

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Інженерних систем та екології

Випускова кафедра: Теплотехніки

Освітній ступінь: Магістра

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

Освітня програма: «Енергетичний менеджмент, енергоефективні муніципальні та промислові теплові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету

Приймак О.В.

„___” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Перфілов Богдан Миколайович

1. Тема роботи: «Технічні рішення з модернізації водогрійних котлів серії ПТВМ для підвищення економічних показників»
затверджена наказом ректора КНУБА № 2455/2 від 21.11.2024року
2. Керівник роботи Глазмадін П.М. доц.
3. Строк подання здобувачем роботи до захисту 26.12.2024р.
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
 - Р.1.Опис котла ПТВМ-50. Можливі засоби підвищення енергоефективності;
 - Р. 2. Улаштування меншої кількості пальників у поду котла;
 - Р. 3. Тепловий розрахунок котла з пальниками у поду;
 - Р. 4. Аеродинамічний розрахунок котла з пальниками у поду;
 - Р. 5. Автоматизація;
 - Р. 6. Газопостачання котла;
 - Р. 7. Технологія монтажних робіт при реконструкції котла;
 - Р.8. Екологічна оцінка реконструкції котлів;
 - Р.9. Економічний розрахунок;
 - Р.10. Список використаної літератури;

5. Графічна частина:

- Р. 1 Функціональна схема автоматизації котельні;
- Р. 2. Газопостачання котлів;
- Р. 3. Компонування котла;
- Р. 4. Розріз 2-2;
- Р. 5. 3-Д вид котла;
- Р. 6. Газопостачання;
- Р. 7. Гідравлічна схема роботи котла;
- Р. 8. Основні технічні рішення з модернізації котла. Перехід до П-образної компоновки;
- Р. 9. Технічні рішення водогрійних для котлів серії ПТВМ для підвищення економічних показників;
- Р. 10. Варіант котла ПТВМ-100 з додатковим конвективним пакетом та розтягнутими по висоті пальниками;

Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1.	07.08.24
Розділ 2.	15.08.24
Розділ 3.	25.08.24
Розділ 4.	18.09.24
Розділ 5.	28.09.24
Розділ 6.	19.10.24
Остаточне оформлення роботи	28.11.24
Направлення роботи для перевірки на плагіат	02.12.24
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	02.12.24
Направлення роботи на рецензування	02.12.24

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис

Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____
(підпис)

Кириченко М.А.
(прізвище, ініціали)

Керівник _____
(підпис)

Гламаздін П.М.
(прізвище, ініціали)

Здобувач _____
(підпис)

Перфілов Б.М.
(прізвище, ініціали)

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Інженерних систем та екології
Теплотехніки

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

«Технічні рішення з модернізації водогрійних котлів серії ПТВМ для
підвищення економічних показників»

Перфілов Богдан Миколайович

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Інженерних систем та екології

Теплотехніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Кириченко М.А.

»___» _____ 20__ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

«Технічні рішення з модернізації водогрійних котлів серії ПТВМ для
підвищення економічних показників»

Виконав Перфілов Богдан Миколайович
144 «Теплоенергетика»

«Енергетичний менеджмент,
енергоефективні муніципальні та промислові
теплові технології»

Група ТЕМ-23

Керівник Гламаздін П.М. доцент

Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р.

Зміст

Вступ	6
1. Опис котла ПТВМ-50. Можливі засоби підвищення енергоефективності.	7
2. Улаштування меншої кількості пальників у поду котла.	12
3. Тепловий розрахунок котла з пальниками у поду.	25
4. Аеродинамічний розрахунок котла з пальниками у поду.	37
5. Автоматизація.	46
6. Газопостачання котла.	51
7. Технологія монтажних робіт при реконструкції котла.	58
8. Екологічна оцінка реконструкції котлів.	64
9. Економічний розрахунок.	72
10.Список використаної літератури.	77

Вступ

Тема підвищення енергоефективності дуже набирає популярності і вже практично застосовується в багатьох сферах. Ця тема, також, не пройшла мимо теплопостачання. На сьогоднішній день в котельнях опалення по всій нашій країні широко використовують водогрійні котли КВГМ та ПТВМ. І хоча ці котли видають достатньо потужності, але зовсім не задовільняють потреби і норми по екологічності та енергоефективності. Ці котли виділяють велику кількість шкідливих викидів, які забруднюють навколишнє середовище.

В інших пострадянських країнах, які межують з Україною (Прибалтика та Східна Європа) вже давно впроваджують різні види модифікацій для котлів цих серій. Це робиться для того, щоб підвищити їх параметри екологічності та енергоефективності.

Один з наефективніших методів є заміна застарілих пальників на більш нові, для серії ПТВМ також, зменшують кількість цих пальників, додають додаткові поверхні нагріву(двосвітні екрани), запроваджують сучасні системи автоматизації та замінюють обмурування котла.

Сьогодні теплопостачання від центральних котелень зазнає великих втрат і ситуація постійно погіршується, особливо, дивлячись на економічну кризу сьогодні. Одна з причин цих втрат різка зміна навантаження на котельні. Для вирішення цієї проблеми можна зменшити відсоток навантаження на ГВС з 30 до 10 одиниць

Зміна, а саме зменшення кількості пальників та заміна їх на нові може покращити кілька параметрів котла. Звісно, за рахунок оновлення обладнання викиди шкідливостей зменшуються, а також підвищується енергоефективність.

У великих містах України постає інша проблема, протилежна описаній вище – це проблема збільшення навантаження на котельні, які опалюють ці

Опис котла. Можливі засоби підвищення енергоефективності

Котел ПТВМ-50

Табл.2.1 Технічні характеристики котла

Назва показника	ПТВМ-50
Паливо	Газ
Теплове продуктивність, Гкал/год	50
Температура газів на виході з топки, °С	1360
Температура видаляємих газів, °С	190
Температура води, °С	
- на вході	70
- на виході	150
Витрата палива, м ³ /год	6540
Радіаційна поверхня топки, м ²	116
Поверхня конвективної частини, м ²	1170
Об'єм топочної камери, м ³	109
Габарити по осям опор, мм	
- ширина	5160
- глибина	5180
- висота	13500
Нормальна витрата води, т/год	
- двоходова схема	2180
- чотириходова схема	1240
Швидкість води в трубах екрана, м/сек	
- двоходова схема	1,49
- чотириходова схема	1,68
Швидкість води в трубах конвективної частини, м/сек	
- двоходова схема	1,49
- чотириходова схема	1,68

Водогрійний котел баштового типу продуктивністю 50 Гкал/год призначений для отримання гарячої води з температурою 150 °С, яка використовується в системах опалення, вентиляції і гарячого водопостачання промислового і побутового призначення, а також для технологічних цілей.

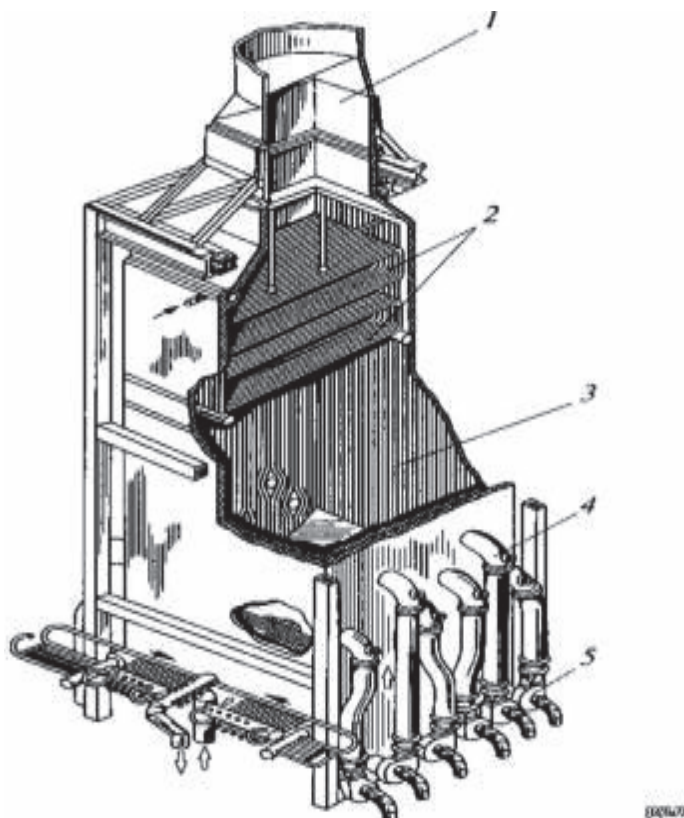


Рис. 2.1. Водогрійний котел ПТВМ-50

1 – димова труба; 2 – конвективні поверхні; 3 – топка; 4 – газомазутний пальник; 5 – вентилятор

Водогрійні котли ПТВМ-50 (рис. 2.1) мають баштове компонування та виконані у вигляді прямокутної шахти, в нижній частині якої знаходиться повністю екранована камерна топка. Топка котла має вигляд прямокутної шахти з основою 5х5, екранна поверхня виготовлена з труб 60х3 мм з кроком $s=64$ мм і складається з двох бокових, фронтального та заднього екранів. Труби бічних екранів і вварені в нижній і верхній бічні колектори. У верхніх бічних колекторах встановлені заглушки забезпечення двоходового руху води по екрану. Труби бічних екранів мають амбразури для установки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Атестаційна робота

Аркуш

пальників, з кожного боку по шість штук у два яруси (чотири вгорі, два внизу). Кожен пальник обладнаний індивідуальним дуттьовим вентилятором, а пальники нижнього ярусу - розпалювальні. Труби бічних екранів у нижній частині вигнуті та екранують під (низ) топки.

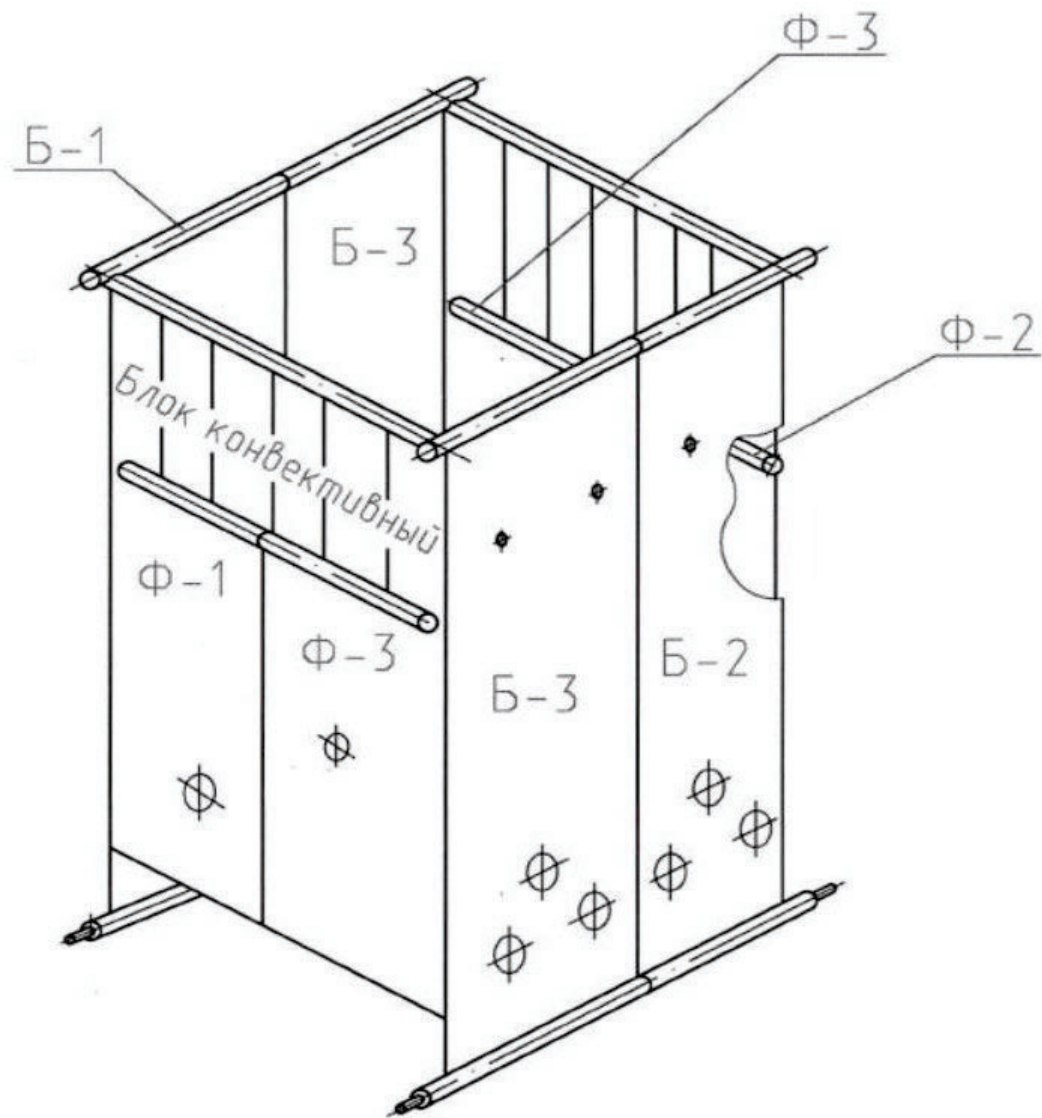


Рис 2.2 Схема розташування екранів топки

Вертикальні труби фронтального екрану розташовані в топці і вварені в нижній і проміжний колектори. Труби заднього екрана топки розташовані симетрично фронтальному екрану.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Атестаційна робота

