

**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 доцільності модернізації пальника РГМГ-20

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1440-з
спеціальності теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Кочуров Артем Сергійович

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Ільїн С.В.

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

Рецензент проф, д.т.н. Банах В.А.

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

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
«02» лютий 2022 року

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

Кочуров Артем Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження доцільності модернізації
пальника РГМГ-20

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

затверджені наказом ЗНУ від «30» червня 2021 року № 975-с

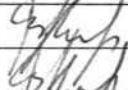
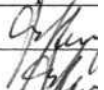
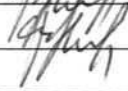
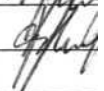
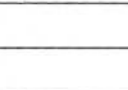
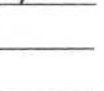
2 Строк подання студентом роботи 01 лютого 2022 р.

3 Вихідні дані до роботи Геометричні параметри пальника, властивості згоряння палива.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика котельні та її обладнання. Характеристика котельного обладнання. Проектування нового пальника. Розрахунок втулки. Розрахунок газовипускних отворів. Вибір і розрахунок системи вентиляції

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Паровий котел ДКВР-10/13. Пальник РГМГ-20. Об'єкт проектування.


6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдан прийм
1	Ільїн С.В.		
2	Ільїн С.В.		
3	Ільїн С.В.		


7 Дата видачі завдання 05 травня 2021 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1	Сучасний стан питання	05.05.2021	
2	Проектування нового пальника	01.08.2021	
3	Охорона праці	05.11.2021	
4	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2021	
5	Підготовка презентації	10.12.2021	

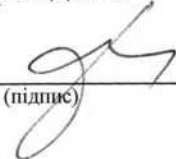
Студент  (підпис)

А.С. Кочуров
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

С.В. Ільїн
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

С.Є. Чижов
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Кочуров А.С. Дослідження доцільності модернізації пальника РГМГ-20.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник к.т.н., доцент Ільїн С.В. Запорізький національний університет. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2022.

В роботі наведені характеристика котельні та її основного і допоміжного обладнання, технічна характеристика котла як об'єкта теплотехнічних випробувань і пальника як об'єкта реконструкції. Також проведений тепловий розрахунок котла з метою визначення номінальних параметрів його роботи, описані завдання і хід теплотехнічних випробувань котла, їх результати, а також виконано розрахунок ККД котла для всіх режимів його роботи при проведенні випробувань.

Ключові слова: реконструкція, котельня встановлення, втрати теплоти, коефіцієнт корисної дії, витрати палива, тиск, коефіцієнт надлишку повітря, температура, ентальпія.

ABSTRACT

Kochurov A.S. Research of expediency of modernization of RGMG-20 burner.

Qualification final work for obtaining a master's degree in the specialty 144 - Heat Power Engineering, Supervisor Ph.D., Associate Professor Ilin S.V. Zaporizhzhia National University. Department of Heat and Hydropower, 2022.

The work describes the characteristics of the boiler house and its main and auxiliary equipment, the technical characteristics of the boiler as an object of thermal testing and burner as an object of reconstruction. Also, the heat calculation of the boiler was carried out in order to determine the nominal parameters of its operation, the tasks and progress of the boiler thermal tests, their results, and also the calculation of the efficiency of the boiler for all modes of its work during the tests.

Keywords: reconstruction, boiler installation, health losses, core effect, fuel expenditure, pressure, temperature satisfactory, temperature, entalpia

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	9
1.1 Характеристика котельні та її обладнання.....	9
1.2 Характеристика котельного обладнання.....	15
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІ ПАЛЬНИКА РГМГ-20 ДЛЯ ЕКОНОМІЧНОЇ РОБОТИ КОТЛОАГРЕГАТУ	25
2.1 Тепловий розрахунок котла.....	25
2.2 Розрахунок існуючого пальника.....	48
2.3 Проектування нового пальника.....	53
2.4 Розрахунок втулки.....	59
2.5 Розрахунок газовипускних отворів.....	64
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	71
3.1 Розробка заходів, що забезпечують безпеку судин, що працюють під тиском на прикладі парового котла ДКВР-10/13.....	71
3.2 Виробнича санітарія.....	77
3.3 Електробезпека	79
3.4 Протипожежна безпека.....	80
3.5 Засоби індивідуального захисту.....	82
3.6 Вибір і розрахунок системи вентиляції.....	84
ВИСНОВКИ	86
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	87

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема забезпечення енергоресурсами є одним з найбільш гострих питань сучасного світу. Економіка будь-якої країни заснована на імпорті та експорті енергоносіїв, тому їх раціональне використання - пріоритетна мета держави на всіх рівнях.

На сьогоднішній день Україна цілком залежить від поставок газу і нафти ззовні. Їх економія це основний фактор добробуту всієї країни в цілому і кожного її громадянина зокрема.

Об'єкт дослідження – процеси згоряння палива в котлах КВГМ-20-150.

Предметом дослідження є вплив геометричних характеристик пальника РГМГ-20 на параметри згоряння палива.

Мета роботи – проведення теплових розрахунків котла з метою визначення номінальних параметрів його роботи, описання завдання і ходу теплотехнічних випробувань котла, їх результати, а також виконання розрахунок ККД котла для всіх режимів його роботи при проведенні випробувань.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі визначено ряд задач:

- провести аналіз результатів проведених випробувань, а також порівняння параметрів його роботи з параметрами, визначеними в тепловому розрахунку;
- виконати розрахунок пальникового пристрою, порівняти його геометричних характеристик з розрахунковими даними і навести рекомендації по реконструкції.

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

Наукова новизна отриманих результатів. Встановлено залежності теплотехнічних характеристик роботи котла КВГМ-20-150 від геометричних параметрів пальника РГМГ-20.

Практична цінність роботи полягає в розробці ефективного режиму роботи котлоагрегату КВГМ-20-150.

Зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Магістерська дипломна робота виконана у відповідності напрямку досліджень кафедри теплоенергетики та гідроенергетики Запорізької державної інженерної академії, а також відповідно до державної програми енергозбереження України й енергетичної стратегії України на період до 2030 року і подальшу перспективу.

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

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає в себе вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з позиції. Загальний обсяг складає 88 сторінок, у тому числі ілюстрацію та таблицю.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Характеристика котельні та її обладнання

Районна котельня призначена для забезпечення теплом, паром, гарячою водою споживачів селища Димитрова, Північного району, житлового масиву Кузнецова, виробництва «Блоки» і заводу «Іскра» Шевченківського району м.Запоріжжя. В котельні встановлено три водогрійних котли типу КВГМ-20-150 і три парових котла типу ДКВР-10/13. Сумарна теплова потужність котельні становить 90 Гкал/год.

Паливом для котлів, встановлених в котельні, служить природний газ $Q_H^p = 8300$ ккал/м³. Газ високого тиску з міського газопроводу Ø 500 мм надходить через трубопровід Ø200 мм на ГРП-2, де він проходить доочистку, зниження тиску до середнього тиску 3 кгс/см² і транспортується трубопроводом Ø 273 мм, довжиною 1000 м через обліковий вузол до ГРП-1 і ГРП-1А по надземному газопроводу. У ГРП-1 і ГРП-1А газ проходить доочистку і зниження тиску до робочого тиску 0,8 кгс/см².

Газ від ГРП-1 і ГРП-1А по надземному трубопроводу Ø 273 мм входить в будівлю котельні до водогрійних котлів КВГМ-20-150, по надземному трубопроводу Ø 159 мм входить в будівлю котельні до парових котлів ДКВР 10/13.

Електропостачання котельні здійснюється по двом незалежним вводам 10 кВ через знижувальні трансформатори №1 і №2 по 1600 кВт. Електрообладнання котлів 1...6 живиться від Ру-04 кВ ТП-18. У ТП - 18 змонтовано АВР по 0,4 кВ.

Вода, яка використовується для заповнення втрат в теплових мережах, проходить спеціальну обробку через вузол водопідготовки. Для обробки води застосовуються двоступеневі Na-катіонітових фільтри і атмосферна деаерація.

В котельні встановлено чотири Na-катіонітових фільтри ø2000 мм.

Котел типу КВГМ-20-150 являє собою прямоточний, теплофікаційний, водогрійний, газо-мазотовий котлоагрегат з примусовою циркуляцією.

Стіни камери згоряння екрановані трубами $\text{Ø}60 \times 3$ мм з кроком 64 мм. Всі труби екранів з'єднані з камерами і утворюють блок жорсткої надійної конструкції. Конвективна частина набирається із секцій, що складаються з вертикальних стояків $\text{Ø}83 \times 3,5$ мм, які розташовані в шаховому порядку. Стояки своїми кінцями входять з кроком 128 мм у верхні і нижні колектори конвективного блока $\text{Ø}219 \times 10$ мм. Фестони і задній екрани конвективного блока складаються з труб $\text{Ø}60 \times 3$ мм і з кроком 64 мм. Труби фестонного екрану для проходу газів з топки в конвективний блок розведені внизу в 4-х рядний фестон з кроками 256 мм і 180 мм.

Котел обладнаний газомазутним пальником типу РГМГ-20, який призначено для високоекономічного спалювання газу в діапазоні регулювання 10...100 % від його номінальної продуктивності. Тиск газу перед пальником 2000...4000 мм в. ст.

Котел може працювати в трьох режимах управління: автоматичному, дистанційному і ручному.

На вході і виході води з котла встановлені електрифіковані засувки $\text{Ø}200$ мм. У нижніх точках колекторів підвідних і відвідних трубопроводів врізані продувальні вентиля $\text{Ø}32$ мм.

Гарнітура котла складається з 3-х лазів (в топці котла, між пакетами конвективної частини і під конвективною частиною), вибухових клапанів (два з яких розташовані в поворотній камері газоходу, два у фронтівій частині топкового блоку і один в борві перед димарем). На обвідному газоході димососа встановлений шибер, з'єднаний з виконавчим механізмом регулятора розрідження.

Обмуровка котла виконана полегшеною, з кріпленням безпосередньо до труб. Надтрубна обмуровка складається з 3-х шарів теплоізоляційних матеріалів: вогнетривкового шамотобетону на глиноземному цементі,

армованого металевою сіткою, мінеральної вати у вигляді матраців в металевій сітці, газонепроникної обмазки, яка також забезпечує гідроізоляцію поверхні котла від атмосферних опадів.

Загальна товщина обмуровки дорівнює 115 мм.

Димосос складається з робочого колеса, насадженого на вал, равликового кожуха, корпусу, підшипників, сполучної муфти і направляючого апарату. Робоче колесо являє собою крильчатку з загнутими вперед лопатками. Вал встановлений на 2-х сферичних роликотпідшипниках. Направляючий апарат встановлений на вході повітря в робоче колесо і служить для регулювання продуктивності і напору вентилятора. Регулювання проводиться дистанційно або автоматично (виконавчим механізмом типу МЕОК). Забір повітря може здійснюватися як з приміщення котельні, так і зовні, перемиканням поворотного шибера на воздуховоді.

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

Відцентрові насоси нагнітають воду під дією відцентрової сили, що розвивається при обертанні робочого колеса. Вода по всмоктувальній трубці надходить до центральної частини робочого колеса, захоплюється відцентровою силою уздовж лопаток робочого колеса від центру до стінок корпусу, в результаті чого в центрі насоса утворюється розрідження. У цей розріджений простір засмоктуються все нові і нові порції води і відкидаються до стінок корпусу. Під впливом відцентрової сили вода на виході з насоса набуває тиск. Залежно від призначення насоси підрозділяються на мережеві (циркуляційні), рециркуляційні та підживлювальні.

Циркуляція води через котли і далі в системі здійснюється мережевими насосами. Мережева вода зі зворотної магістралі по двом незалежним вводам через засувки, встановлені на кожному введенні, надходить у всмоктуючий колектор мережевих насосів, після насосів

мережева вода подається в загальний колектор. Нагріта в котлах мережева вода надходить в колектор мережної води і далі до прямого трубопроводу тепломережі.

Мережеві насоси 8НДВ-60, Д-300/60, Д200/60 і ПКУ 140/45 відцентрові, одноступінчаті з двостороннім підведенням води до робочого колеса в горизонтальній площині. У нижній частині корпусу розташовані всмоктуючий і напірний патрубки. Сталевий вал насоса обертається на двох шарікоподшипникових опорах. На вал насаджено чавунне колесо і чавунні захисні втулки. 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 всмоктувальних трубопроводах насоса встановлені засувка, манометр. На нагнітальних – манометр, зворотний клапан, засувка.

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 на виході 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 регулятора рециркуляції або в дистанційному режимі.

