 2019. 114 с.
9. НПАОП 0.00-1.76-15. Правила безпеки систем газопостачання. / Чинний від 2015.07.07 / Київ: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2015. 67 с.
10. ДБН В.2.5-39:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі.
11. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. / Под ред. Кузнецова и др. / – М. : Энергия, 1973.
12. Голубцов В. М. Расчет и проектирование вихревых горелочных устройств котельных установок с применением ЭВМ. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Запорожье: ЗГИА, 1994.

13. ДСТУ 12.1.044-08 “Розрахунок концентраційних меж розповсюдження пламені”.
14. Иванов Ю. В. Газогорелочные устройства. – М. : Изд-во ”Недра”, 1972.
15. Ионин А. А. Газоснабжение. – М. : Стройиздат, 1965.
16. Голубцов В. М. Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу “Котельные установки промышленных предприятий”. Запорожье: ЗГИА, 1999.
17. Правила безопасности в газовом хозяйстве.
18. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
19. Рабинович В. А. Краткий химический справочник. – Л. : Химия, 1978.
20. СНіП 2.09.04-08 “Адміністративні та побутові будівлі”.
21. Частухин В. И. Тепловой расчет промышленных парогенераторов. – К. : Вища школа, 1980.
22. Михеев В. П. Газовое топливо и его сжигание. – Л. : Недра, 1966. 326 с.
23. ДСТУ 12.2.085-08. Судини, що працюють під тиском, клапани запобіжні.
24. Черенков В. С. Промышленные приборы и средства автоматизации. – М. : Энергоатомиздат, 1975.
25. Водогрійні котельні для систем децентралізованого та помірно-централізованого теплопостачання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М. Ф. Боженко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 170 с.