Аркуш

Конвективна поверхня нагріву розташована над топкою, по ходу руху газів, і сформована чотирма пакетами секцій два яруси з відстанню 600 мм, між якими встановлені люки-лази. Вище переднього екрана, між проміжним колектором і верхнім колектором, встановлені (приварені) вертикальні стояки, а ці стояки вварені два пакети горизонтально розташованих U-подібних труб діаметром 28 x 3 мм. Аналогічну конструкцію та два конвективні пакети секцій, має задній екран топки.

Над кожним котлом встановлюють димар, що забезпечує природну тягу. Труба спирається на каркас. Котли встановлюються напіввідкрито: у приміщенні розміщуються лише пальники, арматура, вентилятори тощо., тобто нижня частина котлоагрегату, а решта елементів котла розташовані на відкритому повітрі.

Котел має легке натрубне обмуровування товщиною 110 мм: перший шар - шамотобетон по металевій сітці, другий - мінеральна вата, а третій - газонепроникна обмазка або штукатурка. Зовні приміщення котельної обмурівка котла покривається вологонепроникним матеріалом. Котел має обмивальні пристрої для видалення сажі з конвективної поверхні нагрівання. Основні характеристики котлів серії ПТВМ наведено у табл. 2.1.

Газоповітряний тракт. Котел має баштове компонування. Паливо та повітря подаються в пальники, а в топці утворюється факел горіння. Тепло від топкових газів у топці, за рахунок радіаційного та конвективного теплообміну, передається всім екранним трубам (радіаційним поверхням нагріву), і від труб тепло передається воді, що циркулює по екранах.

Потім топочні гази проходять конвективну поверхню нагріву, де тепло передається воді, що циркулює по пакетах секцій труб, проходять димову трубу, звідки, і з температурою 180 - 190 °С, димові топкові гази видаляються в атмосферу.

Вода в котлі циркулює за допомогою насосів, що розширює можливості гідравлічних схем для даного агрегата. Витрата води залежить

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бічних екранів, розподіляється по колекторах до заглушок(які стоять посередині колектора), звідки по ближній (щодо фронту котла) частини екранних труб опускається в нижні колектори.

3-й хід - з нижніх колекторів лівого та правого бічних екранів, вода піднімається по дальній частині труб у верхні колектори бічних екранів та розподіляється по колекторам після заглушок.

4-й хід - з верхніх колекторів бічних екранів, двома потоками по перепускних трубах, вода переходить у верхні колектори заднього екрану, проходить проміжний колектор, і далі, пройшовши стояки та конвективні U-подібні пакети секцій, опускається в нижній колектор екрана, звідки нагріта до 150 °С вода йде у тепломережу.

Двоходова схема руху води (піковий режим):

1-й хід - зворотна мережева вода з температурою 105 °С, мережевим насосом, двома паралельними потоками подається в нижні колектори переднього і заднього екранів, звідки по трубах екранів піднімається в проміжні колектори, а потім проходить по стоякам і конвективним U-подібним пакетам після чого потрапляє у верхні колектори переднього та заднього екранів.

2-й хід - з двох верхніх колекторів переднього та заднього екранів паралельними потоками по перепускних труб вода переходить у верхні колектори лівого та правого бічних екранів, по екранних трубах опускається в нижні колектори лівого та правого бічних екранів, звідки нагріта до 150 °С вода йде у тепломережу.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завихрювача, але в сучасних умовах набагато правильніше та зручніше застосовувати автоматику пальника, яка сама контролює витрату палива. Автоматика підбирається індивідуально для кожного проекту.

Табл. 2.1 Характеристики пальника МГМГ-6

Номінальна теплова потужність пальника, МВт	6,6
- на мазуті	1,4
- на газу	4,1
Витрата газу, м ³ /ч	490
Тиск повітря перед пальником при роботі на газіві, Па	490
Витрата повітря, м ³ /с	1,9
Тиск повітря перед пальником при роботі на мазуті, Па	280
Витрата мазути, кг/год	620
Маса пальника, кг, не більше	112
Котли на які розраховані пальники	КВ-ГМ-35-150(С); КВ-ГМ-58,2-150; ПТВМ-30М(МС); ПТВМ-50
Форсунка	ФММ-620

Для роботи на рідкому паливі в пальниках МГМГ-6 використовуються форсунки типу ФММ-620 (механічна форсунка мазутна).

Додатково, для нормальної роботи пальників, у системі котельні повинні бути встановлені вентилятори, димососи, автоматика управління, газові рампи (газова лінія), запально-захисний пристрій-ЗЗУ.

Пальник складається з газової частини, лопаткового реєстру для закрутки повітря, механічної форсунки та циліндричного тунелю-

стабілізатора, діаметр якого дорівнює внутрішньому діаметру газової камери (346 мм). Довжина тунелю 380 мм, він дещо виступає в топку за межі екранних труб, що зменшує можливість їхнього перегріву. Газ надходить у закручений потік повітря під кутом 90° від периферії до центру з двох рядів отворів у газовій камері, що забезпечує рівномірний розподіл газових струменів у потоці повітря. Повітря в кожному пальнику зазвичай подається від автономного вентилятора, закручується в ньому лопатковим регістром, який монтується тільки після футерування рами пальника на котлі. Внутрішнє футерування рами захищає пальник від нагрівання за рахунок випромінювання з топки.

Конструкція пальника дуже надійна. Термін експлуатації при правильному використанні становить 20 років і більше. Пальник простий в обслуговуванні та ремонті. У разі потреби основні вузли пальника легко змінюються.

Пальники на котлі розташовані з двох сторін групами в два яруси, причому один з пальників кожної групи нижнього ярусу є розпалювальним і має запалювальний пристрій, встановлений безпосередньо над пальником і включається з щита. Можливе також розпалювання переносним газовим або мазутним запальником. Інші пальники з цієї групи розпалюються зі зростанням продуктивності котла від факела розпалювального пальника. Розпалювання пальників роблять при відкритих повітряних заслінках.

Для очистки конвективних поверхонь нагріву в баштових котлах передбачається обмивка цих поверхонь лужною мережною водою. Обмивальний пристрій складається з труб, розташованих над конвективним пучком. Труби вздовж своєї осі забезпечені соплами, з яких виходять струї води, які вдаряються в змієвики і змивають відкладення, які накопичились на трубах. Під час промивки труби постійно повертаються на 120° за допомогою спеціального поворотного механізму. Під час спалювання мазути,

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачається ввід в топочну камеру каустестичного магнезиту для зниження забруднень конвективних поверхонь нагріву липких відкладень.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепловий розрахунок водогрійного котла ПТВМ-50 при роботі на газу
Тепловий баланс котлоагрегата і витрата газу за годину

Тепловим балансом називають розподіленн тепла витраченого палива на корисно використане тепло і теплові втрати, які супроводжують робочий процес.

Сумарні втрати тепла в котельному агрегаті дорівнюють:

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5, \%$$

q_2 – втрати тепла з видяляємими газами, %;

q_3 – втрати тепла від хімічного недопалу, %; ($q_3 = 1,5 \%$);

q_4 – втрати тепла від механічного недопалу, %; ($q_4 = 0 \%$);

q_5 – втрати тепла в навколишнє середовище, %; ($q_5 = 0,8 \%$);

Втрати тепла з видаляємими газами:

$$q_2 = \frac{(I_{\text{вид}} - \alpha_{\text{вид}} I_{\text{вид}}^0) \cdot 100}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \%$$

$I_{\text{вид}}$ - ентальпія видаляємих газів, ккал/кг; знаходиться за таблицею тепловмісту по температурі повітря, $\vartheta_{\text{вид}} = 190^{\circ}\text{C}$; $I_{\text{вид}} = 673$

$\alpha_{\text{вид}}$ – надлишки повітря; приймаємо $\alpha_{\text{вид}} = 1,22$;

$I_{\text{вид}}^0$ - ентальпія теоретично необхідної кількості повітря, ккал/кг;

$$I_{\text{вид}}^0 = c_{\text{п}} t_{\text{п}} V_0; I_{\text{вид}}^0 = 95,92;$$

$c_{\text{п}}$ – теплоємність повітря, $c_{\text{п}} = 0,315$ ккал/кг;

$t_{\text{п}}$ – температура повітря, $t_{\text{п}} = 30^{\circ}\text{C}$;

V_0 – об'єм повітря, $V_0 = 10,15$ м³/год

$$q_2 = \frac{673 - 1,22 \cdot 95,92}{8447,5} = 6,58 \%$$

Сумарні втрати тепла в котельному агрегаті дорівнюють:

$$\Sigma q = 6,58 + 1,5 + 0 + 0,8 = 8,88 \%$$

Аркуш

Атестаційна робота

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ККД котлоагрегата:

$$\eta_{к.а} = 100 - \Sigma q, \%$$

$$\eta_{к.а} = 100 - 8,88 = 91,12 \%$$

Коефіцієнт збереження тепла:

$$\varphi = \frac{1 - q_5}{100}$$

$$\varphi = 1 - \frac{0,8}{100} = 0,992$$

Наявне тепло:

$$Q_H^p = Q_T^p + i_{тп}, \text{ккал/кг}$$

$i_{тп}$ - фізична теплота палива, ккал/кг;

$$i_{тп} = c_{тп} t_{тп}, \text{ккал/кг};$$

$c_{тп}$ - теплоємність палива, ккал/кг;

$$c_{тп} = 0,415 \cdot 0,0006t \text{ ккал/кг};$$

$t_{тп}$ - температура палива; $t_{тп} = 100^\circ\text{C}$;

Q_T^p - питома теплота згорання палива, ккал/кг;

Для газу $Q_T^p = 8400$ ккал/кг;

$$c_{тп} = 0,415 \cdot 0,0006 \cdot 100 = 0,475 \text{ ккал/кг};$$

$$i_{тп} = 0,475 \cdot 100 = 47,5 \text{ ккал/кг}$$

$$Q_H^p = 8400 + 47,5 = 8447,5 \text{ ,ккал/кг}$$

Витрата води, що проходить через котлоагрегат:

$$D = \frac{Q}{i'' - i'} \cdot 1000, \text{т/год}$$

Q – теплопродуктивність котла, ккал/год; $Q=50$ Гкал/год;

i'' - ентальпія мережної води на виході, ккал/кг; $i'' = 151,2$ ккал/кг;

i' - ентальпія мережевої води на вході (температура $t'=70^\circ\text{C}$), ккал/кг;

$i'=70,3$ ккал/кг.