Для заповнення витоків теплових мереж в котельні є група підживлювальних насосів. Деаерована вода надходить на насоси з конденсатних баків $V = 50 \text{ м}^3$ і бака-акумулятора $V = 25 \text{ м}^3$ деаерованої води. Підживлювальні насоси К 90/55 розташовані в конденсат-насосній.

Насоси холодної води служать для підвищення тиску холодної води на вузол ХВП і ГВП котельні при недостатньому тиску в міському водопроводі. В котельні встановлено 4 насоси холодної води: 2 насоса К 90/55 холодної води встановлені на вході до конденсат-насосної на вузол ХВП і власні потреби і 2 насоси КМ 160/45 на вузол гарячого водопостачання для підвищення тиску.

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

Вихідною водою для котельні 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 відповідного вимогам «Правил» служить вузол хімводоочищення.

Підживлююча вода служить для заповнення витоків води в теплових мережах.

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

Обробка води проводиться за схемою двоступеневого На-катионування, при якому відбувається обмін іонів солей кальцію і магнію на іони солей натрію.

Присутність у воді розчиненого кисню та інших агресивних газів викликають корозію металу. Наявність у воді вуглекислоти CO_2 в кілька разів прискорює кисневу корозію.

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

Відповідно до вимог правил Держнаглядохоронпраці якість підживлювальної води для водогрійних котлів повинна відповідати таким нормам:

- карбонатна жорсткість - не більше 200 мкг-екв/л;
- вміст розчиненого кисню - не більше 30 мкг/л;
- вміст вільної вуглекислоти не допускається;
- вміст завислих речовин - не більше 5 мг/л;
- показник рН не менше 7.

Сира вода на потреби ХВП і власні потреби (пожежогасіння, сантехнічні потреби, охолодження підшипників, тощо) надходить з міського водопроводу двома нитками трубопроводів $\text{Ø}100$ мм в будівлю котельні і

пройшовши через водомірний вузол надходить в трубопровід сирії води котельні. Для підвищення тиску сирії води встановлений насос НХВ -1-2 типу К 90/55. По трубопроводу сирії води котельні сира вода надходить на підігрівач сирії води, типу Q 80/240, де нагрівається до температури 30-40 °С і далі надходить на Na-катіонітові фільтри.

В котельні встановлено чотири Na-катіонітових фільтра: діаметром 2000 мм. Фільтр являє собою металеву ємність циліндричної форми зі сферичними днищами, з комунікацією трубопроводів. У верхній частині фільтру розташований пристрій для рівномірного розподілу води, що поступає. У нижній частині розташовано нижній дренажний пристрій, що складається з системи труб з вузькими щілинами.

Пом'якшена вода після фільтрів проходить теплообмінник хімічно очищеної води, де нагрівається до температури 70-80 °С. Теплоносієм служить пара. Після підігрівача вода подається на атмосферний деаератор.

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

Для деаерації води в котельних установках з паровими котлами застосовуються деаератори атмосферного типу, що працюють при абсолютному тиску 1,2 кгс/см².

Деаераційно установка включає в себе деаераторну колонку типу ДС-50, бак-деаератор $V = 20 \text{ м}^3$, бак-акумулятор $V = 25 \text{ м}^3$.

Виділення кисню та інших газів відбувається при кипінні води в колонці з тиском нижче атмосферного і залежить від температури пари, відповідно до технологічних вимог 104 °С.

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

Деаерована вода самопливом з колонок надходить в деаераторний бак $V = 20 \text{ м}^3$, розташований в приміщенні котельні, звідки трьома живильними насосами подається на парові котли, і підживлюючими насосами через регулюючий клапан на підживлення в зворотний трубопровід перед мережевими насосами.

1. 2 Характеристика котельного обладнання

В котельні середньої потужності застосовують вертикально-водотрубні котли з природною циркуляцією води типу ДКВР-10/13.

Вертикально-водотрубні котли типу ДКВР-10/13 складаються з двох барабанів і труб поверхонь нагріву. Вертикальними вони називаються тому, що труби їх поверхонь нагріву розташовуються вертикально або під невеликим кутом між верхнім і нижнім барабанами. Вода циркулює всередині труб, тому котли називаються водотрубними.

Котел складається з топкової камери, заднього і переднього екранів, бічних екранів, з'єднаних колектором конвективного пучка економайзера. У топковій камері тепло від спалювання палива сприймається поверхнями нагріву у вигляді променевої енергії, яку називають радіацією. Поверхні нагріву, які розташовані в топці називають радіаційними. Передача тепла випромінюванням в кілька разів ефективніша передачі тепла конвекцією, тому в сучасних котлах стіни камери згоряння щільно закриті трубами.

Задній топковий екран у верхній частині топки розріджений і утворює фестони. За фестонами в горизонтальному газоході розташовані конвективні поверхні нагрівання. Нагріті топкові гази проходять через конвективний пучок труб, охолоджуються до температури $115...140 \text{ }^\circ\text{C}$ і виходять через димову трубу в атмосферу.

Екрани топки знаходяться в зоні високих температур. Тому необхідно інтенсивно відводити теплоту за допомогою циркулюючої в цих трубах води. Для того, щоб на внутрішніх стінках екранних труб не утворювалася накип (що ускладнює передачу теплоти від розпечених продуктів згоряння до води і пару) воду попередньо обробляють.

Обробка води полягає в тому, що з неї видаляють більшу частину розчинних у воді солей кальцію і магнію, а також кисень і вуглекислий газ - цей процес називають водопідготовкою.

В котел воду подають примусово поживними насосами. Вода надходить з міських мереж на підвищувальні насоси, після насосів вода проходить через Na-катіонітові фільтри, конденсат-баки, теплообмінники, бак-акумулятор, з бака живильні насоси подають воду на економайзер, з економайзера вода по трубах надходить в барабан. Барабан служить для створення необхідного запасу води котла, забезпечення природної циркуляції води і сепарації пара.

З барабана вода через водоопускні труби надходить в труби поверхонь нагріву, в яких нагрівається, закипає і в вигляді пароводяної суміші повертається.

Природна циркуляція води в котлі здійснюється за рахунок різниці щільності води в неопалюваних водоопускних трубах поверхонь нагріву.

Солі, які безперервно надходять в котел з живильною водою, утворюють в котельній воді шлам та скупчуються у водяному об'ємі котла. Щоб солі жорсткості і луги не накопичувалися в котельній воді, частину води з котла безперервно відводять, при цьому одночасно додають живильну воду з меншим солевмістом. Цей процес називається безперервною продувкою.

Для видалення шламу в нижніх точках котла, застосовують періодичну продувку. При періодичній продувці воду, що містить значну кількість шламу, направляють в розширювач періодичних продувок

(барботер), звідки пара, що утворилася відводиться в атмосферу, а залишок води зі шламом зливається в каналізацію.

Для очищення і осушення пари використовують паросепараційний пристрій.

Обмуровка бічних стін і стелі спирається на нижні балки каркаса котла і складається з внутрішнього шару завтовшки 65 мм, виконаного з плит легкого шамоту.

У стиках шамотних плит в окремих місцях для щільного з'єднання шарів між собою закладені металеві штирі з головками, які впираються в труби кип'ятильного пучка або бічних екранів. На виступаючі кінці штирів надіті і приварені шайби, які щільно притискають сітку до ізолюючих плит, утримуючи їх у вертикальному положенні.

Футеровочний шар обмурівки покривається в проміжках між трубами хромомангезитовою вогнетривкою обмазкою товщиною 3 мм.

Конструкція обмурівки задньої стіни аналогічна бічній з тією лише різницею, що теплоізоляційний шар з совелітових плит має товщину 30 мм, а також немає вогнетривкої обмазки.

Для температурних розширень обмуровки в кутових сполученнях стін передбачені температурні шви шириною 20 мм, заповнені азбестовим шнуром діаметром 25 мм.

Деяке інше конструктивне рішення має обмуровка фронтів стіни, що не екранована і має внутрішній шар товщиною 123 мм з шамотної цегли, далі йде шар 125 мм діатомової цегли і совелітові теплоізоляційні плити 2х30 мм. Вся стіна спирається на звід, який викладено на фронтів нижній балці каркаса котла, а щоб не було перекидання в вертикальній площині, вона притягнута спеціальними кляммерами до зовнішньої металевої обшивки і каркаса. Між футеровкою і діатомової кладкою є газонепроникна обмазка.

Котел обладнаний на поживних лініях - вентилями Ø50 мм, клапанами Ø50 мм, засувкою Ø150 мм на виході з барабана, вимірювальною діафрагмою і вентилям Ø150 мм, продувочною арматурою Ø32 мм.

Котел типу ДКВР-10/13 має п'ять циркуляційних контурів:

- I-й контур - по опускним трубам правого бокового екрану вода надходить в нижній правий колектор Ø219 мм, звідки по підйомним трубам правого бокового екрану пароводяна суміш надходить у верхній барабан котла;

- II-й контур - по опускним трубам лівого бокового екрану живильна вода надходить в нижній лівий боковий колектор Ø 219 мм, звідки по підйомним трубам лівого бокового екрану пароводяна суміш надходить у верхній барабан котла;

- III-й контур - по віддаленим від топки опускним трубам конвективного пучка живильна вода надходить в нижній барабан, потім по підйомним, розташованим ближче до топки, трубам конвективного пучка пароводяна суміш піднімається в верхній барабан котла;

- IV-й контур - по чотирьом опускним трубам з верхнього барабана вода надходить в нижній колектор фронтального екрану, звідки по підйомним трубам фронтального екрану надходить у верхній барабан котла;

- V-й контур - з нижнього барабана вода по опускним трубам заднього екрану топкового блоку надходить в нижній колектор, звідки по підйомним трубам заднього екрану піднімається в верхній барабан котла.

Для спалювання газу застосовуються чотири уніфіковані пальники з примусовою подачею повітря.

Пристрій пальників: циліндр, в який уварені дев'ять променів довжиною 350 мм з п'ятьма отворами Ø8 мм. Повітря подається в циліндричне кільце, змішується з газом і потрапляє в топку.

Газ подається з газопроводу на засувку Ø100 мм, ПЗК Ø100 мм, дросельну засувку Ø100 мм, кран Ø50 мм і вентиль Ø50 мм - в пальник.

Для забезпечення нормального спалювання палива котел ДКВР - 10/13 обладнаний дуттьовим вентилятором і димососом. Повітря для горіння подається дуттьовим вентилятором ВД-12 №1 і №2 по загальному коробу, від якого по 4 окремим відводам подається на пальник.

Димососи і дуттьові вентилятори складають групу відцентрових машин котельні. Вентилятор складається з равликового корпусу, що має вхідний і вихідний патрубки робочого колеса. Ротор обертається усередині корпусу з великою швидкістю, а лопатки ротора захоплюють повітря і відкидають його до вихідного отвору. У вхідному отворі працюючого вентилятора створюється розрідження, а в вихідному - надлишковий тиск. Так відбувається безперервний рух повітря у вхідному патрубку до робочого колеса. На вході повітря в робоче колесо тягодуттьової машини встановлюють направляючі апарати, які, закручуючи потік в напрямку обертання колеса, знижують втрати. Найбільш поширеним напрямним апаратом є осьовий направляючий апарат.

Направляючий апарат складається з лопатей, які перебувають у всмоктуючому патрубку димососа або вентилятора. Напіввісі лопатей одним кінцем закріплені в стінці всмоктуючого патрубка і отримують рух за рахунок переміщення важелів від зовнішнього ободу. Інший кінець піввісі лопатей закріплені в сфері, яка перебуває в центрі всмоктуючого патрубка. Іноді застосовують спрощений направляючий апарат, що складається з декількох лопатей, які повертаючись від горизонтального до майже вертикального положення направляють потік. Такий вид напрямних апаратів застосовується на дуттьових апаратах котлів ДКВР10 / 13.

Для приготування гарячої води в котельні застосовують пароводяні швидкісні теплообмінники. Пара подається в сорочку теплообмінника, конденсат що утворився при цьому, через конденсатовідвідники надходить в конденсатні баки, з'єднується з хімічноочищеною водою, надходить на деаерацію парових котлів. Холодна сира вода після водомірного вузла

надходить на швидкісні пароводяні теплообмінники, нагріваючись до 65 °С, надходить на 4 бака-акумулятора, далі гаряча вода надходить на насоси ГВП.

Баки-акумулятори - ємністю 50 м³ в кількості 4-х штук, діаметри трубопроводів 200 мм. Кожен бак може працювати індивідуально, в парі або всі разом.

Насоси гарячого водопостачання служать для подачі гарячої води споживачам з баків - акумуляторів ГВС. Гаряче водопостачання після насосів подається в колектор, з колектора ГВС подається централізовано до мережі. Система гарячого водопостачання до споживачів двохтрубна.

Котли КВ-ГМ-20-150 призначені для установки в опалювальних та промислово-опалювальних котельнях в якості основних джерел теплопостачання.

Котли забезпечують підігрів води до 150 °С з різницею температур в трубопроводах на вході і виході, що дорівнює 80 °С. Котли працюють з постійною витратою води на всіх навантаженнях на розрахункових паливах.

Котли теплопродуктивністю 20 Гкал/год є прямотруминними і складаються з двох транспортабельних блоків: горизонтальної топки і вертикального конвективного газоходу.

Топка котла обладнана встановленим на фронтній стінці газомазутним пальником типу РГМГ теплопродуктивністю 20 Гкал/год.

Діапазон регулювання навантаження котла складає 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 і камеру допалу.

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

Котел розрахований для роботи з урівноваженою тягою. Котел не має каркаса. Кожен блок котла має опори, приварені до нижніх колекторів. Число опор залежить від теплової продуктивності котла. Опори, які розташовано на стику конвективного блока і топки, є нерухомими. Котел виконується в полегшеній обмуровці, яка кріпиться безпосередньо до труб. Обмуровка складається з трьох шарів: шамотобетона, совелітових плит або мінераловатних матраців і ущільнювальної магнезійної обмазки. Загальна товщина обмурівки становить ~ 110 мм.

Мережева вода через нижні (правий і лівий) колектори $\text{Ø}219 \times 10$ мм топкового блоку піднімається в верхній (правий і лівий) колектор зі швидкістю 1,6 м/с і по 10 трубах $\text{Ø}60 \times 3$ мм (праворуч і ліворуч) проходить до заднього колектора, звідки по 21-ій трубі $\text{Ø}60 \times 3$ мм піднімається в верхній колектор фронтового екрану зі швидкістю 1,52 м/с і по двом стоякам надходить у верхні подовжні колектори $\text{Ø}219 \times 10$ мм.

З верхніх колекторів по 11-ти трубах $\text{Ø}60 \times 3$ мм (праворуч і ліворуч) зі швидкістю 1,44 м/с вода проходить по 5-ти секціях в нижній колектор заднього екрану топкового блоку (праворуч і ліворуч) і по 9-ти трубах $\text{Ø}60 \times 3$ мм зі швидкістю 1,76 м/с піднімається в верхній колектор. Далі по 21-ій трубі зі швидкістю 1,52 м/с входить в нижній колектор $\text{Ø}219 \times 10$ мм і через перемич-ку $\text{Ø}219 \times 10$ мм ($L = 200$ мм) одним потоком входить в ліву частину нижнього колектора фестонного екрану, потім по 16-ти трубах $\text{Ø}60 \times 3$ мм зі швидкістю 1,9 м/с піднімається в правий Г-подібний колектор $\text{Ø}219 \times 10$ мм і через 14 труб $\text{Ø}60 \times 3$ мм зі швидкістю 2,2 м/с опускається в нижній колектор фестонного екрану. З нижнього колектора фестонного екрану по 16-ти трубах $\text{Ø}60 \times 3$ мм зі швидкістю 1,9 м/с мережева вода піднімається в другу половину Г-образного колектора $\text{Ø}219 \times 10$ мм і через 23 секції конвективного пучка зі швидкістю 1,44 м/с вода опускається в нижній правий Г- подібний колектор і через 16-ть труб $\text{Ø}60 \times 3$ мм зі швидкістю 1,9 м/с вода надходить в лівий верхній Г-подібний колектор. Далі по 23 секціях конвективного пучка зі швидкістю 1,37 м/с вода надходить в нижній боковий колектор

конвективного блока і йде на вихідну засувку (з електроприводом) Ду 200 мм.

Технічна характеристика котла представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика котла КВГМ-20-150

Найменування параметру	Значення
Теплопродуктивність, Гкал / год (МВт)	20 (23,26)
Розрахунковий тиск, МПа (кгс / см ²)	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
Гідравлічний опір котла, МПа (кгс / см ²); не більше	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	
- вищого відмітка	7300
- ширина	3200
- глибина	9700
Маса металу котла, т	26,2

Пальники типу РГМГ-20 призначені для роздільного спалювання рідкого палива і природного газу і встановлюються на водогрійних котлах типу КВГМ-20. Відмінною особливістю цих пальників є автономний вентилятор первинного повітря і безравликове підведення вторинного повітря. Основними вузлами пальникового пристрою є: газова частина

периферійного типу, пристрій, який направляє повітря, і повітропровід первинного повітря.

Пристрій, який направляє первинне повітря, складається з повітряного короба, завихорювача аксіального типу з профільними лопатками і переднього кільця, що утворює гирло пальника.

Газова частина пальника периферійного типу складається з кільцевої камери з однорядною однокаліберною системою газорозподільчих отворів і газопідвідної труби. Для рівномірного розподілу газу по отворах всередині колектора встановлена кільцева діафрагма.

Газ надходить в кільцеву газову камеру, що охоплює пальник з зовнішнього боку, і виходить з неї через круглі отвори. Газові струмені, що володіють великою далекобійністю, перетинають закручений потік повітря під прямим кутом. Інтенсивне утворення суміші починається в пальнику і закінчується в топці. Така організація процесу забезпечує швидке і якісне перемішування газу з повітрям, внаслідок чого газ згоряє факелом, який не світиться. При правильному розташуванні газових отворів пальник працює з втратами від хімічної неповноти горіння 0,4...0,7 %.

Переваги пальників РГМГ-20:

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

Недоліки пальників РГМГ-20:

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

Технічна характеристика пальника РГМГ-20 приведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика пальника типу РГМГ-20

Найменування параметру	значення
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 завіхрювачем, кПа (кгс/см ²)	7 (700)
Аеродинамічний опір пальника по вторинному повітрю (при $t_v=10$ °С), КПа (кгс/см ²)	1,5 (150)
Коефіцієнт надлишку повітря за топкою при спалюванні газу	1,06
Номінальна витрата газу при $Q_n^p = 8500$ ккал/м ³ , м ³ /год	2650
Маса пальника, кг	635
Габаритні розміри пальника, мм	
- довжина	635
- ширина	1322
- висота	1750

2. Дослідження доцільності реконструкції пальника РГМГ-20 для економічної роботи котлоагрегату

2.1 Тепловий розрахунок котла

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, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_H^C = 33968.$$

Номінальна теплова потужність котла, МВт

$$Q_{\text{к.у.}} = 23,28.$$

Температура води на вході в котел, °С

$$t_1 = 70.$$

Температура води на виході з котла, °С

$$t_2 = 150.$$

Температура відхідних газів, °C

$$\vartheta_{yx} = 180.$$

Теоретично необхідна витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$

$$\begin{aligned} V_B^0 &= 0,0476 \left[0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2 + 1,5\text{H}_2\text{S} + \Sigma \left(m + \frac{n}{2} \right) C_m H_n - \text{O}_2 \right] = \\ &= 0,0476 \cdot [2 \cdot 95,218 + 3,5 \cdot 2,298 + 5 \cdot 0,525 + 6,5 \cdot 0,08 + 8 \cdot 0,074] = 9,62. \end{aligned}$$

Теоретичні об'єми продуктів згоряння:

- теоретичний об'єм азоту, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$

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

- об'єм трьохатомних газів, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= 0,01[\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \Sigma(mC_m H_n)] = \\ &= 0,01 \cdot [0,513 + 95,218 + 2 \cdot 2,298 + 3 \cdot 0,525 + 4 \cdot 0,08 + 5 \cdot 0,074] = 1,03; \end{aligned}$$

- теоретичний об'єм водяної пари, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^0 &= 0,01 \left(\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \Sigma \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124d_{\text{г.тл.}} \right) + 0,0161V_d^0 = \\ &= 0,01(0 + 0 + 2 \cdot 95,218 + 3 \cdot 2,298 + 4 \cdot 0,525 + 5 \cdot 0,08 + 6 \cdot 0,074 \\ &\quad + 0,124 \cdot 10) + 0,0161 \cdot 9,62 = 2,17. \end{aligned}$$

Розрахунок дійсних об'ємів повітря і продуктів згоряння проводиться з використанням середнього коефіцієнта надлишку повітря в перерізі газоходу.

Коефіцієнт надлишку повітря в кінці топки прийнятий

$$\alpha''_T = 1,1.$$

Присоси повітря прийняті:

- в топці	$\Delta\alpha_T = 0,08;$
- в фестононі	$\Delta\alpha_\phi = 0;$
- в конвективному пучку	$\Delta\alpha_\Pi = 0,08.$

Дійсна витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$

$$V_B = (\alpha''_T - \Delta\alpha_T)V_B^0 = (1,1 - 0,08) \cdot 9,62 = 9,81.$$

Середні показники продуктів згоряння в топці:

- коефіцієнт надлишку повітря перед фестоном

$$\alpha''_T = 1,1;$$

- коефіцієнт надлишку повітря на вході в топку

$$\alpha'_T = \alpha''_T - \Delta\alpha_T = 1,1 - 0,08 = 1,02;$$

- коефіцієнт надлишку повітря в топці

$$\alpha_{T, \text{ср.}} = 0,5(\alpha'_T + \alpha''_T) = 0,5(1,02 + 1,1) = 1,06;$$

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

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha_{\text{ср}} - 1)V_{\text{В}}^0 = 2,17 + 0,0161(1,06 - 1)9,62 = 2,18;$$

- усереднений об'єм продуктів згоряння, $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$

$$\begin{aligned} V_{\Gamma} &= V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha_{\text{ср}} - 1)V_{\text{В}}^0 = \\ &= 1,03 + 7,61 + 2,18 + (1,06 - 1)9,62 = 11,4; \end{aligned}$$

- частка водяної пари

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

- частка трьохатомних газів

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

- сумарна частка водяної пари і трьохатомних газів

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

Таблиця 2.1 - Середні показники продуктів згоряння в поверхнях нагріву котельної установки

Найменування величин і формула	Од. вимір.	Найменування газоходу		
		топка	Фестон	Конвекто р. 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 $\alpha_{cp} = 0,5(\alpha' + \alpha'')$	-	1,06	1,1	1,14
Усереднені об'єми - водяної пари $V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha_{cp} - 1)V_B^0$	$\frac{m^3}{m^3}$	2,180	2,185	2,192
- продуктів згоряння $V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (\alpha_{cp} - 1)V_B^0$	$\frac{m^3}{m^3}$	11,40	11,79	12,18
Частка водяної пари $r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{\Gamma}}$	-	0,191	0,185	0,180
Частка трьохатомних газів $r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\Gamma}}$	-	0,090	0,087	0,084
Сумарна частка водяної пари і трьохатомних газів $r_n = r_{H_2O} + r_{RO_2}$	-	0,281	0,272	0,264

Витрата води через котел, $\frac{\text{т}}{\text{год}}$

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

Температура відхідних газів, °C

$$\vartheta_{yx} = 180.$$

Ентальпія газів, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$H_{yx} = H_{\Gamma}^0 + (\alpha_{yx} - 1)H_B^0 = 2706,2 + (1,18 - 1) \cdot 2304,4 = 3121.$$

Ентальпія холодного повітря, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$H_{x.B.}^0 = V_B^0 (c\vartheta)_{x.B.} = 9,62 \cdot 39 = 375.$$

Втрати теплоти від хімічного недопалу, %

$$q_3 = 0,5.$$

Втрати теплоти від механічного недопалу, %

$$q_4 = 0.$$

Втрати теплоти з газами, %

$$q_2 = \frac{(H_{yx} - \alpha_{yx} H_{x,B}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p} = \frac{(3121 - 1,18 \cdot 375)(100 - 0)}{33968} = 7,7.$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище, %

$$q_5 = 0,55.$$

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, %

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

Витрати палива, $\frac{м^3}{с}$

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

Параметри камери згоряння:

- розміри топки в плані, мм × мм

$$a \times b = 2944 \times 6144;$$

- об'єм камери згоряння, м³

$$V_T = 61,2;$$

- площа радіаційного поверхні, м²

$$H_p^T = 106,6;$$

- діаметр труб екранів, мм

$$d_H = 60 \times 3;$$

- крок між трубами, мм

$$S = 64;$$

- відношення кроку до діаметру труб

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

- відношення відстані від осі труби до обмурівки до діаметру труби

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

- площа стін топки, м²

$$H_{ст}^T = \frac{H_p^T}{X} = \frac{106,6}{0,99} = 108;$$

- ступінь екранування топки

$$\varphi = \frac{H_p^T}{H_{ст}^T} = \frac{106,6}{108} = 0,99.$$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м

$$S = 3,6 \frac{V_T}{H_{CT}^T} = 3,6 \frac{61,2}{108} = 2,04.$$

Сумарна об'ємна частка трьохатомних газів і водяної пари

$$r_n = 0,281.$$

Сумарна поглинальна здатність трьохатомних газів і водяної пари,
м · МПа

$$p_n S = pr_n S = 0,1 \cdot 0,281 \cdot 2,04 = 0,0573.$$

Температура димових газів на виході з топки (приймається), К

$$\vartheta_T'' = 1245;$$

$$T_T'' = 273 + 1245 = 1518 .$$

Ентальпія газів на виході з топки, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$H_T'' = 22961.$$