$$D = \frac{50\,000\,000}{151,2 - 70,3} \cdot 1000 = 618 \text{ т/год}$$

Витрата палива, що подається в топку котлоагрегату:

$$B_{\text{п}} = \frac{Q \cdot 100}{Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{к.а}}}, \text{ кг/год}$$
$$B_{\text{п}} = \frac{50\,000\,000 \cdot 100}{8447,5 \cdot 91,12} = 6495,8 \text{ кг/год}$$

Видиме теплове напруження об'єму топки:

$$\frac{Q}{V} = \frac{B_{\text{п}} \cdot Q_{\text{р}}}{V}, \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{год}$$
$$\frac{Q}{V} = \frac{6495,8 \cdot 8400}{109} = 500\,597 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{год}$$

Розрахунок теплообміну в топці

Об'єм топки та повна поверхня стін беруться з технічних характеристик котла:

$$V_{\text{т}} = 109 \text{ м}^3,$$
$$F_{\text{ст}} = 132,82 \text{ м}^2,$$

Повна поверхня нагріву:

$$H_{\text{н}} = F_{\text{ст}} \cdot x, \text{ м}^2,$$

x – кутовий коефіцієнт екрану, визначається по Номограмі 1[2]; $x = 0,99$;

$$H_{\text{н}} = 131,5 \text{ м}^2;$$

Тепло, яке заноситься в топку повітрям:

$$Q_{\text{в}} = \alpha_{\text{т}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} V^{\circ}, \text{ ккал/кг}$$

де $\alpha_{\text{т}}$ – коефіцієнт надлишку повітря в топці; $\alpha_{\text{т}} = 1,15$;

$c_{\text{в}}$ – теплоємність повітря, Мдж/(м³ · град); $c_{\text{в}} = 0,315 \text{ Мдж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$;

$t_{\text{в}}$ – температура повітря, яке входить в топку, °С; $t_{\text{в}} = 30^{\circ}\text{С}$;

V° – теоретично необхідна витрата повітря, нм³; $V^{\circ} = 10,15 \text{ нм}^3$;

$$Q_{\text{в}} = 1,15 \cdot 0,315 \cdot 30 \cdot 10,15 = 110,31 \text{ ккал/кг}$$

Корисне тепловиділення в топці:

Дійсна температура газів на виході з топки:

$$\vartheta''_{\text{T}} = \frac{2249}{0,47 \left(\frac{4,9 \cdot 131,49 \cdot 0,7 \cdot 2249^3}{10^8 \cdot 0,992 \cdot 6496 \cdot 5,32} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1131 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T''_{\text{T}} = 1404 \text{ K}$$

По температурі на виході з топки визначаємо ентальпію:

$$I''_{\text{T}} = 4523 \text{ ккал/год}$$

Знаходимо тепло, передане радіацією в топці:

$$\vartheta_{\text{л}} = \varphi(Q_{\text{T}} - I''_{\text{T}}), \text{ ккал/год}$$

$$\vartheta_{\text{л}} = 0,992(8431,1 - 4523) = 3876,8 \text{ ккал/год}$$

Аеродинамічний розрахунок котла при роботі на газу

Ціллю аеродинамічного розрахунку котельної установки є вибір необхідних тягодуттьових машин на основі визначення продуктивності тягової та дуттьової систем і перепаду повних тисків в газовому і повітряному трактах.

Площа газоходу визначається за формулою:

$$F = ab - z_3 \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2$$

a – ширина газоходу; b – довжина газоходу; d_3 – зовнішній діаметр труб; z – кількість труб у пучку;

$$F = 4,16 \cdot 4,18 - 264 \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} = 16,6 \text{ м}^2$$

Швидкість потоку:

$$\omega_{\text{Г}} = \frac{B_{\text{П}} V_{\text{Г}} (\vartheta + 273)}{273 F}, \text{ м/с}$$

$V_{\text{Г}}$ – об'єм димових газів, м^3

$$Re = \frac{\omega d_e}{\nu},$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu = 0,000015 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

d_e – еквівалентний діаметр, $d_e = \frac{2ab}{a+b}$, м.

$$d_e = 1,91 \text{ м}$$

$$Re = \frac{1,46 \cdot 1,91}{0,000015} = 186853$$

Так як, $Re \geq 4 \cdot 10^3$, то

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,2}{1,91} + \frac{68}{186853} \right)^{0,25} = 0,063$$

k – коеф шосткості, для сталъних труб $k=0,2$;

Тоді, $h_{\text{тр}} = 0,063 \frac{6,95}{1,91} \cdot \frac{1,46^2}{2} 0,837 = 0,2 \text{ мм вод. ст.}$

Місцевих опорів на ділянці 1 немає, тому

$$\Delta h = h_{\text{тр}} = 0,2 \text{ мм вод. ст.}$$

Визначаємо самотягу на Ділянці 2:

$$h_c = (8,95 - 2) \cdot 9,81 \cdot (1,205 - 1317) = 2,39 \text{ мм вод. ст.};$$

Визначаємо Δh та h_c на 2 ділянці:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_e} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ мм вод. ст.};$$

Коефіцієнт опору тертя λ залежить від відносної шорсткості стінок каналу і числа Рейнольдса:

									Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Агестаційна робота				

$$Re = \frac{\omega d_e}{\nu}$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu = 0,000086 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, при температурі $t' = 580^\circ\text{C}$;

d_e – еквівалентний діаметр, $d_e = \frac{2ab}{a+b}$, м.

$$d_e = 1,91 \text{ м}$$

$$Re = \frac{1,46 \cdot 1,91}{0,000086} = 32590$$

Так як, $Re \geq 4 \cdot 10^3$, то

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,063$$

Тоді, $h_{\text{тр}} = 0,1$ мм вод. ст.;

Визначаємо місцевий опір на ділянці 2 (опір поперечно омиваючих пучків труб):

$$\Delta h_{\text{поп}} = \xi \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ мм вод. ст.};$$

ξ – коефіцієнт опору, $\xi = \xi_0 \cdot z_2$;

z_2 – кількість рядів труб по глибині пучка, м; $z_2 = 64$

ξ_0 – коефіцієнт опору, який відноситься до одного ряду пучка і залежить від відношень:

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d}, \sigma_2 = \frac{s_2}{d} \text{ і } \varphi = \frac{s_1 - d}{s_2 - d};$$

$$\sigma_1 = \frac{64}{28} = 2,29 \text{ мм}, \sigma_2 = \frac{198}{28} = 7,07 \text{ мм}, \varphi = \frac{64 - 28}{198 - 28} = 0,21$$

При $\sigma_1 \leq \sigma_2$ ($0,06 \leq \varphi \leq 1$)

$$\xi_0 = 2(\sigma_1 - 1)^{-0,5} \cdot Re^{-0,2}$$

$$\xi_0 = 0,22$$

$$\xi = 0,22 \cdot 64 = 14,13$$

$$\Delta h_{\text{поп}} = 14,13 \cdot \frac{1,46^2}{2} \cdot 0,4135 = 6,26 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\Delta h = 0,1 + 6,26 = 6,36 \text{ мм вод. ст.};$$

Визначаємо самотягу на Ділянці 2:

$$h_c = (12,245 - 8,95) \cdot 9,81 \cdot (1,205 - 0,4135) = 25,97 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\text{Тоді } \Delta H_{\text{п}} = 6,57 - 27,97 = -21,4 \text{ мм вод. ст}$$

Улаштування меншої кількості пальників у поду та двосвітного екрану в топці

Для підвищення енергоефективності котла ПТВМ-50 додамо двосвітний екран для збільшення теплозабору. Двосвітний екран – це пучок труб, який освітлюється факелами з двох сторін. Навідміну від звичайних екранів, які обігриваються лише з однієї сторони, а з іншої покриті обмуровкою, двосвітний екран знаходиться всередині топки і приймає тепло з двох боків, що збільшує його ефективність в 2 рази.

Також, замінюємо 12 пальників у бокових екранах топки на 4 у дно(під) топки. Це робиться з декількох причин:

- 1) вертикальний факел дозволить зменшити кількість шкідливих викидів в атмосферу через розподілення рівня температури по всій висоті топки;
- 2) це дасть можливість вмикати котел на пів потужності, за рахунок, розділення топки на дві симетричні частини з однаковою кількістю пальників.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі реконструкції також зміниться гідравлічна схема роботи котла.

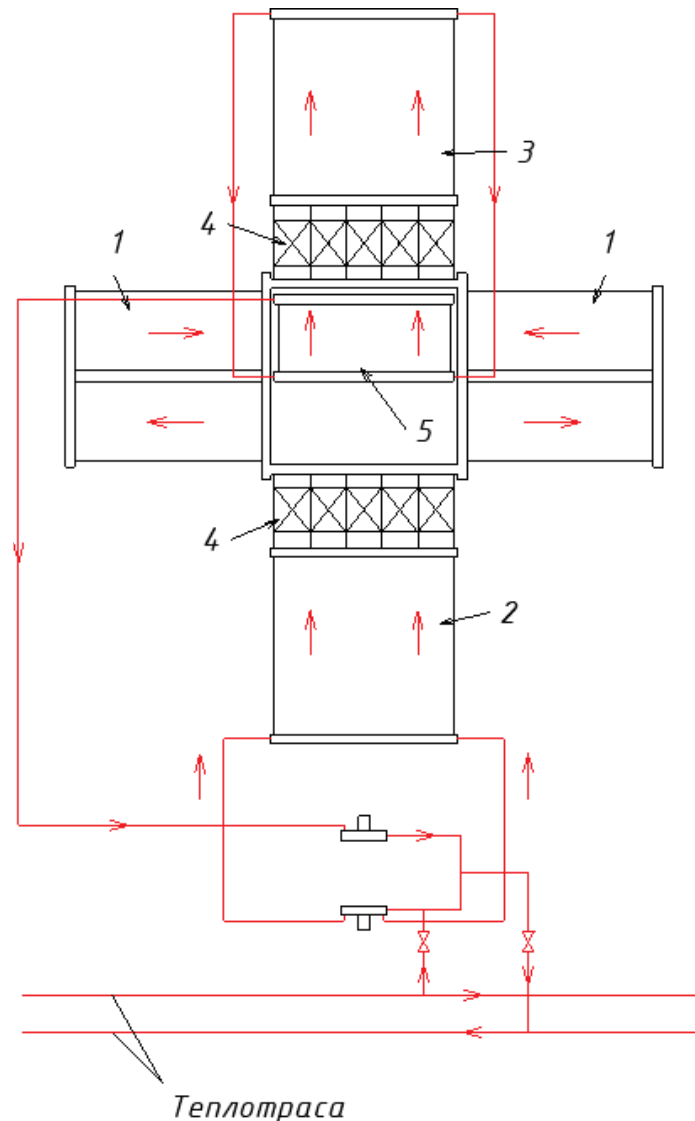


Рис. 3.1 Оновлена гідравлічна схема роботи котла

1 – боковий екран, 2 – фронтний екран, 3 – задній екран, 4 – конвективні поверхні; 5 – двосвітний екран;

За основу взята чотириходова схема ПТВМ-50(рис.2.3). У оновленій схемі рух теплоносія збільшилась кількість ходів з 4-х до 5-ти.

Гідравлічна схема ПТВМ-50 з двосвітним екраном:

1-й хід - зворотна мережева вода з температурою 70 °С мережевим насосом подається в нижній колектор переднього (фронтного) екрану, звідки піднімається трубами до проміжного колектора, і далі, пройшовши

									Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Атестаційна робота				

стояки і конвективні U-подібні пакети надходить у верхній колектор переднього (фронтового) екрану.

2-й хід - з крайніх точок верхнього колектора двома потоками по перепускним трубам вода переходить у верхні колектори лівого і правого бічних екранів, розподіляється по колекторах до заглушок(які стоять посередині колектора), звідки по ближній (щодо фронту котла) частини екранних труб опускається в нижні колектори.

3-й хід - з нижніх колекторів лівого та правого бічних екранів, вода піднімається по дальній частині труб у верхні колектори бічних екранів та розподіляється по колекторам після заглушок.