Коефіцієнт ослаблення променів трьохатомного газами, $\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$

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

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

Ставлення вуглецю палива до водню

$$\begin{aligned} \frac{C^p}{H^p} &= 0,12 \left(\sum \frac{m}{n} C_m H_n \right) = \\ &= 0,12 \left(\frac{1}{4} 95,218 + \frac{2}{6} 2,298 + \frac{3}{8} 0,525 + \frac{4}{10} 0,08 + \frac{5}{12} 0,074 \right) = 2,98. \end{aligned}$$

Коефіцієнт ослаблення променів частинками, $\frac{1}{\text{м}\cdot\text{мПа}}$

$$\begin{aligned} k_{\text{саж}} &= 0,3 \cdot (2 - \alpha''_{\text{T}}) \cdot \left(1,6 \frac{T''_{\text{T}}}{1000} - 0,5 \right) \frac{C^p}{H^p} = \\ &= 0,3 \cdot (2 - 1,1) \cdot \left(1,6 \frac{1518}{1000} - 0,5 \right) \cdot 2,98 = 1,55. \end{aligned}$$

Коефіцієнт ослаблення променів топкової середовищем, $\frac{1}{\text{м}\cdot\text{мПа}}$

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

Сила поглинання газового шару

$$k_{\Gamma p_n S} = 6,06 \cdot 0,0573 = 0,347.$$

Ступінь чорноти світиться частини факела

$$a_{\text{св}} = 1 - e^{-k p S} = 1 - e^{-3,25 \cdot 0,1 \cdot 2,04} = 0,485.$$

Ступінь чорноти не світяться частини факела

$$a_{\Gamma} = 1 - e^{-k_{\Gamma p_n S}} = 1 - e^{-0,347} = 0,293.$$

Питомий теплову напругу топкового об'єму, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$

$$q_V = \frac{BQ_H^C}{V_T} = \frac{0,73 \cdot 33968}{61,2} = 414,8.$$

Ступінь чорноти факела

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

Коефіцієнт забруднення екранів

$$\xi = 0,65.$$

Середнє значення теплової ефективності топкових екранів

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum X_i \xi H_{\text{ст}}^i}{H_{\text{ст}}^T} = \xi \varphi = 0,65 \cdot 0,8 = 0,52.$$

Ступінь чорноти топки

$$a_T = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \varphi_{\text{ср}}} = \frac{0,314}{0,314 + (1 - 0,314) \cdot 0,52} = 0,468.$$

Тепло, що вноситься в топку повітрям, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_B = (\alpha_T'' - \Delta \alpha_T) V_B^0 (c\vartheta)_{X.B.} = (1,1 - 0,08) \cdot 9,62 \cdot 39 = 383.$$

Тепловиділення в топці, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_T = Q_p \frac{100 - (q_3 + q_4 + q_6)}{100 - q_4} + Q_B =$$

$$= 33968 \frac{100 - (0,5 + 0 + 0)}{100 - 0} + 383 = 34986.$$

Адіабатне температура горіння, °C

$$\vartheta_a = 1813;$$

$$T_a = 273 + 1813 = 2086.$$

Тепловиділення на 1 м² поверхні стін, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$

$$q_T = \frac{Q_T B_p}{H_{CT}^T} = \frac{34986 \cdot 0,73}{108} = 236,5.$$

Середня сумарна теплоємність продуктів згорання, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$

$$\overline{VC} = \frac{Q_T - H_T''}{\vartheta_a - \vartheta_a''} = \frac{34986 - 22961}{1813 - 1245} = 21,17.$$

Критерій Больцмана

$$Bo = \frac{\phi B_p \overline{VC}}{5,6 \cdot 10^{-11} \varphi_{cp} H_{CT}^T T_a^3} = \frac{0,994 \cdot 0,73 \cdot 21,17}{5,6 \cdot 10^{-11} \cdot 0,52 \cdot 108 \cdot 2086^3} = 0,538.$$

Фактор, що характеризує місце розташування факела в топці

$$M = 0,54 - 0,2X_T = 0,54 - 0,2 \frac{h_T}{H_T} = 0,54 - 0,2 \frac{2400}{4250} = 0,427.$$

Температура газів на виході з топки, °C

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

Ентальпія газів на виході з топки, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$H_T'' = 22548.$$

Тепло, передане випромінюванням в топці, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_{\text{луч}} = \phi(Q_T - H_T'') = 0,994(34986 - 22548) = 12363.$$

Ентальпія води на виході з топки, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

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

Температура води на виході з топки, °C

$$t'' = 101.$$

Конструктивні характеристики фестонона.

Розташування труб – шахове.

Поперечний крок, мм

$$S_1 = 256.$$

Поздовжній крок, мм

$$S_2 = 180.$$

Зовнішній діаметр труб, мм

$$d_H = 60.$$

Відносний крок:

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

$$\frac{S_2}{d} = \frac{180}{60} = 3.$$

Перетин для проходу газів, м²:

$$\Omega_{\phi i} = (l_{\phi} + 0,5) \cdot B_{CB} - d_H \cdot n_i \cdot l_{\phi i};$$

- $\Omega_{\phi 1} = (1,238 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,238 = 4,225;$
- $\Omega_{\phi 2} = (1,418 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,418 = 4,711;$
- $\Omega_{\phi 3} = (1,598 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,598 = 5,122;$
- $\Omega_{\phi 4} = (1,778 + 0,5) \cdot 2,944 - 0,06 \cdot 12 \cdot 1,778 = 5,426.$

Усереднена 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 фестону, м²

$$H^\phi = v \cdot l_\phi = 2,944 \cdot 1,238 = 3,645.$$

Кутовий коефіцієнт фестону

$$X^\phi = 1.$$

Радіаційна поверхню фестону, м²

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

Ефективна товщина випромінюючого шару, м

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

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

Розрахункова поверхня фестону, м²

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

Температури газів перед фестоном, °С

$$\vartheta'_\phi = \vartheta_T'' = 1225.$$

Ентальпія газів перед фестоном, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$H'_\phi = H_T'' = 22548.$$

Температура газів за фестоном, °С

$$\vartheta''_{\Phi} = 1145.$$

Ентальпія газів за фестоном, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$H''_{\Phi} = 20905.$$

Теплосприймання фестону по балансу, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

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

Середня температура води, °С

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

Середня температура газів, °С

$$\vartheta_{\text{cp}} = \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2} = \frac{1225 + 1145}{2} = 1185.$$

Середній температурний напір, °С

$$\Delta t = \vartheta_{\text{cp}} - t_{\text{cp}} = 1185 - 125,5 = 1059,5.$$

Середня швидкість газів у фестоні, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

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

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

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

Коефіцієнт забруднення, $\frac{м^2 \cdot К}{кВт}$

$$\varepsilon = 0,005.$$

Сумарна здатність газів, $\frac{1}{м \cdot МПа}$

$$p_n S = pr_n S = 0,1 \cdot 0,272 \cdot 0,594 = 0,0161.$$

Коефіцієнт ослаблення променів трьохатомного газами, $\frac{1}{м \cdot МПа}$

$$\begin{aligned} k_{\Gamma} &= \left(\frac{7,8 + 16 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \sqrt{p_n S}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_{\Phi}''}{1000} \right) = \\ &= \left(\frac{7,8 + 16 \cdot 0,185}{3,16 \sqrt{0,0161}} - 1 \right) \cdot \left(1 - 0,37 \frac{1418}{1000} \right) = 12,28. \end{aligned}$$

Сила поглинання газового потоку, $\frac{1}{м \cdot МПа}$

$$kpS = k_{\Gamma} r_n S = 12,28 \cdot 0,272 \cdot 0,594 = 1,984.$$

Температура забрудненої стінки труби, °С

$$t_3 = t_{cp} + \frac{Q_B B_P \varepsilon}{H_P} = 125,5 + \frac{1633 \cdot 0,73 \cdot 0,005}{10,19} = 126,1.$$

Ступінь чорноти газів в фестоні

$$a = 1 - e^{-kpS} = 1 - e^{-1,984} = 0,862.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$

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

Коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$

$$k = \frac{\alpha_L + \alpha_K}{1 + \varepsilon(\alpha_L + \alpha_K)} = \frac{193,13 + 65,79}{1 + 0,005(193,13 + 65,79)} = 112,84.$$

Тепловосприйняття фестону по теплопередачі, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

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

Нев'язка, %

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

Конструктивні характеристики задньої і передньої стінок.

Діаметр труб, мм

$$d_H = 60 \times 3.$$

Крок між трубами, мм

$$S = 64.$$

Відносний крок

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

Відносне відстань від осі труби до обмурівки

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

Кутовий коефіцієнт

$$X = 0,99.$$

Площа стін, зайнятих екранами, м²

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

Промениста поверхню, м²

$$H_{\text{луч}} = XH_{\text{ст}} = 0,99 \cdot 29,3 = 29,0.$$

Площа стін, зайнятих екранами, м²

$$H_{\text{ст}} = 5,9 \cdot 1,536 \cdot 2 = 18,12.$$

Промениста поверхню, м²

$$H_{\text{луч}} = X \cdot H_{\text{ст}} = 0,92 \cdot 18,12 = 16,7.$$

Повна промениста поверхню, м²

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

Температура газів на вході в конвективну шахту, °С

$$\vartheta'_{\text{к.ш.}} = \vartheta''_{\text{ф}} = 1145.$$

Ентальпія газів на вході в конвективну шахту, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

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

Середня температура води, °С

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

Тепловосприйняття поверхні нагрівання, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_{\text{Б}} = 1085.$$

Коефіцієнт забруднення, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{кДж}}$

$$\varepsilon = 1.$$

Температура забрудненої поверхні, °С

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

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

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

Сумарна здатність газів, $\frac{1}{\text{м} \cdot \text{МПа}}$

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

Коефіцієнт ослаблення променів трьохатомного газами, $\frac{1}{\text{м}\cdot\text{МПа}}$

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

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

Сила поглинання газового потоку, $\frac{1}{\text{м}\cdot\text{МПа}}$

$$kpS = k_{\Gamma} p_n S = 7,87 \cdot 0,037 = 0,291.$$

Ступінь чорноти

$$a = 1 - e^{-kpS} = 1 - e^{-0,291} = 0,256.$$

Середня температура газового середовища, °С

$$\vartheta_{\text{cp}} = \frac{\vartheta' + \vartheta''}{2} = \frac{1145 + 180}{2} = 662,5.$$

Температура забрудненої стінки труби, °С

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

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2\text{К}}$

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

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

Тепловосприйняття поверхні нагрівання, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_{\text{л}} = \frac{\alpha_{\text{л}}(\vartheta' - t_3)H_{\text{л}}}{1000 \cdot V_{\text{р}}} = \frac{17(1145 - 127)45,7}{1000 \cdot 0,73} = 1083,4.$$

Нев'язка, %

$$\Delta Q_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{л}} - Q_{\text{Б}}}{Q_{\text{Б}}} 100 = \frac{1083,4 - 1085}{1085} 100 = -0,15.$$

Нев'язка теплового балансу.

Корисно використане тепло від наявного тепла, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q'' = Q_{\text{р}}^{\text{п}} \eta_{\text{к.у.}} = 33968 \cdot \frac{91,25}{100} = 30995,8.$$

Сума корисно використаного тепла, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

$$Q = \Sigma Q_i = 12363 + 1633 + 1085 + 15908 = 30989.$$

Розрахункова нев'язка теплового балансу котла, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

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

Відносна нев'язка теплового балансу котла, %

$$\frac{\Delta Q}{Q_{\text{р}}^{\text{п}}} 100 = \frac{6,8}{33968} 100 = 0,02.$$

2.2 Розрахунок існуючого пальника

Вихідні дані до розрахунку:

- температура повітря, °C

$$t = 20;$$

- витрата повітря, $\frac{м}{с}$

$$V_B = 7,2;$$

- зовнішній діаметр вихідного каналу, мм

$$D_{ц} = 650;$$

- швидкість на виході з каналу, $\frac{м}{с}$

$$W_{1a} = 23.$$

Площа перетину для проходу повітря, м²

$$F = \frac{V_B}{W_{1a}} = \frac{7,2}{23} = 0,313.$$

Діаметр втулки, м

$$D_{вт} = \sqrt{D_{ц}^2 - \frac{4}{\pi} F} = \sqrt{0,65^2 - \frac{4}{3,14} 0,313} = 0,15.$$

Втулкового відношення

$$m = \frac{D_{\text{вТ}}}{D_{\text{ц}}} = \frac{150}{650} = 0,23.$$

Коефіцієнт втрати моменту кількості руху

$$\varepsilon = 0,5.$$

Геометричний комплекс пальника

$$A = \varepsilon \sqrt{\frac{4m^3 - 2m^4 - 4m + 2}{m^2 + m}} =$$

$$= 0,5 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,23^3 - 2 \cdot 0,23^4 - 4 \cdot 0,23 + 2}{0,23^2 + 0,23}} = 0,98.$$

Кут крутки на виході з пальника, град

$$\alpha_1 = \arctg \left[\frac{A}{2\varepsilon(1-m)} \right] = \arctg \left[\frac{0,98}{2 \cdot 0,5 \cdot (1-0,23)} \right] = 52.$$

Ступінь радіальності завихрителя

$$\frac{R_0}{R_{\text{ц}}} = 0,5 \cdot (1+m) = 0,5 \cdot (1+0,23) = 0,615.$$

Кут установки лопаток, град

$$\beta = 40.$$

Коефіцієнт форми міжлопаткового каналу

$$k = 4.$$

Число лопаток завихрювача

$$Z = \frac{k\pi \sin^2 \beta}{A \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} \cos \beta} (1 + m)^2 = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot \sin^2 40^\circ}{0,98 \cdot 0,615 \cdot \cos 40^\circ} (1 + 0,23)^2 = 17.$$

Середній діаметр, мм

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{ц}} \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} = 650 \cdot 0,615 = 340.$$

Висота лопаткового завихрювача, мм

$$b = \frac{D_{\text{ц}}}{2} (1 - m) = \frac{650}{2} (1 - 0,23) = 250.$$

Сумарна площа у міжлопатевому каналі, м²

$$\Sigma f = \frac{A\pi D_{\text{ср}} D_{\text{ц}} \cos \beta}{4} = \frac{0,98 \cdot 3,14 \cdot 0,34 \cdot 0,65 \cdot \cos 40^\circ}{4} = 0,13.$$

Швидкість повітря в мінімальних перетинах міжлопатевому каналу завихрювача, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_0 = \frac{V_B}{\Sigma f} = \frac{7,2}{0,13} = 53,38.$$

Відносна швидкість на виході з каналу

$$\overline{W_{1a}} = \frac{R_0}{R_{ц}} \cdot \frac{2 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \beta}{1 + m} \varepsilon = 0,615 \frac{2 \cdot \operatorname{tg} 52^\circ \cdot \cos 40^\circ}{1 + 0,23} 0,5 = 0,431.$$

Швидкість на виході з каналу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_{1a} = W_0 \overline{W_{1a}} = 53,38 \cdot 0,431 = 23.$$

Мінімальний перетин міжлопаткового каналу, м

$$a = \frac{\Sigma f}{bz} = \frac{0,13}{0,25 \cdot 17} = 0,03.$$

Крок між лопатками, мм

$$t = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{z} = \frac{3,14 \cdot 340}{17} = 62,8.$$

Довжина лопатки, мм

$$l = \frac{1,5t}{\cos \beta} = \frac{1,5 \cdot 62,8}{\cos 40^\circ} = 123.$$

Коефіцієнт втрати швидкості

$$\phi_0 = (0,97 - 0,99) \sqrt{1 - 0,008 \frac{l}{b}} = 0,97 \sqrt{1 - 0,008 \frac{123}{250}} = 0,968.$$

Кут скручування всередині каналу, град

$$\alpha_{1x} = \arctg \left[\frac{A}{2\varepsilon_x(1-m)} \right] = \arctg \left[\frac{0,98}{2 \cdot 0,5 \cdot (1-0,23)} \right] = 52.$$

Вектор абсолютної швидкості всередині каналу, $\frac{M}{c}$

$$W_{1x} = \frac{W_{1a}}{\sin \alpha_{1x}} = \frac{23}{\sin 52^\circ} = 35,78.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{W_{1x} D_{\Pi}}{\nu} (1-m) = \frac{35,78 \cdot 0,65}{16,2 \cdot 10^{-6}} (1-0,23) = 1,1 \cdot 10^6.$$

Коефіцієнт еквівалентного тертя

$$\lambda = \frac{1,5 \cdot 10^3}{Re^{0,8}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{(1,1 \cdot 10^6)^{0,8}} = 0,022.$$

Коефіцієнт втрати швидкості в каналі після завихрювача

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{D_{\Pi}} \cdot \frac{1}{(1-m) \sin \alpha_{1x}}}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + 0,022 \cdot \frac{330}{650} \cdot \frac{1}{(1-0,23) \cdot \sin 52^\circ}}} = 0,991. \end{aligned}$$

Коефіцієнт опору пальника

$$\xi_{\text{ВХ}} = \left[\frac{\frac{R_0 \cos \beta}{R_{\Pi}}}{\phi_0 \left(1 - \frac{A}{4tg\alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right) \cos \alpha_1} \right]^2 =$$

$$= \left[\frac{0,615 \cdot \cos 40^\circ}{0,968 \cdot \left(1 - \frac{0,98}{4 \cdot 1,2799 \cdot 0,5}\right) \cdot \cos 52^\circ} \right]^2 = 1,54.$$

Опір пальника, Па

$$\Delta P = \xi_{\text{вх}} \rho \frac{W_0^2}{2} = 1,54 \cdot 1,23 \cdot \frac{53,38^2}{2} = 2700.$$

Тиск повітря на вході в завихрювач, Па

$$P_{\text{вх}}^* = \Delta P + P_{\text{т}}^* = 2700 - 30 = 2670.$$

2.3 Проектування нового пальника

Вихідні дані до розрахунку:

- температура повітря, $^\circ\text{C}$

$$t = 20;$$

- витрата повітря, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$V_B = 7,2;$$

- зовнішній діаметр вихідного каналу, мм

$$D_y = 650;$$

- швидкість на виході з каналу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_{1a} = 24;$$

Площа перетину для проходу повітря, м²

$$F = \frac{V_B}{W_{1a}} = \frac{7,2}{24} = 0,3.$$

Діаметр втулки, м

$$D_{em} = \sqrt{D_{\zeta}^2 - \frac{4}{\pi} F} = \sqrt{0,65^2 - \frac{4}{3,14} 0,3} = 0,2.$$

Втулкове відношення

$$m = \frac{D_{em}}{D_{\zeta}} = \frac{200}{650} = 0,308.$$

Коефіцієнт втрати моменту кількості руху

$$\varepsilon = 0,5.$$

Геометричний комплекс пальника

$$A = \varepsilon \sqrt{\frac{4m^3 - 2m^4 - 4m + 2}{m^2 + m}} =$$

$$= 0,5 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,308^3 - 2 \cdot 0,308^4 - 4 \cdot 0,308 + 2}{0,308^2 + 0,308}} = 0,733.$$

Кут крутки на виході з пальника, град

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \left[\frac{A}{2\varepsilon(1-m)} \right] = \operatorname{arctg} \left[\frac{0,733}{2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,308)} \right] = 46.$$

Ступінь радіальності

$$\frac{R_0}{R_{\text{ц}}} = 0,5 \cdot (1 + m) = 0,5 \cdot (1 + 0,308) = 0,654.$$

Поточний кут на виході з пальника, град

$$\beta = \operatorname{arctg} \left[A \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} \frac{1}{\varepsilon(1-m^2)} \right] = \operatorname{arctg} \left[0,733 \cdot 0,654 \frac{1}{0,5 \cdot (1 - 0,308^2)} \right] = 46.$$

Коефіцієнт форми каналу

$$k = 4.$$

Число лопаток

$$Z = \frac{k\pi \sin^2 \beta}{A \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} \cos \beta} (1 + m)^2 = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot \sin^2 46^\circ}{0,733 \cdot 0,654 \cdot \cos 46^\circ} (1 + 0,308)^2 = 24.$$

Середній діаметр, мм

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{ц}} \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} = 650 \cdot 0,654 = 425.$$

Висота лопатевого завихрителя, мм

$$b = \frac{D_{\text{ц}}}{2} (1 - m) = \frac{650}{2} (1 - 0,308) = 225.$$

Сумарна площа міжлопатевому каналів, м²

$$\Sigma f = \frac{A \pi D_{\text{ср}} D_{\text{ц}} \cos \beta}{4} = \frac{0,733 \cdot 3,14 \cdot 0,425 \cdot 0,65 \cdot \cos 46^{\circ}}{4} = 0,11.$$

Швидкість повітря в мінімальних перетинах міжлопатевому каналу завихрителя, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_0 = \frac{V_B}{\Sigma f} = \frac{7,2}{0,11} = 65,5.$$

Відносна швидкість на виході з каналу

$$\overline{W_{1a}} = \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} \cdot \frac{2 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \beta}{1 + m} \varepsilon = 0,654 \frac{2 \cdot \operatorname{tg} 46^{\circ} \cdot \cos 46^{\circ}}{1 + 0,308} 0,5 = 0,368.$$

Средньовитратна швидкість на виході з каналу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_{1a} = W_0 \overline{W_{1a}} = 65,5 \cdot 0,368 = 24,1.$$

Мінімальний перетин міжлопатевому каналу, м

$$a = \frac{\Sigma f}{bz} = \frac{0,11}{0,225 \cdot 24} = 0,02.$$

Крок між лопатками, мм

$$t = \frac{\pi D_{\text{cp}}}{z} = \frac{3,14 \cdot 425}{24} = 55,6.$$

Довжина лопатки, мм

$$l = \frac{1,5t}{\cos \beta} = \frac{1,5 \cdot 55,6}{\cos 46^\circ} = 120.$$

Коефіцієнт втрати швидкості в завихрювачі

$$\phi_0 = (0,97 - 0,99) \sqrt{1 - 0,008 \frac{l}{b}} = 0,97 \sqrt{1 - 0,008 \frac{120}{225}} = 0,969.$$

Кут скручування всередині каналу, град

$$\alpha_{1x} = \arctg \left[\frac{A}{2\varepsilon_x(1-m)} \right] = \arctg \left[\frac{0,733}{2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,308)} \right] = 46.$$

Вектор абсолютної швидкості всередині каналу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_{1x} = \frac{W_{1a}}{\sin \alpha_{1x}} = \frac{24}{\sin 46^\circ} = 33,4.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{W_{1x} D_{\text{ц}}}{\nu} (1-m) = \frac{33,4 \cdot 0,65}{16,2 \cdot 10^{-6}} (1 - 0,308) = 0,927 \cdot 10^6.$$

Коефіцієнт еквівалентного тертя

$$\lambda = \frac{1,5 \cdot 10^3}{Re^{0,8}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{(0,927 \cdot 10^6)^{0,8}} = 0,025.$$

Коефіцієнт втрати швидкості в каналі після завихрювача

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{D_{\text{ц}}} \cdot \frac{1}{(1-m) \sin \alpha_{1x}}}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + 0,025 \cdot \frac{330}{650} \cdot \frac{1}{(1-0,308) \cdot \sin 46^\circ}}} = 0,987. \end{aligned}$$

Коефіцієнт опору пальника

$$\begin{aligned} \xi_{\text{вх}} &= \left[\frac{\frac{R_0 \cos \beta}{R_{\text{ц}}}}{\phi_0 \left(1 - \frac{A}{4 \operatorname{tg} \alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right) \cos \alpha_1} \right]^2 = \\ &= \left[\frac{0,654 \cdot \cos 46^\circ}{0,969 \cdot \left(1 - \frac{0,733}{4 \cdot \operatorname{tg} 46^\circ \cdot 0,5} \right) \cdot \cos 46^\circ} \right]^2 = 1,065. \end{aligned}$$

Щільність повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho = 1,32 \frac{273}{273 + t} = 1,32 \frac{273}{273 + 20} = 1,23.$$

Опір пальника, Па

$$\Delta P = \xi_{\text{вх}} \rho \frac{W_0^2}{2} = 1,065 \cdot 1,23 \cdot \frac{65,5^2}{2} = 2810.$$

Тиск повітря на вході в завихритель, Па

$$P_{\text{вх}}^* = \Delta P + P_{\text{т}}^* = 2810 - 30 = 2780.$$

2.4 Розрахунок втулки

Вихідні дані до розрахунку:

- температура повітря, °С

$$t = 20;$$

- витрата повітря, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$V_B = 7,2;$$

- зовнішній діаметр вихідного каналу, мм

$$D_{\text{ц}} = 290;$$

- діаметр втулки, мм

$$D_{\text{вт}} = 150;$$

- швидкість на виході з каналу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$W_{1a} = 23;$$