4-й хід - з верхніх колекторів бічних екранів, двома потоками по перепускних трубах, вода переходить у верхні колектори заднього екрану, проходить проміжний колектор, і далі, пройшовши стояки та конвективні U-подібні пакети секцій, опускається в нижній колектор екрана.

5-й хід - тепер замість тепломережі вода через два потоки в поду перетікає до нижнього колектора двосвітного екрану, який знаходиться в центрі топки, піднімається до верхнього колектора двосвітного екрану(який знаходиться під конвективними поверхнями), звідки нагріта вода йде у тепломережу.

Розрахунок теплообміну в топці з двома пальниками в поду та двосвітним екраном

Розрахуємо спочатку кількість теплоти, яку виробляє котел при роботі однієї половини котла.

Необхідні дані по витраті газу беремо з пункту 2.2.1.

Об'єм топки та повна поверхня стін беруться з технічних характеристик котла:

$$V_T = 54,5 \text{ м}^3,$$

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\text{ст}} = 56,29 \text{ м}^2,$$

Повна поверхня нагріву:

$$H_{\text{н}} = F_{\text{ст}} \cdot x, \text{ м}^2,$$

x – кутовий коефіцієнт екрану, визначається по Номограмі 1[2]; $x = 0,99$;

$$H_{\text{н}} = 55,73 \text{ м}^2;$$

Тепло, яке заноситься в топку повітрям:

$$Q_{\text{в}} = \alpha_{\text{т}} c_{\text{в}} t_{\text{в}} V^{\circ}, \text{ ккал/кг}$$

де $\alpha_{\text{т}}$ – коефіцієнт надлишку повітря в топці; $\alpha_{\text{т}} = 1,15$;

$c_{\text{в}}$ – теплоємність повітря, Мдж/(м³ · град); $c_{\text{в}} = 0,315 \text{ Мдж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$;

$t_{\text{в}}$ – температура повітря, яке входить в топку, °С; $t_{\text{в}} = 30^{\circ}\text{С}$;

V° – теоретично необхідна витрата повітря, нм³; $V^{\circ} = 10,15 \text{ нм}^3$;

$$Q_{\text{в}} = 1,15 \cdot 0,315 \cdot 30 \cdot 10,15 = 110,31 \text{ ккал/кг}$$

Корисне тепловиділення в топці:

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} \frac{100-q}{100} + Q_{\text{в}}, \text{ ккал/кг}$$

$$Q_{\text{т}} = 8447,5 \frac{100-1,5}{100} + 110,31 \text{ ккал/кг},$$

Дійсна температура газів на виході з топки, °С:

$$\vartheta''_{\text{т}} = \frac{T_{\text{а}}}{M \left(\frac{g_{\text{н т а}}}{10 \varphi_{\text{в п}} V c_{\text{ср}}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \text{ }^{\circ}\text{С}$$

$T_{\text{а}}$ – температура газів, яка була б при адіабатному згоранні, К;
величина $\vartheta_{\text{а}}$, °С, визначається по ентальпії газів $I_{\text{а}}$, яка приймається рівною $Q_{\text{т}}$.

M – розрахунковий коефіцієнт;

$x_{\text{г}}$ – відносний рівень розташування пальників;

$H_{\text{н}}$ – повна поверхня нагріву, м²;

$$V_T = 109 \text{ м}^3,$$

$$F_{CT} = 166,59 \text{ м}^2,$$

Повна поверхня нагріву:

$$H_H = F_{CT} \cdot x, \text{ м}^2,$$

x – кутовий коефіцієнт екрану, визначається по Номограмі 1[2]; $x = 0,99$;

$$H_H = 164,92 \text{ м}^2;$$

Тепло, яке заноситься в топку повітрям:

$$Q_B = \alpha_T c_B t_B V^\circ, \text{ ккал/кг}$$

де α_T – коефіцієнт надлишку повітря в топці; $\alpha_T = 1,15$;

c_B – теплоємність повітря, Мдж/(м³ · град); $c_B = 0,315 \text{ Мдж}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$;

t_B – температура повітря, яке входить в топку, °С; $t_B = 30^\circ\text{С}$;

V° – теоретично необхідна витрата повітря, нм³; $V^\circ = 10,15 \text{ нм}^3$;

$$Q_B = 1,15 \cdot 0,315 \cdot 30 \cdot 10,15 = 110,31 \text{ ккал/кг}$$

Корисне тепловиділення в топці:

$$Q_T = Q_H^p \frac{100-q}{100} + Q_B, \text{ ккал/кг}$$

$$Q_T = 8447,5 \frac{100-1,5}{100} + 110,31 \text{ ккал/кг},$$

Дійсна температура газів на виході з топки, °С:

$$\vartheta''_T = \frac{T_a}{M \left(\frac{4,9H_a T^3}{10 \varphi B_{\Pi} V c_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \text{ } ^\circ\text{С}$$

T_a – температура газів, яка була б при адіабатному згоранні, К;

величина ϑ_a , °С, визначається по ентальпії газів I_a , яка приймається рівною Q_T .

M – розрахунковий коефіцієнт;

x_H – відносний рівень розташування пальників;

H_H – повна поверхня нагріву, м²;

$V_{c_{cp}}$ – середня сумарна теплоємність продуктів згорання 1 кг палива в інтервалі температур $\vartheta_a - \vartheta''_T$, ккал/(кг · °С); $V_{c_{cp}} = 5,32$ ккал/(кг · °С);

$$x_T = H_T/h;$$

H_T – загальна висота топки, $H_T = 6,95$ м;

h - розташування осей пальників;

$$H_T = \frac{n_1 B_1 h_1 + n_2 B_2 h_2}{n_1 B_1 + n_2 B_2} = \frac{2 \cdot 1624 \cdot 1 + 2 \cdot 1624 \cdot 1}{4 \cdot 1624} = 1 \text{ м};$$

B – витрата палива на один пальник, кг/год; $B = 1624$ кг/год;

$M = 0,52 - 0,3X = 0,52 - 0,3 \cdot 1 = 0,51$; Приймаємо $M = 0,5$;

a_T - ступінь чорноти топки; $a_T = 0,7$;

Теоретична температура згорання палива, яка дорівнює Q_T , визначаємо по таблиці XIV [2]:

$$\vartheta_a = 1976 \text{ °С},$$

$$T_a = 2249 \text{ К}$$

Дійсна температура газів на виході з топки:

$$\vartheta''_T = \frac{2249}{0,5 \left(\frac{4,9 \cdot 164,92 \cdot 0,7 \cdot 2249^3}{10^8 \cdot 0,992 \cdot 6496 \cdot 5,32} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1026,3 \text{ °С}$$

$$T''_T = 1299 \text{ К}$$

По температурі на виході з топки визначаємо ентальпію:

$$I''_T = 4055 \text{ ккал/год}$$

Знаходимо тепло, передане радіацією в топці:

$$\vartheta_L = \varphi(Q_T - I''_T), \text{ ккал/год}$$

$$\vartheta_L = 0,992(8431,1 - 4055) = 4341,1 \text{ ккал/год}$$

Аналіз результатів розрахунків:

Отримані дані теплових розрахунків звелені до таблиці 3.1

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Атестаційна робота	Аркуш

Табл. 3.1

Назва величини	ПТВМ-50	ПТВМ-50-М (2 пальника)	ПТВМ-50-М (4 пальника)
$t''_T, ^\circ\text{C}$	1131	1345	1026
Q_L , ккал/кг	3877	2925	4341

З отриманих результатів можемо зрозуміти, що двосвітний екран дав очікуваний результат і теплова ефективність ПТВМ-50 зросла. Так як, при повній роботі реконструйованого котла тепло передане радіацією в топці Q_L збільшується, а температура на виході з топки t''_T зменшується, що свідчить про те, що котел поглинає більше тепла, а отже при таких самих характеристиках ПТВМ-50 видає кращий результат, що і є ціллю збільшення енергоефективності.

Також, при роботі реконструйованого котла з двома пальниками ми отримали менший забір тепла, що дає можливість використовувати котел при перепадах вихідних температур теплоносія. Це означає, що ми розширили діапазон температур котла ПТВМ-50, що і було ціллю нашого розрахунку.

***Аеродинамічний розрахунок котла з пальниками у поду
(Нормативний метод)***

Аеродинамічний розрахунок газового ходу з двома пальниками в поду та двосвітним екраном

Площа газоходу визначається за формулою:

$$F = ab - z_3 \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2$$

a – ширина газоходу; b – довжина газоходу; d_3 – зовнішній діаметр труб; z – кількість труб у пучку;

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_e} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ мм вод. ст.},$$

ρ – густина повітря при температурі ділянки, кг/м³; $\rho = 0,4135$;

$t=580,4$ °С

Коефіцієнт опору тертя λ залежить від відносної шорсткості стінок каналу і числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d_e}{\nu},$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu = 0,000015 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

d_e – еквівалентний діаметр, $d_e = \frac{2ab}{a+b}$, м.

$$d_e = 1,87 \text{ м}$$

$$Re = \frac{3 \cdot 1,87}{0,000015} = 373707$$

Так як, $Re \geq 4 \cdot 10^3$, то

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,2}{1,87} + \frac{68}{373707} \right)^{0,25} = 0,063$$

k – коеф шорсткості, для сталевих труб $k=0,2$;

Тоді, $h_{\text{тр}} = 0,063 \frac{6,95}{1,87} \cdot \frac{3^2}{2} 0,837 = 0,88$ мм вод. ст.

Місцевих опорів на ділянці 1 немає, тому

$$\Delta h = h_{\text{тр}} = 0,88 \text{ мм вод. ст.}$$

Визначаємо самотягу на Ділянці 1:

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ξ_0 – коефіцієнт опору, який відноситься до одного ряду пучка і залежить від відношень:

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d}, \sigma_2 = \frac{s_2}{d} \text{ і } \varphi = \frac{s_1 - d}{s_2 - d};$$

$$\sigma_1 = \frac{64}{28} = 2,29 \text{ мм}, \sigma_2 = \frac{198}{28} = 7,07 \text{ мм}, \varphi = \frac{64 - 28}{198 - 28} = 0,21$$

При $\sigma_1 \leq \sigma_2$ ($0,06 \leq \varphi \leq 1$)

$$\xi_0 = 2(\sigma_1 - 1)^{-0,5} \cdot Re^{-0,2}$$

$$\xi_0 = 0,19$$

$$\xi = 0,19 \cdot 64 = 12,3$$

$$\Delta h_{\text{поп}} = 12,3 \cdot \frac{3^2}{2} \cdot 0,4135 = 22,82 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\Delta h = 0,43 + 22,82 = 23,25 \text{ мм вод. ст.};$$

Визначаємо самотягу на Ділянці 2:

$$h_c = (12,245 - 8,95) \cdot 9,81 \cdot (1,205 - 0,4135) = 25,6 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\text{Тоді } \Delta H_{\text{п}} = 24,13 - 27,97 = -3,84 \text{ мм вод. ст.}$$

Аеродинамічний розрахунок газового ходу з чотирма пальниками у поду та двосвітним екраном

Площа газоходу визначається за формулою:

$$F = ab - z_3 \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2$$

a – ширина газоходу; b – довжина газоходу; d_3 – зовнішній діаметр труб; z – кількість труб у пучку;

$$F = 4,16 \cdot 4,18 - 264 \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} = 16,6 \text{ м}^2$$

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість потоку:

$$\omega_{\Gamma} = \frac{B_{\Pi} V_{\Gamma} (\vartheta + 273)}{273 F}, \text{ м/с}$$

V_{Γ} – об'єм димових газів, м³

$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{N_2}^{\circ} + V_{H_2O} + (\alpha - 1)V^0$, м³/кг; дані беремо з таблиці

XII[2];

$$V_{\Gamma} = 1,04 + 7,6 + 2,1 + (1,15 - 1) \cdot 9,52 = 12,168 \text{ м}^3/\text{кг}$$

ϑ – температура повітря, яке входить в топку, °C; $t_B = 30^{\circ}\text{C}$;

$$\omega_{\Gamma} = \frac{1,8 \cdot 12,17(30 + 273)}{273 \cdot 16,6} = 1,46 \text{ м/с}$$

Перепад повних тисків:

$$\Delta H_{\Pi} = \Delta h - h_c, \text{ мм вод. ст.}$$

h_c – самотяга, мм вод. ст.; $h_c = (z_2 - z_1)g(\rho_a - \rho)$;

Δh – опір ділянки, мм вод. ст.; $\Delta h = h_{\text{тр}} + h_M$;

Де, z_2 і z_1 – перепад висот кінцевого і початкового перетинів даного участка тракту;

ρ_a і ρ – густина атмосферного повітря і густина повітря в кінці ділянки.

Газохід складається з двох ділянок:

3 ділянка – від дна поду до дна конвективних поверхонь; $h=6,95$ м;

4 ділянка – від дна конвективних поверхонь до верху конвективних поверхонь; $h=3,295$ м.

Визначасмо Δh та h_c на 1 ділянці:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_e} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ мм вод. ст.},$$

ρ – густина повітря при температурі ділянки, кг/м^3 ; $\rho = 0,835$;

$t=30$ °C

Коефіцієнт опору тертя λ залежить від відносної шорсткості стінок каналу і числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d_e}{\nu},$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu = 0,000015 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

d_e – еквівалентний діаметр, $d_e = \frac{2ab}{a+b}$, м.

$$d_e = 1,91 \text{ м}$$

$$Re = \frac{3 \cdot 1,87}{0,000015} = 186853$$

Так як, $Re \geq 4 \cdot 10^3$, то

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{d_e} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,2}{1,91} + \frac{68}{186853} \right)^{0,25} = 0,063$$

k – коеф шорсткості, для сталевих труб $k=0,2$;

Тоді, $h_{\text{тр}} = 0,063 \frac{6,95}{1,91} \cdot \frac{1,87^2}{2} 0,837 = 0,2$ мм вод. ст.

Місцевих опорів на ділянці 1 немає, тому

$$\Delta h = h_{\text{тр}} = 0,2 \text{ мм вод. ст.}$$

Визначаємо самотягу на ділянці 1:

$$h_c = (8,95 - 2) \cdot 9,81 \cdot (1,205 - 1,17) = 2,39 \text{ мм вод. ст.};$$

Визначаємо Δh та h_c на 2 ділянці:

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d_e} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ мм вод. ст.};$$

Коефіцієнт опору тертя λ залежить від відносної шорсткості стінок каналу і числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d_e}{\nu},$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $\nu = 0,000086 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$, при температурі $t' = 580^\circ\text{C}$;

d_e – еквівалентний діаметр, $d_e = \frac{2ab}{a+b}$, м.

$$d_e = 1,91 \text{ м}$$

$$Re = \frac{1,46 \cdot 1,91}{0,000086} = 32591$$

Так як, $Re \geq 4 \cdot 10^3$, то

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,2}{1,91} + \frac{68}{32591} \right)^{0,25} = 0,063$$

$$\text{Тоді, } h_{\text{тр}} = 0,063 \frac{6,95}{1,91} \cdot \frac{1,46^2}{2} 0,4135 = 0,1 \text{ мм вод. ст.};$$

Визначасмо місцевий опір на ділянці 2 (опір поперечно омиваючих пучків труб):

$$\Delta h_{\text{поп}} = \xi \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ мм вод. ст.};$$

ξ – коефіцієнт опору, $\xi = \xi_0 \cdot z_2$;

z_2 – кількість рядів труб по глибині пучка, м; $z_2 = 64$

ξ_0 – коефіцієнт опору, який відноситься до одного ряду пучка і залежить від відношень:

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_1 = \frac{s_1}{d}, \sigma_2 = \frac{s_2}{d} \quad i \quad \varphi = \frac{s_1 - d}{s_2 - d};$$

$$\sigma_1 = \frac{64}{28} = 2,29 \text{ мм}, \sigma_2 = \frac{198}{28} = 7,07 \text{ мм}, \varphi = \frac{64 - 28}{198 - 28} = 0,21$$

При $\sigma_1 \leq \sigma_2$ ($0,06 \leq \varphi \leq 1$)

$$\xi_0 = 2(\sigma_1 - 1)^{-0,5} \cdot Re^{-0,2}$$

$$\xi_0 = 0,22$$

$$\xi = 0,22 \cdot 64 = 14,13$$

$$\Delta h_{\text{поп}} = 14,13 \cdot \frac{1,46^2}{2} \cdot 0,4135 = 6,26 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\Delta h = 0,1 + 6,26 = 6,36 \text{ мм вод. ст.};$$

Визначаємо самотягу на Ділянці 2:

$$h_c = (12,245 - 8,95) \cdot 9,81 \cdot (1,205 - 0,4135) = 25,6 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\Sigma h_c = 2,39 + 25,6 = 27,97 \text{ мм вод. ст}$$

$$\text{Тоді } \Delta H_{\text{п}} = 6,36 - 27,97 = -21,4 \text{ мм вод. ст}$$

Аналіз результатів розрахунків:

Отримані дані аеродинамічних розрахунків звелені до таблиці 4.1

Табл. 4.1

Назва величини	ПТВМ-50	ПТВМ-50-М (2 пальника)	ПТВМ-50-М (4 пальника)
$\Delta h =$	6,57	24,13	6,57
$h_c =$	27,97	27,97	27,97
$\Delta H_{\text{п}} =$	-21,40	-3,84	-21,40

З отриманих результатів можемо зрозуміти, що при зменшенні площі газозоду збільшується швидкість потоку у внутрішній частині котла, а це

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

веде до збільшення втрат тиску на тертя, що в свою чергу зменшує силу самотяги і може завадити нормальній роботі котла на природній тязі.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплекс технічних засобів автоматизації 4-х пальників водогрійного котлоагрегату ПТВМ

Технологічним об'єктом автоматизації є водогрійний котел баштового типу ПТВМ-50 на газу. До складу модернізованого котлоагрегату входять 4 пальники, з яких одночасно можуть працювати або 2 або всі 4 пальники.

У зв'язку з моральним та фізичним старінням існуючого обладнання та модернізацією котлоагрегату виникла необхідність встановлення нової автоматики, включаючи датчики, виконавчі механізми (заслінки, газові клапани, пальники), силові та сигнальні кабелі, шафи управління. Для керування електричними двигунами вентиляторів було передбачено встановлення частотних перетворювачів.

Основними вимогами до комплексу технічних засобів управління (КТСА), що розробляється, були такі:

- Реалізація автоматики безпеки котла за основними технологічними параметрами відповідно до усіх вимог;
- забезпечення автоматичного пуску та зупинки котла;
- здійснення двох режимів роботи котла (при 2-х та 4-х одночасно працюючих пальниках);
- автоматичне підтримання технологічних параметрів роботи котла відповідно до режимної картки;
- контроль та оптимізація процесу згорання палива;
- реєстрація основних технологічних параметрів роботи котла з можливістю перегляду їхнього обслуговуючого персоналу.

Структура та функціональна схема КТСА шафи управління котлоагрегату.

Як обчислювальні пристрої та пристрої відображення інформації КТСА було використано обладнання фірми SIEMENS.

Функціональна схема КТСА представлена рис. 1.

					Атестаційна робота	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



До складу шафи автоматики входить таке обладнання:

- мікроконтролер CPU314 серії S7-300 (SIEMENS) з набором модулів дискретного та аналогового введення-виводу;
- кольорова сенсорна панель оператора MP277 10 дюймів (SIEMENS)
- реєстратор SIREC D200 (SIEMENS);
- супутнє електротехнічне обладнання (реле, автомати захисту, блоки живлення тощо);

Мікроконтролер з'єднується з панеллю управління мережею MPI. Панель керування служить для перегляду та зміни параметрів роботи котла (включаючи параметри автоматики безпеки), перегляду поточного стану котла за допомогою мнемосхеми, для відображення аварійних повідомлень.

Мікроконтролер здійснює управління виконавчими механізмами, збирає інформацію від датчиків.

Реєстратор використовується для архівування технологічних параметрів на USB Flash носій.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

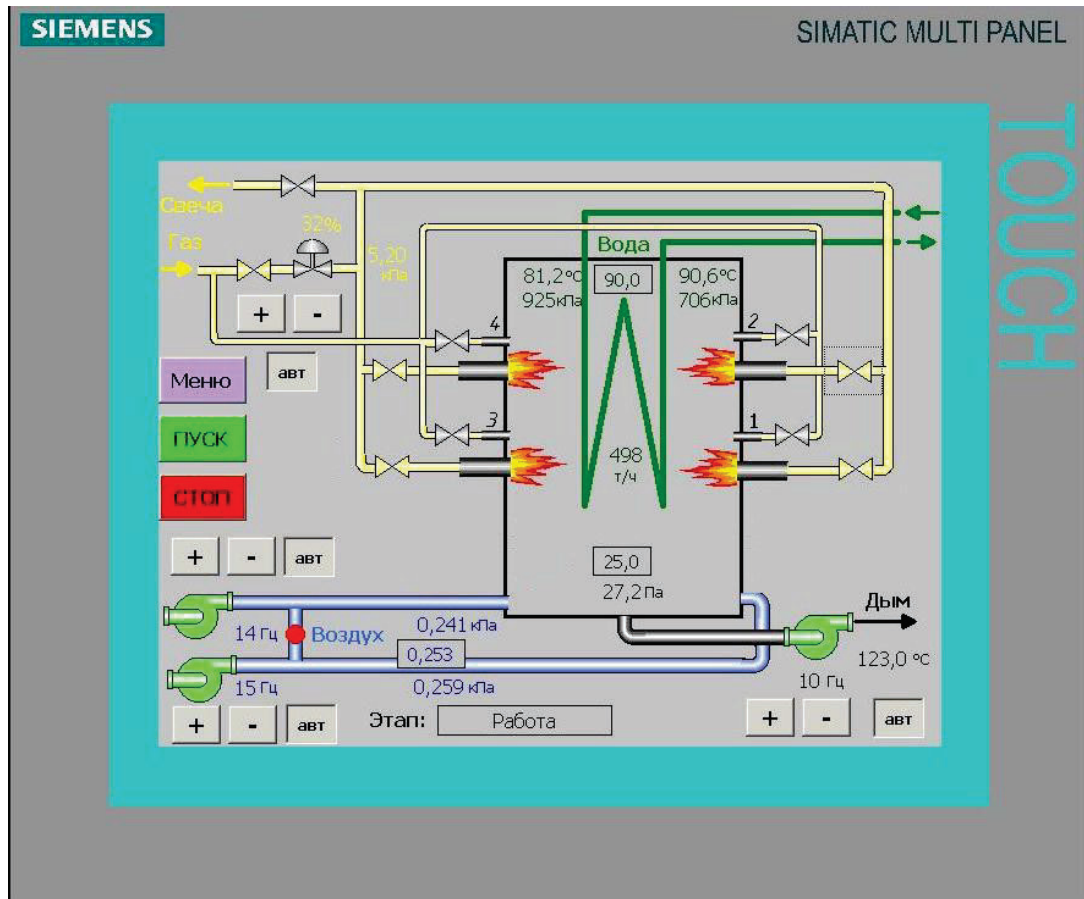


Рис.2 Мнемосхема котла ПТВМ-50

Функції КТСА

КТСА передбачає керування обладнанням котла в автоматичному (без втручання обслуговуючого персоналу) та ручному режимах.

КТСА котла виконує такі функції:

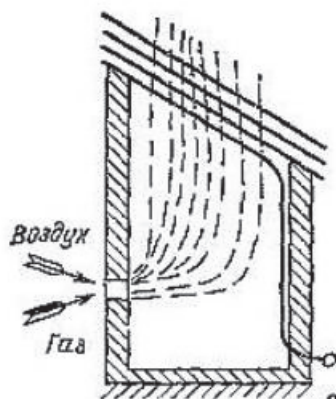
- автоматичний пуск та зупинка котла;
- автоматичне регулювання продуктивності;
- управління роботою вентиляторів;
- контроль параметрів роботи котлів (тиск, температура води, розрядження в топці); сигналізація при аварійних ситуаціях;
- підтримка співвідношення «газ-повітря» відповідно до режимної картки;
- блокування роботи котла під час спрацювання автоматики безпеки;
- автоматичне регулювання концентрації CO у димових газах та оптимізація процесу згоряння палива;
- ведення архівів основних технологічних параметрів роботи котла.