- втулкове відношення

$$m = \frac{D_{\text{вт}}}{D_{\text{ц}}} = \frac{150}{290} = 0,51.$$

Коефіцієнт втрати моменту кількості руху

$$\varepsilon = 0,5.$$

Геометричний комплекс пальника

$$A = \varepsilon \sqrt{\frac{4m^3 - 2m^4 - 4m + 2}{m^2 + m}} =$$

$$= 0,5 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,51^3 - 2 \cdot 0,51^4 - 4 \cdot 0,51 + 2}{0,51^2 + 0,51}} = 0,347.$$

Кут крутки на виході з пальника, гр.

$$\alpha_1 = \arctg \left[\frac{A}{2\varepsilon(1-m)} \right] = \arctg \left[\frac{0,347}{2 \cdot 0,5 \cdot (1-0,51)} \right] = 35.$$

Ступінь радіальності завихрювача

$$\frac{R_0}{R_{\text{ц}}} = 0,5 \cdot (1 + m) = 0,5 \cdot (1 + 0,51) = 0,755.$$

Середній діаметр, мм

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{ц}} \frac{R_0}{R_{\text{ц}}} = 290 \cdot 0,755 = 219.$$

Висота лопаткового завихрювача, мм

$$b = \frac{D_{\text{ц}}}{2} (1 - m) = \frac{290}{2} (1 - 0,51) = 71.$$

Кут установки лопаток, град

$$\beta = 40.$$

Сумарна площа міжлопатевих каналів, м²

$$\Sigma f = \frac{A\pi D_{cp} D_{ц} \cos \beta}{4} = \frac{0,347 \cdot 3,14 \cdot 0,219 \cdot 0,29 \cdot \cos 40^{\circ}}{4} = 0,012.$$

Число лопаток завихрювача

$$z = 4 \frac{\Sigma f}{b^2} = 4 \frac{0,012}{0,071^2} = 9,5.$$

Швидкість повітря в мінімальних перетинах міжлопатевому каналів завихрювача, $\frac{m}{c}$

$$W_0 = \frac{V_B}{\Sigma f} = \frac{0,79}{0,012} = 65,6.$$

Відносна швидкість на виході з каналу

$$\overline{W}_{1a} = \frac{R_0}{R_{ц}} \cdot \frac{2tg\alpha_1 \cos \beta}{1+m} \varepsilon = 0,755 \frac{2 \cdot tg35^{\circ} \cdot \cos 40^{\circ}}{1+0,51} \cdot 0,5 = 0,351.$$

Середньовитратна швидкість на виході з каналу, $\frac{m}{c}$

$$W_{1a} = W_0 \overline{W}_{1a} = 65,6 \cdot 0,351 = 23,02.$$

Мінімальний перетин міжлопаточного каналу, м

$$a = \frac{\Sigma f}{bz} = \frac{0,012}{0,071 \cdot 9} = 0,046.$$

Крок між лопатками, мм

$$t = \frac{a}{\sin \beta} = \frac{46}{\sin 40^\circ} = 71,5.$$

Довжина лопатки, мм

$$l = \frac{1,5t}{\cos \beta} = \frac{1,5 \cdot 71,5}{\cos 40^\circ} = 140.$$

Коефіцієнт втрати швидкості

$$\phi_0 = (0,97 - 0,99) \sqrt{1 - 0,008 \frac{l}{b}} = 0,97 \sqrt{1 - 0,008 \frac{140}{71}} = 0,962.$$

Кут скручування всередині каналу, град

$$\alpha_{1x} = \arctg \left[\frac{A}{2\varepsilon_x(1-m)} \right] = \arctg \left[\frac{0,347}{2 \cdot 0,5 \cdot (1-0,51)} \right] = 35.$$

Вектор абсолютної швидкості всередині каналу, $\frac{m}{c}$

$$W_{1x} = \frac{W_{1a}}{\sin \alpha_{1x}} = \frac{23}{\sin 35^\circ} = 40,1.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{W_{1x} D_{ц}}{\nu} (1 - m) = \frac{40,1 \cdot 0,29}{16,2 \cdot 10^{-6}} (1 - 0,51) = 3,5 \cdot 10^5.$$

Коефіцієнт еквівалентного тертя

$$\lambda = \frac{1,5 \cdot 10^3}{Re^{0,8}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{(3,5 \cdot 10^5)^{0,8}} = 0,055.$$

Коефіцієнт втрати швидкості в каналі після завихрювача

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{D_{ц}} \cdot \frac{1}{(1 - m) \sin \alpha_{1x}}}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + 0,055 \frac{330}{650} \cdot \frac{1}{(1 - 0,51) \cdot \sin 35^\circ}}} = 0,958. \end{aligned}$$

Коефіцієнт опору пальника

$$\begin{aligned} \xi_{\text{вх}} &= \left[\frac{\frac{R_0 \cos \beta}{R_{ц}}}{\phi_0 \left(1 - \frac{A}{4 \operatorname{tg} \alpha_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \right) \cos \alpha_1} \right]^2 = \\ &= \left[\frac{0,755 \cdot \cos 40^\circ}{0,962 \cdot \left(1 - \frac{0,347}{4 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ \cdot 0,5} \right) \cdot \cos 35^\circ} \right]^2 = 1,02. \end{aligned}$$

Опір пальника, Па

$$\Delta P = \xi_{\text{вх}} \rho \frac{W_0^2}{2} = 1,02 \cdot 1,189 \frac{65,6^2}{2} = 2699,5.$$

2.5 Розрахунок газовипускних отворів

Номінальна продуктивність пальника, $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$

$$V_{\Gamma} = 2628.$$

Діаметр вихідного отвору пальника, мм

$$D_0 = 650.$$

Діаметр внутрішньої труби, мм

$$D_{\text{вн}} = 150.$$

Витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$

$$V_B = 7,2.$$

Щільність газу, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_{\Gamma} = 0,73.$$

Щільність повітря, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho_B = 1,23.$$

Температура повітря, °С

$$t_B = 20.$$

Площа перетину каналу для проходження повітря, м²

$$F = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_{BH}^2) = \frac{3,14}{4} (0,65^2 - 0,15^2) = 0,314.$$

Середня видаткова швидкість повітря в перерізі пальника, $\frac{m}{c}$

$$v_{pac} = \frac{V_B}{F} = \frac{7,2}{0,314} = 23.$$

Кут крутки потоку, град

$$\beta = 52.$$

Дійсна швидкість повітря з урахуванням його руху по спіралі, $\frac{m}{c}$

$$v_B = \frac{v_{pac}}{\sin \beta} = \frac{23}{0,788} = 29.$$

Приймаємо швидкість газу, $\frac{m}{c}$

$$v_{\Gamma} = 120.$$

Глибина проникнення газових струменів, мм

$$h_1 = \frac{h_{1max}}{1,375 \frac{230}{1,375}}.$$

Задаємося значенням коефіцієнта k_S

$$k_S = 1,65.$$

Діаметр газовипускних отворів першого ряду, мм

$$d_1 = \frac{\eta\sqrt{\mu} \cdot h_1 \cdot v_B}{k_S \cdot v_\Gamma} \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_\Gamma}} = \frac{1,06\sqrt{0,62} \cdot 165 \cdot 29}{1,65 \cdot 120} \sqrt{\frac{1,23}{0,73}} = 25,7 \approx 26.$$

Діаметр другого ряду отворів, мм

$$d_2 \leq \frac{d_1}{2,2} \leq \frac{26}{2,2} \leq 11,8.$$

Приймаємо $d_2 = 9$ мм

Загальна площа отворів для виходу газу, мм²

$$F_\Gamma = \frac{V_\Gamma \cdot 10^6}{v_\Gamma \cdot 3600} = \frac{2628 \cdot 10^6}{120 \cdot 3600} = 6083,3.$$

Площа газовипускних отворів першого ряду, мм²

$$f_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 26^2}{4} = 709,7.$$

Площа газовипускних отворів другого ряду, мм²

$$f_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 9^2}{4} = 62,9.$$

При периферійної подачі газу на струмені більшого розміру доводиться 70 % газу, а на струмені меншого розміру 30 % газу.

Площа отворів, яка припадає на струмені великого діаметра, мм²

$$F_1 = 0,7F_{\Gamma} = 0,7 \cdot 6083,3 = 4258,3.$$

Площа отворів, яка припадає на струменя малого діаметра, мм²

$$F_2 = 0,3F_{\Gamma} = 0,3 \cdot 6083,3 = 1825.$$

Число великих отворів

$$n_1 = \frac{F_1}{f_1} = \frac{4258,3}{709,7} = 6.$$

Число малих отворів

$$n_2 = \frac{F_2}{f_2} = \frac{1825}{62,9} = 29.$$

Крок між отворами першого ряду, мм

$$S_1 = \frac{\pi D_1}{n_1} = \frac{3,14 \cdot 650}{6} = 340.$$

Відносний крок

$$\frac{S_1}{d_1} = \frac{340}{26} = 13,08.$$

Крок між отворами другого ряду, мм

$$S_2 = \frac{\pi D_2}{n_2} = \frac{3,14 \cdot 650}{29} = 70,4.$$

Відносний крок

$$\frac{S_2}{d_2} = \frac{70,4}{9} = 7,82.$$

Глибина проникнення газових струменів малого розміру в потік повітря, мм

$$h_2 = h_1 \cdot \frac{d_2}{d_1} = 165 \cdot \frac{9}{26} = 57.$$

Діаметр струменів великого розміру в потоці повітря, мм

$$D_{c1} = 0,75h_1 = 0,75 \cdot 165 = 124.$$

Діаметр струменів малого розміру в потоці повітря, мм

$$D_{c2} = 0,75h_2 = 0,75 \cdot 57 = 43.$$

Радіус кола, на якій розподіляються струменя великого діаметру в потоці повітря, мм

$$r_1 = r_0 - h_1 = 325 - 165 = 160.$$

Радіус кола, на якій розподіляються струменя малого діаметра в потоці повітря, мм

$$r_2 = r_0 - h_2 = 325 - 57 = 268.$$

Крок між струменями великого діаметру в потоці повітря, мм

$$t_1 = \frac{2\pi r_1}{n_1} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 160}{6} = 167,5.$$

Відносний крок

$$\frac{t_1}{D_{c1}} = \frac{167,5}{123,75} = 1,353.$$

Крок між струменями малого діаметра в потоці повітря, мм

$$t_2 = \frac{2\pi r_2}{n_2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 268}{29} = 58.$$

Відносний крок

$$\frac{t_2}{D_{c2}} = \frac{58}{43} = 1,349.$$

Отже, газові струмені розподілені в потоці повітря з зазорами, що забезпечують їх розвиток без злиття.

Швидкість газу в вихідних отворах більшого діаметра, $\frac{m}{c}$

$$\begin{aligned} W_\Gamma &= \frac{1}{354 \cdot B_\Gamma} \left(\frac{h_1 v_B}{k_1} \right)^2 \frac{\rho_B F_\Gamma}{\rho_\Gamma F_1} n_1 = \\ &= \frac{1}{354 \cdot 2628} \left(\frac{165 \cdot 29}{1,7} \right)^2 \frac{1,23}{0,73} \cdot \frac{6083,3}{4258,3} \cdot 6 = 123. \end{aligned}$$

Швидкість газу в вихідних отворах меншого діаметра, $\frac{m}{c}$

$$W_{\Gamma} = \frac{1}{354 \cdot B_{\Gamma}} \left(\frac{h_2 v_B}{k_1} \right)^2 \frac{\rho_B F_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} F_2} n_2 =$$

$$= \frac{1}{354 \cdot 2628} \left(\frac{57 \cdot 29}{1,7} \right)^2 \frac{1,23}{0,73} \cdot \frac{6083,3}{1825} \cdot 29 = 165.$$

Необхідний тиск газу в колекторі, мм в.ст.

$$H = 0,102 \frac{1}{\varepsilon_H} \frac{1}{\mu^2} \frac{W_{\Gamma}^2}{2} \rho_{\Gamma} = 0,102 \frac{1}{0,94} \frac{1}{0,7^2} \frac{165^2}{2} 0,73 = 2200.$$

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Розробка заходів, що забезпечують безпеку судин, що працюють під тиском на прикладі парового котла ДКВР-10/13

Обладнання котла - барабан, колектора, трубопроводи – це судини, що працюють під тиском. Таким чином котел можна віднести до обладнання з підвищеною небезпекою.

Основна небезпека при експлуатації таких судин полягає у можливому їх руйнуванні і прояві дії сили раптового адіабатичного розширення газів і парів, так званому фізичному вибуху. Потужність таких вибухів може бути дуже великий. Наприклад, потужність вибуху (розриву) судини місткістю 1 м^3 містить повітря під тиском 1 МПа, складає 13,2 МВт. Якщо ж в судині при тих же умовах знаходиться водяна пара, то потужність вже буде близько 200 МВт.