Газове обладнання ПТВМ

Спалювання газу спільно з іншими видами палива при нестачі газоподібного палива, а також при аварійному припиненні його подачі котли повинні переходити на резервне паливо – мазут чи вугілля. Перехід з одного виду палива на інше має проводитися без припинення роботи установки, тому відбувається спалювання газу спільно з іншими видами палива.

Розташування на топці ряду автономних газових та мазутних пальників призводить до значного ускладнення паливних та повітряних комунікацій та ускладнює експлуатацію. Крім того, для захисту від обгорання непрацюючих пальників через їх амбразури доводиться подавати повітря, що погіршує повітряний режим у топці. У зв'язку з цим застосовуються комбіновані газомазутні пальники. Ці пальники розроблені на основі перевіреної практикою газового пальника, в яку вбудовується мазутна форсунка. За наявності резервного палива та комбінованих пальників спалювання різних палив здійснюють окремо.

Встановлено, що спалювання газу спільно з іншими видами палива призводить до збільшення втрат теплоти від хімічного та механічного недопалу, що пов'язано, зокрема, зі зниженням концентрації окислювача у зоні горіння палива. При спалюванні тільки природного газу або разом з рідким паливом, камера має контури, показані на рис. 7.1.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Атестаційна робота

Аркуш

Рис. 7.1. Схема топочної камери при спалюванні газу

Призначенням пальника, крім введення в топку необхідних для досягнення заданої продуктивності агрегату кількостей газу та окислювача, також є організація сумішоутворення та створення у її гирла стійкого фронту займання для запалення виходу з пальника газової суміші. Для спалювання газів застосовується велика кількість різних типів пальників, що відрізняються як за принципом роботи, так і за конструктивним оформленням.

Газоподібне паливо може застосовуватись для котлів будь-якої потужності. Загальна продуктивність усіх пальників має забезпечувати повну теплову потужність установки, тобто відповідати розрахунковій витраті палива із запасом 10–20 %. Зі збільшенням кількості пальників їх одинична продуктивність зменшується. При цьому з'являється можливість більш плавного регулювання продуктивності установки шляхом відключення окремих пальників. Водночас ускладнюються повітряні та газові комунікації та дещо ускладнюється експлуатація агрегату.

Пальники котла ПТВМ-50 поділені на чотири групи. Група пальників складаються з одного пальника і двох основних пальників. Розпалювальний пальник оснащений датчиком контролю факела та захисно-запальним пристроєм (ЗЗП). Інші пальники спалахують від розпалювального пальника. Контроль факела основних пальників ведеться по пальнику. Розташування та нумерація пальників котла представлено на рис.7.2.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

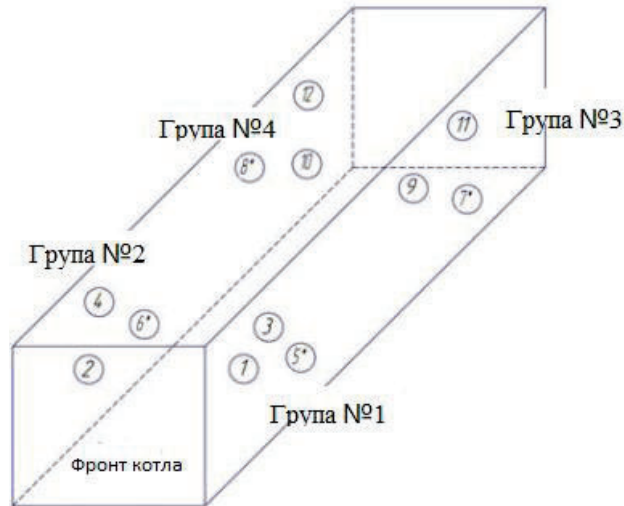


Рис.7.2. Розташування пальників котла: група №1 – пальники 1,3,5; група №2 – пальники 2,4,6; група №3 – пальники 7,9,10; група №4 – пальники 8,10,12.

Система керування нижнього рівня складається з блоку газоустаткування (БГ). Блок газоустаткування забезпечує подачу газу на групу пальників та припинення подачі у разі виникнення аварійної ситуації.

Розглянемо систему газопостачання. Схема газопроводів котла наведено рис. 7.3.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

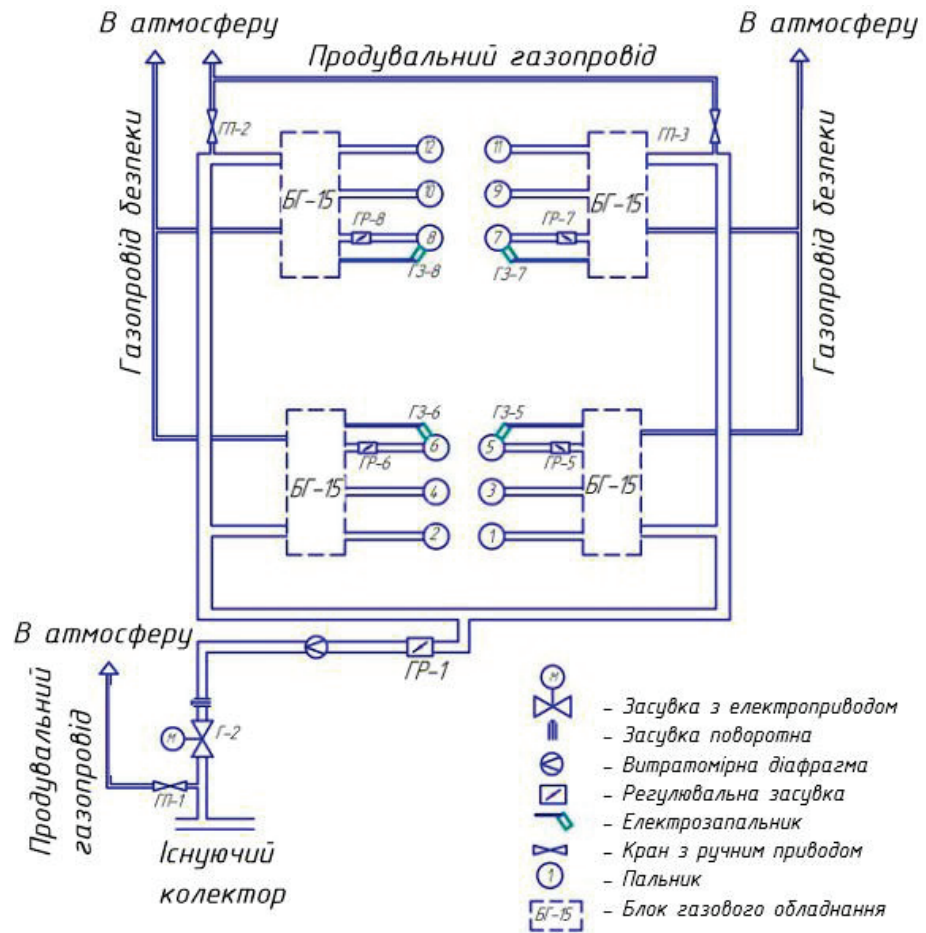
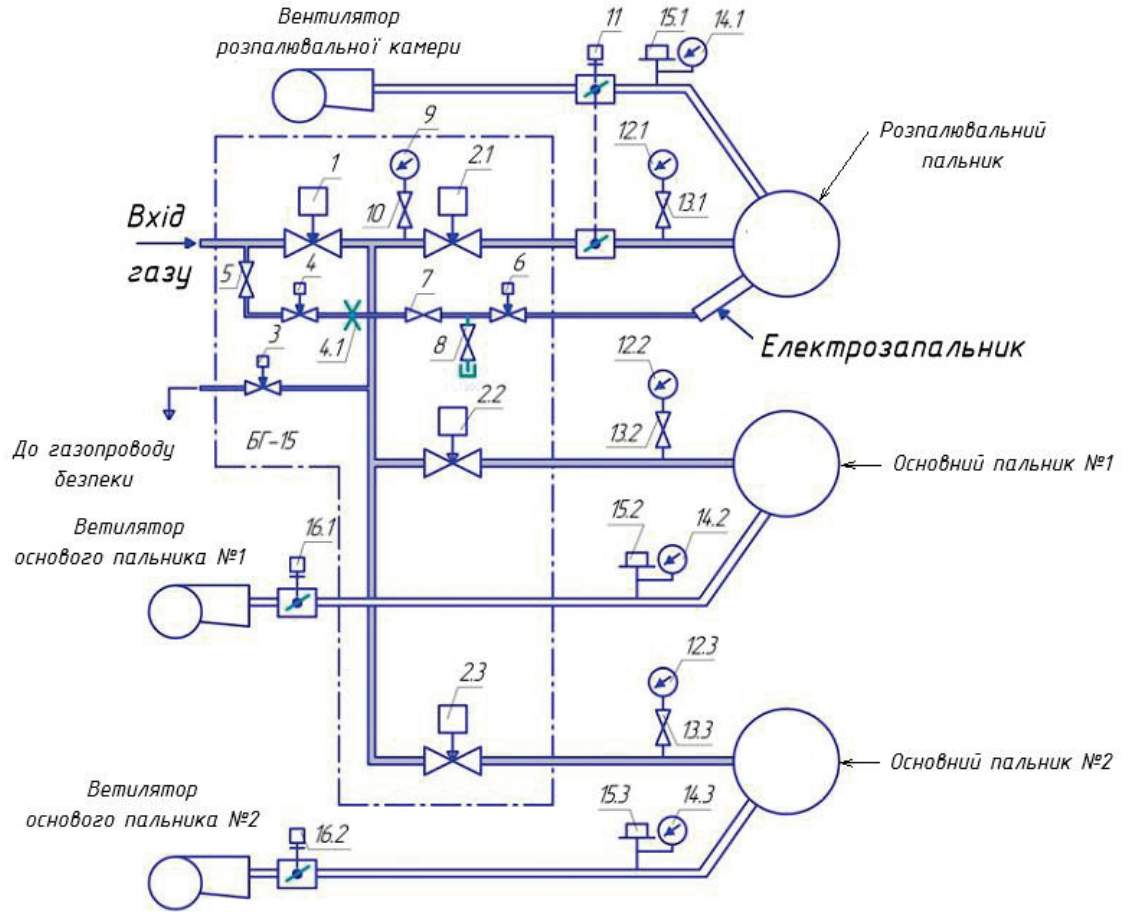


Рис.7.3. Схема газопроводів котла ПТВМ-50

На газопроводі відведено від існуючого колектора котлу послідовно по ходу газу встановлені: засувка з електрифікованим приводом, пов'язана з блокуваннями та захистами котла; поворотна заглушка (кільце); діафрагма вимірювальна; засувка регулююча. Далі на підведенні газу до пальників встановлені блоки газоустаткування.

Підведення та розподіл газу до кожної групи пальників забезпечується відповідним газовим блоком БГ. Схема газових блоків показана на малюнку 5. Загальне розведення газу до запальників у схемі відсутнє, оскільки підведення газу до них виконано в газових блоках. Розпалювальні пальникиоснащені газовими заслінками. У таблиці 7.1 представлено

обладнання та його призначення у схемі підведення газу та повітря до групи пальників.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Атестаційна робота

Аркуш

Табл. 7.1

	Обладнання	Назва
1	Клапан-засувка $d_u=150$ мм	Миттєве відсікання газу від пальника при аварійній ситуації
2.1		
2.2		
2.3		
3	Клапан електромашнітний нормально закритий ("НО") $d_u=20$ мм	З'єднання простору між клапанами-засувками блока з атмосферою рип відключенні блока
4	Клапан електромашнітний нормально закритий ("НЗ") $d_u=20$ мм	Подача газу для пресування блока (перевірка герметичності)
4.1	Дросель $\approx 2,5$ мм	
5	Кран кульовий $d_u=15$ мм	Ручне відключення лінії пресовки
6	Клапан електромашнітний нормально закритий ("НЗ") $d_u=20$ мм	Подача до запальника
7	Кран кульовий $d_u=15$ мм	Ручне відключення лінії запальника
8	Кран кульовий $d_u=15$ мм	Підключення балонного газу
9	Манометр контактний ДМ2010Сг, 0... кПа	Забезпечення пресування відсічних клапанів ,контроль по місцю мінімального і максимального пресових тисків газу в міжклапанному просторі
10	Клапан для манометра КМ 10-01	Відключення приборів
11	Виконавчий механізм, для засувок газу і повітря розпалювального пальника	Плавний розпал і виведення пальника на номінальну потужність
12.1	Напоромір НПМ-100-М1	Показники тиску газу перед пальниками
12.2		
12.3		

Аркуш

Атестаційна робота

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

Продовження табл. 7.1.

13.1	Кран кульовий $du=10$ мм	Відключення приборів
13.2		
13.3		
14.1	Напоромір НПМ-52-М2	Показники тиску повітря перед пальником
14.2		
14.3		
15.1	Датчик-реле тиску ДН-2,5	Контроль номінального повітря перед пальником
15.2		
15.3		
16.1	Виконавчий механізм, для засувки повітря основного пальника	Зупинка подачі повітря при відключенні пальника
16.2		

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологія монтажних робіт

8.1 Монтаж водогрійних котлів проводиться спеціалізованими монтажними організаціями. Монтажна організація розробляє проект виконання робіт, який визначає технологічну послідовність монтажу, використовувані підйомні засоби та механізми, трудовитрати, вказівки заходів безпеки. З метою виконання основного завдання монтажних робіт – скорочення термінів монтажу при високій якості їх виконання, необхідно проводити монтажні роботи за максимально можливого ступеня укрупнення блоків і виробів, що монтуються. Пропонований нижче один із варіантів проведення монтажу не є обов'язковим, і може змінюватись залежно від конкретних умов.

8.2. Перевірте правильність розташування фундаменту щодо поздовжньої та поперечної осі будівлі, правильність розташування опорних місць під стійки каркасу та їх висотних позначок. Відхилення фактичних розмірів фундаменту не повинні перевищувати:

- а) відхилення осей від проектного положення ± 10 мм;
- б) відхилення висотних позначок ± 20 мм;
- в) різницю діагональних розмірів ± 20 мм.

8.3 Монтаж каркасу, поверхонь нагріву, сходів та майданчиків необхідно робити укрупненими блоками. Укрупнення елементів виконуйте на спеціальних стелажах, що виключають деформацію при складанні конструкцій, що збираються.

8.4. При необхідності зрізати деталі упаковки та транспортування. Контроль місць зрізування провести при гідровипробуваннях.

8.5. Каркас являє собою жорстку просторову раму з 4 колон і балок, що їх зв'язують, з розкосами і стійками. Встановіть бічні та задню стіни каркасу, залийте цементним розчином опори колон та стійок.

					Атестаційна робота	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

До повного затвердіння розчину роботи на каркасі виконувати забороняється.

8.6. Після монтажу бічних і задніх стін каркаса починайте встановлювати всередину блоки поверхонь нагріву в наступному порядку: задній екран, бічні екрани, фронтний екран, змонтувати двосвітний екран.

Після встановлення екранних блоків, на верхніх камерах фронтного та заднього екранів встановіть блоки конвективної частини. При монтажі зверніть увагу на шахове розташування змійовиків.

8.7. Після зведення конвективної частини встановіть стельові балки верхнього перекриття каркасу та підвісьте верхні колектори конвективної частини. Під час монтажу та експлуатації необхідно контролювати величину натягу підвісок котла з метою рівномірного розподілу навантаження між підвісками.

8.8. Величина навантаження підвіски визначається за допомогою вимірювання моменту затягування гайки за допомогою динамометричного ключа або іншим способом.

Розрахунковий момент затяжки визначається за такою формулою:

$$M_{зат} = K \times 10^{-4} \times P \times d,$$

K – коефіцієнт шорсткості поверхні. Визначається в межах від 0,85 для відшліфованих та змащених поверхонь, до 4,3 для грубих та заіржавілих.

P – навантаження на підвіску, Н

d – діаметр різьблення, мм

M_{зат} - момент затягування, Н · м

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові значення навантажень на підвіски та моментів затягування під час монтажу (навантаження лише від трубої системи) та в стані експлуатації наведені в табл 8.1.

Величина	Одиниця вимірювання	ПТВМ-50
Кількість підвісок	шт.	14
Навантаження на підвіску при монтажі	Н	30000
Навантаження на підвіску при експлуатації	Н	61000
Момент затяжки при монтажі	Нхм	252
Момент затяжки при експлуатації	Нхм	512

Табл. 8.1

8.9. Порядок затягування підвісок котла:

а) виміряти момент затягування всіх підвісок котла, для цього необхідно видалити контргайки, потім за допомогою динамометричного ключа відвернути гайку на $\frac{1}{4}$ повороту і повернути її в початкове положення, при цьому поміривши момент затяжки для кожної підвіски (M_1, M_2, \dots, M_n).

б) розрахувати середній момент затягування підвісок

$$M_{ср} = \frac{(M_1 + M_2 + \dots + M_n)}{n}$$

в) затягнути підвіски котла відповідно до отриманого результату $M_{ср}$

г) повторити виміри. Момент затягування підвісок котла не повинен відрізнятись від середнього розрахункового значення більш ніж на 5%.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Примітка 1. Для котлів, що знову монтуються, зтяжку підвісок виконати після монтажу та вивірки висотних позначок трубної системи. Після приведення котла в експлуатаційний стан повторити операцію.

Примітка 2. Для котлів, що знаходяться в експлуатації, перед початком вимірювань необхідно всі елементи різьбових з'єднань очистити від бруду та іржі та змастити.

Примітка 3. Перевірку моменту зтягування підвісок слід проводити при кожному капітальному ремонті.

8.10. Змонтуйте трубопроводи в межах котла, дренажні та повітряні трубопроводи, дренажні труби для збирання та видалення конденсату з димової труби відповідно до вказівок у технічній документації. Трасування та кріплення дренажних ліній виконати за місцем. Перед приварювання труб різьблення на штуцерах видалити.

8.11. Обмуровка котла проводиться після завершення всіх зварювальних робіт на трубній системі котла та пред'явлення інспектору для гідравлічних випробувань. За погодженням з інспектора допускається виконання обмуровки до гідравлічного випробування, при цьому монтажні шви повинні залишатися чистими для подальшого контролю їх при гідравлічному випробуванні.

8.12. Встановіть опори, попередньо приваривши до них стійки, поручні та смуги огорожі. Кронштейни та опори під майданчики порівняйте по висоті та горизонталям. Встановіть сходи із привареними до них огорожами. Відхилення дійсних розмірів сходів та майданчиків від проектних не повинні перевищувати допустимих величин, зазначених у табл. 7.2.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Величина	Допустиме відхилення, мм	Чим вимірюється
1. Відхилення відміток опор	±10	Гідрорівнем, металевою рулеткою
2. Відхилення площини сходинок по-горизонталі	±3	-//-
3. Стріла прогину сходинок і її площини	2 на 1п.м., але не більше 5	-//-
Виліт сходів	±5	Металевою рулеткою

Табл. 8.2

8.13. При монтажі пальникових пристроїв використовувати рекомендації дані в «Горелка газомазутная рециркуляционная типа ГМГР Руководство по эксплуатации» 011-15.ГМГР-6.00.00.00 РЭ

8.14. Змонтуйте газовий короб і встановіть на верхні колектори котла.

8.15. Далі зробіть монтаж лінзового компенсатора, короба шумоглушника з опорною фермою. Всередині короба встановіть глушник шуму газового тракту. Потім встановіть шибер, перехід на димову трубу та димову трубу із опорним каркасом. Монтаж димаря з каркасом, основами огорож і світловою сигналізацією виконувати відповідно до документації, що додається до неї.

8.16. Відповідно до документації котла та проекту встановіть закладні елементи та зробіть монтаж приладів:

- приладів контролю загального факела у топці;
- відбірний пристрою розрідження на виході з топки;
- на виході котла: газозабірний зонд, відбірний пристрій розрідження, арматуру для вимірювання температури.

8.17. Змонтуйте газопроводи згідно проекту.

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.18. Для спостереження за розширеннями котла встановіть репера в місцях, зручних для обслуговування (Див. рис. 8.1).

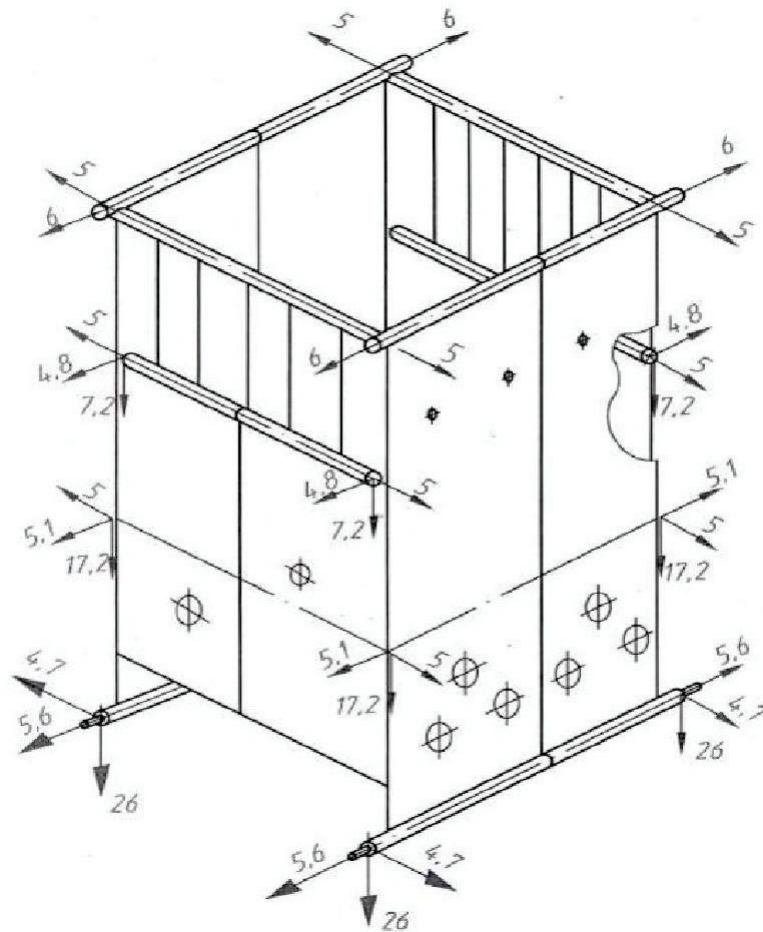


Рис. 8.1 Схема теплових розширень котла ПТВМ-50

8.19. Змонтуйте дренажні та повітряні лінії. Арматуру встановлюйте у місцях, зручних для обслуговування.

8.20. Монтаж газоімпульсного очищення ведіть відповідно до керівництвом А-32130 РЭ «Устройство газоимпульсной очистки».

8.21. Змонтуйте металоконструкції котла.

8.22. Встановіть гарнітуру (віконця, лази тощо) котла.

8.23. Контроль якості монтажу котла має бути підтверджено посвідченням про якість монтажу. Посвідчення якості монтажу складається організацією, яка

									Аркуш	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Атестаційна робота					

робила монтаж, підписується керівником цієї організації, а також керівником експлуатуючої організації та є невід'ємною частиною документації котла.

8.24. Обмуровочні та ізоляційні роботи котла ведуться згідно «Инструкции по производству обмуровочных работ» А-22910 И.

8.25. Пусконаладжувальні роботи проводять після закінчення монтажних робіт з оформленням посвідчення про якість монтажу та проведення первинного технічного огляду.

8.26. При проведенні гідровипробування звернути особливу увагу на реакції конвективної частини, так як дані елементи найбільш уразливі (пропалювання, деформація) під час виконання монтажних работ.