Найбільш частими причинами руйнування таких судин є:

- недоліки конструкції;
- перевищення допустимого тиску;
- втрата механічної міцності матеріалу судини внаслідок корозії, внутрішніх дефектів, місцевих перегрівів і інших причин;
- несправність захисних пристроїв, неправильна експлуатація.

Для запобігання аварій таких судин вони повинні виготовлятися і експлуатуватися у відповідності з діючими «Правилами пристрої і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском».

Конструкція судин та апаратів повинна бути надійною, забезпечувати безпеку при експлуатації та зручність при огляді, очистці, промивці та ремонті. Зокрема, нормується пристрій лазів і люків для доступу в апарат і т. п. Спеціальні вимоги пред'являються до якості матеріалу в залежності від умов роботи судини (зокрема, від тиску, температури, агресивності середовища); до методів механічної і термічної обробки металу та

зварювання, дефектоскопії, механічних і металографічних досліджень; до норм оцінки якості виготовлення і способів усунення дефектів, виявлених при випробуваннях. Наприклад, зварні з'єднання судин зі стінкою товщиною 6 мм і більше підлягають обов'язковому клеймуванню, що дозволяє встановити прізвище зварника, який виконував зварювання.

При експлуатації судин, працюючих під тиском, основна вимога безпеки полягає в точному дотриманні норм технологічного режиму. Для цього необхідний правильний вибір і підтримання у справному стані контрольно-вимірювальних приладів, запірної арматури і запобіжних пристроїв.

У процесі експлуатації можливі випадки надмірного перевищення тиску в котлі, які можуть призвести до розриву екранних труб, колекторів, барабанів та інших елементів. Такі розриви призводять до серйозних пошкоджень обладнання і навіть жертвам. У ряді випадків такі розриви призводили до руйнування будівель і розлітання окремих елементів котла на відстань до кількох десятків метрів. Причиною надмірного перевищення тиску може бути раптове скидання навантаження або навіть його плавне зниження, якщо воно не супроводжується відповідним зменшенням кількості подаваного в топку палива.

Для забезпечення безпечних умов експлуатації паровий котел ДКВР-10/13 забезпечений приладами для вимірювання тиску і температури середовища, запобіжними пристроями, запірною арматурою.

Запобіжні пристрої виконуються у вигляді запобіжних клапанів і розривних пластин (мембран). Запобіжний клапан являє собою пристрій, який автоматично відкривається при підвищенні робочого тиску і закривається при зниженні тиску до робочого. Кількість запобіжних клапанів, їх розміри і пропускна здатність повинні забезпечувати пропуск робочого середовища у такій кількості, щоб у судині не міг утворитися тиск, що перевищує робочий більше ніж на 0,05 МПа для судин з тиском до 0,3

МПа включно, на 15 % - для судин з тиском від 0,3 МПа до 6 МПа та на 10 % - для судин з тиском вище 6 МПа[8].

Якщо є сумніви в надійності роботи запобіжного клапана, то судина забезпечується запобіжною (розривною) пластиною, що розривається при підвищенні тиску в судині не більше ніж на 25 % робочого тиску.

Для запобігання забруднення навколишнього середовища при спрацьовуванні запобіжного клапана або розривної мембрани вміст судини, що виходить з запобіжного клапана відводиться у безпечне місце. Відвідні труби забезпечують пристроєм для зливу в них конденсату, що скупчився.

Розрізняють пружинні запобіжні клапани, важільні, імпульсні. Пружинні запобіжні клапани застосовують переважно на пересувних казанах. Такий клапан закривається під дією сили натягу пружини. У важільних запірний орган притискається до сідла дією вантажу, укріпленому на вільному кінці важеля. Такі клапани застосовують тільки на котлах малої та середньої потужності, так як вони не забезпечують достатньо точного налаштування і мають малу продуктивність. На котлах понад 4 МПа встановлюють тільки імпульсні запобіжні клапани. Головний клапан такого пристрою притискається до сідла тиском пари, тобто у багато разів сильніше, ніж клапан важільного типу, що створює високу щільність при закритті.

Для того, щоб не допустити значного перевищення тиску, згідно «Правил будови і безпечної експлуатації парових котлів», на кожному котлі паропроductивністю більше 100 кг/с встановлюють не менше двох запобіжних клапанів. Сумарна пропускна здатність запобіжних клапанів, встановлених на котлі, повинна дорівнювати не менше номінальної годинної паропроductивності [10].

На кожному паровому і водогрійному котлі і котлі, який відключають по робочому середовищу економайзері і пароперегрівачі повинно бути встановлено не менше двох запобіжних пристроїв. На водогрійних котлах з камерним спалюванням палива, обладнаних автоматичними пристроями, запобіжні пристрої можна не встановлювати.

Запобіжні пристрої слід встановлювати:

а) в парових котлах з природною циркуляцією без пароперегрівача – на верхньому барабані або сухопарнику;

б) у прямоточних парових котлах, а також у котлах з примусовою циркуляцією – на вихідних колекторах або на вихідному паропроводі;

в) у водогрійних котлах – на вихідних колекторах або барабані;

г) у проміжних пароперегрівачах допускається встановлення всіх запобіжних пристроїв пароперегрівача – на стороні входу пари;

д) в економайзерах, що відключають – не менш ніж по одному запобіжному пристрою на виході і вході води. При наявності у котла невідключного пароперегрівача частина запобіжних клапанів з пропускнуою спроможністю не менше 50 % сумарною пропускнуою спроможністю всіх клапанів повинна бути встановлена на вихідному колекторі пароперегрівача. Для водяних економайзерів, які відключають місця встановлення запобіжних клапанів, методика їх регулювання і значення тиску відкриття повинні бути вказані підприємством-виготовлювачем у паспорті економайзера [10].

Запобіжні клапани повинні захищати котли, пароперегрівачі і економайзери від перевищення в них тиску більш ніж на розрахункового (дозволеного) [10]. При установці двох запобіжних клапанів перший з них називають робочим, другий – контрольний. Контрольний клапан забезпечений пристроєм (наприклад, кожухом, що закривається на замок), що не дозволяє обслуговуючому персоналу регулювати клапан, проте не перешкоджає перевірці стану останнього. Якщо вихід пари не чути з робочого місця обслуговуючого персоналу, контрольні клапани забезпечують сигнальними пристроями (наприклад, свистком). Контрольні клапани відкриваються раніше робітників при перевищенні тиску на 10 % . Якщо перевищення тиску триває, відкриваються робочі клапани.

При включенні котлів у систему опалення з розширювальною судиною допускається замінити один з запобіжних клапанів контуром-це за умови, що між котлом і розширювальною судиною запірних і регулюючих пристроїв. Обвідний трубопровід встановлюють в обхід запірного вентиля з зворотним клапаном, що пропускає воду з котла.

Запобіжні клапани встановлюють на патрубках, приєднаних безпосередньо до барабана котла або парового колектору без проміжних запірних органів [8].

Конструкція клапана повинна забезпечувати можливість перевірки справності його дії в робочому стані шляхом примусового відкриття клапана. Запобіжні клапани мають відвідні труби, які захищають обслуговуючий персонал від опіків при спрацюванні клапана. Пара, що виходить з клапана, відводиться за межі приміщення. В відвідній труби за клапаном не повинно створюватися протитиску.

При регулюванні клапанів прямої дії, установлених на барабані, в якості робочого приймається тиск в барабані котла. При регулюванні клапанів прямої дії, установлених на вихідному колекторі пароперегрівача, в якості робочого приймається тиск у вихідному колекторі пароперегрівача (паропроводу).

Корпус запобіжних клапанів і арматури виготовляються із сталі або чавуну.

Сідла і тарілки запобіжних клапанів для перегрітої пари з температурою не більше 350 °С робляться з бронзи або сталі; при більш високих температурах - з нержавіючої сталі [9].

Запобіжні клапани регулюють під час ремонту або промивки котла і перевіряють при експлуатації. При правильному регулюванні завжди першим відкривається і останнім закривається запобіжний клапан на виході з пароперегрівача. Важільний запобіжний клапан регулюють зміною маси вантажу або його пересуванням уздовж важеля. Чим більший вантаж і чим далі він знаходиться до краю важеля, тим при більшому тиску відкриється

клапан. Положення вантажу повинно бути відрегульовано так, щоб при перетині стрілки манометра червоної риси клапан відкривався і випускав пар. Після регулювання вантажі закріплюють на важелях болтами, щоб їх не можна було зняти або перемістити вздовж важеля без відкручення стопори. Навішувати нові вантажі після регулювання клапана забороняється.

Для того, щоб тарілки не прикипали до сідел, запобіжні клапани перевіряють продувкою. Спочатку переконуються у відсутності пропусків пара, в правильності закріплення вантажу на важелі, відсутності клинів у вилках клапанів, а також будь-яких предметів на обмурівці котла, які можуть бути випадково покладені на важелі клапанів. Після цього стають обличчям за напрямком важеля і обережно піднімають його. Клапан повинен легко відкриватися і випускати пар по всій окружності. По закінченні продувки опускають важіль і стежать за тим, щоб не було пропусків пара. Для продувки контрольного запобіжного клапана беруть двома руками ланцюжок і підтягують злегка її вгору. Якщо при продуванні клапан не відкривається, то особливих зусиль докладати не потрібно, так як при додатку великого зусилля тарілка з важелем може піти настільки вгору, що їх неможливо буде опустити в робоче положення. При цьому з котла піде велика кількість пари, тиск в котлі сильно знизиться, відбудеться бурхливе пароутворення і тоді аварійна зупинка котла неминуча.

Працювати з невідрегульованими або несправними клапанами категорично забороняється. При будь-якій несправності в роботі запобіжних клапанів необхідно вжити заходів до їх ліквідації. Якщо тиск в котлі перевищує допустимий, а запобіжний клапан не діє або тиск пари (води) в котлі (водяному економайзері) не досяг граничного значення, а клапан відкривається і починає випускати пар (воду), то в першому випадку клапан прикипів до сидла, а в другому – він не відрегульований. Про всі несправності в роботі запобіжних клапанів треба негайно ставити до відома особу, відповідальну за котельню. Основні несправності в роботі важільних

запобіжних клапанів, які можуть привести до аварії котла, їх причини та способи усунення наведені в інструкціях.

3.2 Виробнича санітарія

Підприємства повинні виконуватися відповідно до вимог проектування промислових підприємств. Виробничі території повинні забезпечуватися належними умовами природного освітлення, водопостачання, а також провітрюватись.

Карта умов праці робітників котельні представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1- Карта умов праці робітників

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	
Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
NO ₂	5	4,7	-	-	-	100
CO	20	14	-	-	-	100
SO ₂	10	9	-	-	-	100
SO ₃	1	0,6	-	-	-	100
Температура повітря, °C	17-22	20...22	-	-	-	100
Відносна вологість повітря, %	≤75	65...70	-	-	-	100
Швидкість руху повітря, м/с	≤0,5	0,3...0,4	-	-	-	100

Шум, дБА	80	37	-	-	-	20,83
Інфразвук, дБ	80	77	-	-	-	100

Виробничі будинки повинні розташовуватися залежно від технологічного процесу і шкідливих виробничих факторів на цьому підприємстві.

Приміщення, у яких виробничі процеси пов'язані з виділенням шкідливих газів, пару, пилу та іншими негативними виробничими факторами, розташовуються стосовно інших будинків і населених пунктів з підвітряної сторони для вітрів переважного напрямку, територія повинна бути упоряджена.

Територія підприємств повинна бути обладнана водопроводом і каналізацією, мати асфальтовані чи інші тверді покриття проїздів і проходів, знаки безпеки руху.

Виробничі приміщення проектуються і будуються за умови, що на одного робітника повинно бути не менше 15 м³ об'єму приміщення або 4,5 м² площі при мінімальній висоті 3,2 м.

Стіни і стелі повинні бути мало теплопровідними, не затримувати пил, підлоги - теплими, еластичними, рівними і не слизькими.

Оздоровчі пункти для надання першої допомоги потерпілим на виробництві і хворим, а також для проведення лікувальної і санітарно-профілактичної роботи.

Коли потрібні допоміжні приміщення, то вони повинні розташовуватись в прибудовах виробничих будинків чи в окремих будинках, з'єднаних з виробничими опалюваними переходами.

Видалення повітря передбачається через дефлектори, розташовані в перекритті котельні. Приплив повітря здійснюється в нижню зону приміщення через віконні отвори. У зимовий час повітрообмін здійснюється за допомогою дугтьових вентиляторів, які відбирають повітря з котельні повітрязабірними пристроями, розташованими під перекриттям.

Для систем опалення слід застосовувати у якості теплоносія, як правило, воду.

Для опалення котельної у нашому випадку є:

- у кімнаті машиніста та оператора чавунна батарея на 6 секцій;
- у кімнаті слюсарів 3 чавунні батареї по 8 секцій кожна;
- у кімнаті майстра чавунна батарея на 7 секцій.

Інша частина приміщення не опалюється тому що температура не знижується менше ніж (13...15) °С.

Метерологічні умови виробничих приміщень визначаються сукупністю параметрів-температури (t , °С), відносної вологості (ϕ %), швидкості руху повітря (V , м/с), атмосферного тиску (P , мм.рт.ст.), інтенсивності теплового випромінювання (E , Вт/м²). Сукупність цих величин, характерних для конкретних виробничих умов, називається мікрокліматом.

Заходи й засоби захисту працюючих при недопустимих параметрах мікроклімату поділяються на організаційні заходи та колективні та індивідуальні засоби.

До організаційних заходів відносяться автоматизація, дистанційне керування технологічними процесами, кімнати реабілітації, чергування часу роботи й відпочинку.

Як технічні колективні засоби захисту застосовують екрани, засновані на принципах відбиття, поглинання, тепловідведення, повітряні, водяні душі завіси. До індивідуальних засобів захисту відносяться спецодяг.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення.

Швидкість зорового сприйняття підвищується зі збільшенням висвітлення. Вона швидко зростає при висвітленні в (70...75) лк. Повільніше – при висвітленні в (1000...1200) лк і більше. Чітке сприйняття предмета очей зберігає певний час.

Стійкість ясного бачення залежить від характеру виконуваної роботи, умов виробничої середовища, зокрема, від тривалості висвітлення (з поліпшенням висвітлення різко підвищується тривалість ясного бачення).

Існуючі норми штучного висвітлення виробничих приміщеннях передбачають різний рівень висвітлення для різної точності робіт.

Норми встановлюють найменші допустимі значення освітленості, при яких забезпечується успішне виконання різної характером і складності зорової роботи. Висвітлення виробничих приміщень лише штучним світлом припустиме лише як виняток. Необхідно враховувати, що природне світло стимулює життєдіяльність організму людини. Він створює відчуття безпосередній зв'язок із зовнішнього середовищем, дозволяє забезпечити рівномірний висвітлення приміщень.

Створення сприятливих умов праці, його подальше полегшення сприяють, з одного боку, збереженню здоров'я працівників, вдосконаленню їх трудових навичок, а, з іншого - підвищенню працездатності і продуктивності праці, зниження плинності кадрів і поліпшення дисципліни на виробництві.

3.3 Електробезпека

На котельні використовується однофазна мережа для живлення зовнішнього та внутрішнього освітлення з напругою ~ 220 В, а також трьох-фазна ~ 380 В для живлення агрегатів.

При технічній експлуатації електроустановок промислових підприємств електротравми можуть виникати з таких причин:

- дотик безпосередній до струмопровідних частин електроустановок, які діють під напругою. Це може статися через несправність огорожувальних пристроїв електроустановок, помилкові дії персоналу, коли роботи виконуються поблизу чи безпосередньо на струмопровідних елементах, що знаходяться під напругою, а також з появою напруги (в

результаті помилкової подачі) на раніше вимкнених електроустановках і ділянках мережі;

- важкі і смертельні нещасні випадки (понад 200), проаналізовані показали, що на випадковий дотик, не викликаний виробничою необхідністю і помилковою подачею напруги, в процесі ремонтів і оглядів електроустановок, припадає близько 53 % усіх електротравм;

- дотик до металевих конструктивних частин електроустановок, які не повинні знаходитися під напругою, але на корпусах, кожухах і огорожувальних пристроях може з'явитися напруга в результаті електричного пробую чи природного старіння ізоляції електроустановок, а також при замиканні оголених проводів через обрив і падіння на конструктивні частини електроустановок і при відсутності захисного заземлення, ці причини складають близько 22 % усіх травм;

- дотик інструментом і предметами, що мають малий опір, до ізоляції, до струмопровідних частин, а також до неметалевих частин електроустановок, які виявилися під напругою через заводські дефекти в конструкції, під час монтажу і виготовлення.

- дотик до стін, підлог, будівельних конструкцій, які виявилися під кроковою напругою. Крокова напруга виникає при розтіканні електричного струму від трубопроводів, будівельних конструкцій, рейкових шляхів, на які перейшов електричний струм в результаті падіння проводів чи погіршення ізоляції. Такі причини складають (2...3) %;

- дія дуги при операціях із відмикальними пристроями та інші причини. Вони складають близько 6 %.

Перегляд електротравм, показав, що електротравми через помилкову подачу напруги на електроустановки під час їх ремонтів і оглядів зумовлюються незадовільною організацією ремонтних робіт, недостатнім знанням працівниками правил з техніки безпеки.

Дуже великий відсоток електротравм при випадковому дотику, не викликаному виробничою необхідністю (до 30 %), і невеликий - при дотику в

процесі роботи (до 2%) дозволяє зробити висновок, що працівники, не пов'язані з експлуатацією електроустановок, не знають, яку небезпеку становить електричний струм для людини.

Ураження електричним струмом відносяться до небезпечних факторів, що відображаються на всьому організмі. Проте всі електротравми умовно поділяють на два основних види: місцеві електротравми, коли виникає місцеве ураження організму, електричний опік, електричні знаки, металізація шкіри; загальні електротравми, коли уражається весь організм людини через порушення нервової системи, нормальної діяльності життєво важливих органів і систем - електричний удар.

Сила електричного струму, що протікає через людину, є основним чинником, що визначає результат ураження електричним струмом. Значення напруги, під якою опинилася людина, і опір її тіла впливають на результат ураження людини лише в тій мірі, в якій напруга та опір людини визначають значення електричного струму, що протікає через людину.

Якщо збільшується сила електричного струму, небезпека ураження людини теж збільшується. Розрізняють кілька станів людини, що виникають при визначених значеннях струму.

Відчутний струм - електричний струм силою від 0,6 мА до 1,5 мА, що викликає під час проходження через організм відчутне подразнення.

Струм, що не відпускає - електричний струм, що викликає при проходженні через людину непереборні судорожні скорочення м'язів руки, в якій затиснута струмопровідна частина. При струмі (3...5) мА (50 Гц) подразнюється вся кисть руки, яка торкається струмопровідних частин, при (8...10) мА біль охоплює всю руку, а при 15 мА судороги м'язів рук стають непереборними, а біль нестерпним. Людина при цьому не може розтиснути руку, в якій затиснута струмопровідна частина.

3.4 Протипожежна безпека

Відповідно до Основних правил пожежної безпеки, на підприємстві розроблені інструкції по заходах пожежної безпеки, в яких вказані для окремих ділянок виробництва заходу по протипожежному режиму, граничні показання контрольно-вимірювальних приладів, порядок і норми зберігання вибухо- і пожежонебезпечних речовин.

Приміщення котельної відноситься до категорії Г - пожежобезпечне, так як у виробництві використовується газоподібні речовини. По кожній інструкції призначена відповідальна особа їх числа інженерно-технічних працівників.

Для гасіння пожеж на підприємстві існує пожежна охорона, усі виробничі цехи і приміщення обладнані пожежною сигналізацією.

Основними первинними засобами пожежогасінні є:

- вогнегасники хімічні пінні ОХП- 10;
- вогнегасники пінні ОВП- 10;
- вогнегасники вуглекислотні ОУ- 2, ОУ- 5, ОУ- 8, ОУ- 20;
- вогнегасники порошкові ОПС- 6, ОПС- 10;
- ящики з піском;
- пожежні щити з інвентарем;
- пожежні водопроводи.

В цілях попередження пожеж і створення безпечних умов праці на підприємстві проведені наступні заходи:

- встановлені достатні розриви між будівлями, спорудами, складами, забороняється зберігання горючих матеріалів в розривах між будівлями;
- забезпечені умови для організації евакуації з приміщень у разі виникнення пожежі;
- впроваджена у виробництво системи автоматичного контролю і сигналізації за виникненням небезпечних чинників.

3.5 Засоби індивідуального захисту

Робочі комбінезони і халати, головні убори і чисте взуття повинні видаватися як персоналу, так і усім відвідувачам, що входять на територію господарства або інкубатора.

Для дезінфекції взуття має бути ножна ванна; використовуваний в ній дезінфікуючий розчин регулярно міняють. Обов'язковим повинно бути вимоги миття рук дезінфікуючим розчином або водою з милом.

Персонал і відвідувачі не повинні мати контакту – як прямий, так і непрямий - з іншим птахом або птахопродуктами.

Комплект ЗІЗ - спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри, респіратори повинні бути підібрані індивідуально та закріплені за кожним працюючим на весь період роботи. Засоби індивідуального захисту повинні зберігатися в індивідуальних шафах у спеціально виділеному сухому, чистому приміщенні, яке добре провітрюється. Забороняється зберігати ЗІЗ, відносити додому і користуватися ними після роботи.

3.6 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, м³/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);

ρ_{CP} – щільність повітря при середній температурі, кг/м³,

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

Щільність повітря, кг/м³

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

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

Середня температура, °C

$$t_{CP} = (t_{P3} + t_1) / 2 = (25 + 44,2) / 2 = 34,6,$$

$$t_1 = t_{P3} + \Delta t \cdot (H - 2) = 25 + 3 \cdot (8,4 - 2) = 44,2,$$

де t_{P3} – температура робочої зони, °C;

Δt – 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, м³/год

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

Визначаємо кратність повітрообміну

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

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

Було запропоновано проект реконструкції пальника типу РГМГ-20 з метою підвищення економічності роботи котла типу КВГМ-20-150. Причиною проведення реконструкції пальника є незадовільні результати теплотехнічних випробувань котла, що показали, що пальниковий пристрій не забезпечує достатньо повного сумішоутворення газу з повітрям, внаслідок чого котел працює з низьким ККД (великі втрати теплоти з газами) і з завищеними значеннями витрати газу і коефіцієнта надлишку повітря.

Для усунення перерахованих вище несприятливих факторів, що негативно впливають на роботу котла, будуть розроблені відповідні рекомендації по реконструкції горілчаного пристрою, засновані на результатах теплового розрахунку котла і розрахунку самої пальника.

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

Таким чином, проведення реконструкції є доцільним.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Тепловий розрахунок котельних агрегатів: (Нормативний метод) / Під. ред. Н.В.Кузнєцова та ін.– М: Енергія, 1973 – 296с.
2. А. Н. Безгрешнов, Ю. М. Липів, Б. М. Шлейфер та ін. / Розрахунок парових котлів у прикладах і задачах. Уч. посібник для вузів – М: Вища школа, 1991 – 240с.
3. Гідравлічний розрахунок котельних агрегатів: (Нормативний метод) / О. М. Балдіна, В. А. Локшина, Д. Ф. Петерсон та ін - М: Енергія, 1978 – 256с.
4. Бобровський Р. С. Котельні установки малої потужності. – М: Машгїз, 1961 – 311с.
5. Автоматика і автоматизація виробничих процесів / Під заг. Ред. проф. Р. К. Нечаєва. – К: Вища школа, 1985 – 279с.
6. Довідник з автоматизації котелень / Л. М. Файерштейн, Л. С. Этинген, Р. Р. Гохбойн. Під ред. К. М. Файерштейна. – М: Вища школа, 1985 – 296с.
7. Бузников Е. Ф., Роддатис К. Ф., Берзінш Е. Я. Виробничі та опалювальні котельні – М: Вища школа, 1984 – 248с.
8. Денисенко Р. Ф., Охорона праці: Уч. посібник для інж.- екон. спец. вузів. – М: Вища школа, 1985 - 248с.
9. Гаджієв Р. А., Вороніна А. А. Охорона праці в тепловому господарстві промислових підприємств: Уч. посібник для технікумів. – М: Енергія, 1980 – 224с.
10. Онїщенко Н.П. Охорона праці при експлуатації котельних установок. –М: Енергія, 1992 – 350с.
11. ДНАОП 0.00-1-08.-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових і водогрійних котлів. – К: Стройиздат, 1995 - 12с.
12. Правила пристрої і безпечної експлуатації судин, працюючих під тиском. – М: Металургія, 1971 – 45с.

13. Нормативи чисельності робітників, що обслуговують парокотельные установки промислових підприємств. – М: Економіка, 1988 – 26с.

14. Златопольський А. Н., Прузнер С. Л. / Економіка, організація і планування теплового господарства промислових підприємств: Підручник для технікумів. – М: Енергія, 1979 – 376с.