8.27. Налагодження котла має бути виконане за програмою, розробленою на початок виконання робіт. Програму розробляє організація, яка виконує роботи. Ця програма має бути узгоджена з експлуатуючою організацією. У програмі мають бути відображені зміст та порядок виконання всіх технологічних та контрольних операцій з забезпечення налагодження на всіх режимах роботи, встановлених проектом.

8.28. При налагодженні має бути застосована система контролю якості, що забезпечує виконання робіт відповідно до програми.

8.29. Тривалість проведення налагоджувальних робіт визначається програмою в залежності від складності обладнання. Пуск обладнання для проведення пусконаладжувальних робіт здійснюється у порядку, встановленому програмою спільно експлуатуючою організацією та налагоджувальною організацією після перевірки:

а) наявності та справності контрольно-вимірювальних приладів, приладів безпеки та сигналізації, передбачених вимогами технічних регламентів, проекту;

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) наявності навченого обслуговуючого персоналу, який пройшов перевірку знань та атестованих фахівців;

в) наявності на робочих місцях затверджених виробничих інструкцій та необхідної експлуатаційної документації;

г) справності живильних приладів та забезпечення необхідного якості живильної води (для казанів);

д) правильності включення котла до загального трубопроводу, а також підключення поживних продувних та дренажних ліній;

е) акта приймання обладнання паливоподачі;

ж) завершення всіх монтажних робіт, що перешкоджають проведенню налагодження.

8.30. У період налагоджувальних робіт на устаткуванні під тиском відповідальність за безпеку його обслуговування має бути визначена програмою налагоджувальних робіт.

6.31. При налагоджувальних роботах проводять:

а) промивання та продування обладнання та трубопроводів;

б) випробування обладнання, налагодження циркуляції робочих середовищ, перевірку роботи запірної арматури та регулюючих пристроїв у ручному режимі;

в) перевірку вимірювальних приладів, налаштування та перевірку працездатності систем автоматизації, сигналізації, захисту, блокування, управління, а також регулювання запобіжних клапанів;

г) відпрацювання та стабілізацію технологічного режиму, аналіз якісних показників технологічного режиму;

					Атестаційна робота	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

д) виведення технологічного процесу на стійкий режим роботи з продуктивністю, що відповідає проектним вимогам;

е) проводять налаштування режиму горіння та налагодження водно-хімічного режиму.

8.22. Після закінчення налагоджувальних робіт проводять комплексне випробування котла, а також допоміжного обладнання при номінальному навантаженні по програмі комплексного випробування, розробленої організацією, що проводить роботи, та погодженої з експлуатуючою організацією. Початок і кінець комплексного випробування встановлюється спільним наказом експлуатуючої організації та організації, що проводить налагоджувальні роботи. Комплексне випробування проводять протягом 72 годин.

Закінчення комплексного випробування оформляють актом, що фіксує здавання обладнання в експлуатацію. З актом мають бути подані технічний звіт про налагоджувальні роботи з таблицями та інструкціями, режимними картами, графіками та іншими матеріалами, що відображають встановлені та фактично отримані дані щодо налаштування та регулювання пристроїв, описи та креслення всіх змін, якщо вони були на стадії налагодження.

					Атестаційна робота	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ

Календарне планування виконання робіт

Під календарним планом розуміють проектно-технологічний документ, яким встановлюються послідовність, інтенсивність та строки виробництва робіт, а також потребу в ресурсах. Кінцевим результатом календарного планування являється складання розкладу (графіка) плануючих робіт для виконавців будівельних організацій, бригад, змін, що визначають календарні строки початку та закінчення їх виконання, також виявлення кількості потрібних в проміжок часу матеріалів (труб, конструкцій та ін.) і технічних (машин, механізмів) ресурсів.

Головною задачею календарного планування являється складання такого розкладу робіт (календарного плану), який був би оптимальним по прийнятому критерію його оцінки та одностроково задовольнив би межі, що враховують реальні умови виробництва.

Порядок розробки календарного плану такий: визначають перелік і об'єм робіт, які необхідно виконати для зведення даного об'єкта, методи виконання кожного виду робіт і вибирають необхідні будівельні машини і механізми; розраховують у людино-днях і машино-змінах трудомісткість робіт; встановлюють змінність робіт; виявляють технологічну послідовність і тривалість кожної з робіт, визначають склад бригад (ланок); а потім складають праву частину плану і за необхідності коригують календарний план за термінами чи за ресурсами.

Шифр роботи (гр.1) відповідає шифру цієї ж роботи за сітьовим графіком, тому ця графа заповнюється після побудови та оптимізації сітьової моделі.

Перелік робіт (гр.2) складають у технологічній послідовності їхнього виконання. При цьому окремі дрібні суміжні роботи згруповують, а їхню трудомісткість підсумовують і показують у гр.8 чи в гр.9 одним рядком. Не слід поєднувати роботи, що виконують різні виконавці.

Трудомісткість робіт і витрати машинного часу розраховують за нормативними витратами часу на виконання кожної роботи з урахуванням

можливого росту продуктивності праці. Норми часу на виконання окремих будівельно-монтажних робіт наведені у відповідних збірниках ресурсних

елементних норм ДБН Д.2.2. (дод. 5, 6). Мінімальний склад бригади чи ланки для виконання окремої роботи можна прийняти за дод. 7 [14], а необхідна кількість робітників (гр. 11) приймається залежно від необхідної тривалості виконання даної роботи.

Норми часу на виконання будівельних і монтажних робіт приймають за збірниками єдиних норм часу та розцінок (ЕНиР), які є більш детальними порівняно з ДБН.

Графік робіт (гр.14) являє собою лінійне зображення технологічного процесу монтажу систем. Кожній роботі відповідає лінія, довжина якої відповідає тривалості виконання даного процесу. При роботі в дві зміни показують дві паралельні лінії. Над лініями вказують кількість робітників, залучених до виконання робіт.

Побудова сіткового графіка

Елементами комплексу робіт, зображеного сітьовим графіком, є роботи і події. Робота – це трудовий процес, у якому беруть участь люди, машини, механізми (монтаж трубопроводів, повітропроводів, устаткування, випробування й ін.) чи процес очікування, тобто технологічна чи організаційна перерва (твердіння бетонного фундаменту під вентобладнання чи насоси, сушіння пофарбованих поверхонь, час витримки при випробуваннях трубопроводів, переїзд бригад робітників з одного об'єкта на інший). Робота, як трудовий процес, вимагає витрат часу і ресурсів, як очікування – тільки часу. Зображують роботу суцільною лінією зі стрілкою в напрямку послідовності технологічних процесів. Над лінією вказують найменування роботи, під лінією – тривалість виконання роботи, інші необхідні дані.

Для відображення правильного взаємозв'язку робіт при побудові сітьового графіка вводять поняття фіктивна робота (залежність), що означає залежність початку однієї роботи від закінчення іншої. Фіктивна робота чи залежність не вимагає затрат часу і ресурсів. Зображують її на графіку пунктирною лінією зі стрілкою. Лінії, що зображують на графіку роботи, можуть бути як прямими, так і ламаними без масштабу. Роботи на графіку розташовують у напрямку зліва направо у порядку, що характеризує технологічну послідовність виконання робіт у

виробничому процесі.

Подія – це факт закінчення однієї чи декількох робіт, необхідний і достатній для початку наступних робіт. На сітьових графіках є події, що не мають безпосередньо попередніх чи безпосередньо наступних робіт. Такими подіями є *вихідні* та *завершальні*. Події зображують на графіку кружками, цифра в кружку означає номер події.

Шифр роботи визначають двома цифрами, що позначають номер початкової і кінцевої події даної роботи.

Побудова графіків зміни чисельності робітників на об'єкті

1. Опалення;

Коефіцієнт зміни чисельності робітників на об'єкті:

$$K = \frac{n_{\max}}{n_{\text{сер}}} = \frac{n_{\max}}{\frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + n_3 \cdot t_3 + n_4 \cdot t_4 + n_5 \cdot t_5 + n_6 \cdot t_6 + n_7 \cdot t_7}{T}} =$$
$$= \frac{9}{\frac{6 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 9 \cdot 4 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2}{15}} = 1,3$$

Де, n_{\max} - максимальне число робітників, чол.

$n_{\text{сер}}$ - середня кількість робітників, чол.

t - час виконання роботи, днів.

2. Вентиляція:

Коефіцієнт зміни чисельності робітників на об'єкті:

$$K = \frac{n_{\max}}{n_{\text{сер}}} = \frac{n_{\max}}{\frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2}{T}} = \frac{7}{\frac{2 \cdot 2 + 7 \cdot 4}{6}} = 1,2$$

5. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА РЕКОНСТРУКЦІЇ КОТЛІВ

5.1. Існуючий стан

Котли серій КВГМ та ПТВМ, що знаходяться в експлуатації, характеризуються високими значеннями питомих викидів основних забруднювачів атмосферного повітря – оксидів азоту NO_x та оксиду вуглецю CO , особливо NO_x , про що свідчать режимні карти (дивись додаток).

Викиди оксидів азоту в залежності від стану котла та кваліфікації обслуговуючого персоналу для котлів даних типів знаходяться в межах 320 мг/м^3 в продуктах згоряння. З концентрацією оксидів вуглецю ситуація трохи краща – значення CO знаходяться в межах 150 мг/м^3 .

Єдиний діючий сьогодні в Україні нормативний документ, який регламентує допустимі концентрації викидів від котлів – це ГОСТ «Горелки газовые промышленные». Згідно з цим документом, допустимі концентрації NO_x в продуктах згоряння газових пальників обмежуються значеннями 250 мг/м^3 , а CO – 150 мг/м^3 . Вочевидь, що за рахунок заходів з налагодження котлів можна підтримувати викиди CO в нормативних межах, а от викиди NO_x довести навіть до діючих сьогодні вимог за рахунок лише налагодження не вдасться.

Високі значення викидів NO_x від котлів серій ТВГМ та ПТВМ пояснюються конструкцією цих котлів, недоліки яких були описані вище в пп. 1.1.4. та 1.1.6.

Для котлів серії КВГМ великі викиди NO_x пояснюються великими тепловими напруженнями топки та застарілою конструкцією пальників.

Згідно «Національного плану скорочення викидів від великих спалювальних установок» починаючи з 2017 року для котлів великої потужності вимоги до кількості викидів стають значно жорсткішими. Для NO_x максимально допустима концентрація знижується до 100 мг/м^3 . При існуючій конструкції котлів зі штатними пальниками досягнути цього не можливо.

5.2. Відомий досвід реконструкції

Найбільший досвід реконструкції котлів серії ПТВМ є в Федеративній Республіці Німеччина. На території колишньої Німецької Демократичної Республіки експлуатувалися котли серії ПТВМ. Після об'єднання обох німецьких держав екологічні показники і ккд цих котлів не відповідали нормативним вимогам, що діяли у Федеративній Республіці Німеччина на той час. Оскільки міняти ці котли на нові виявилось занадто дорого, було прийнято рішення замінити пальники та системи автоматичного управління. Така робота була проведена в середині дев'яностих років. Викиди оксидів азоту було знижено до рівня 150 мг/м^3 – тодішня європейська норма. При цьому кількість пальників була зменшена. На котлах ПТВМ-100 замість штатних 16 пальників фірма SAACKE встановила 6 в два яруси по 3 пальники на кожному ярусі, а фірма RAY на котлі ПТВМ-50 замість 12 штатних пальників встановила 2 один під одним. В 2005 році європейський норматив на NO_x став більш жорстким – максимально допустима концентрація NO_x зменшилася до 100 мг/м^3 . В цих умовах заміна пальників на пальники типу LowNO_x класу А3 керівництвом власників котелень і ТЕЦ, де експлуатувалися котли серії ПТВМ, була оцінена як занадто дорога. В результаті було прийнято рішення улаштувати рециркуляцію частки димових газів у топку котла, що і було зроблено. В результаті був досягнутий бажаний ефект і викиди NO_x були знижені до 100 мг/м^3 при ккд на рівні 94%.

Є досвід вказаної реконструкції котлів серії ПТВМ в Естонії. В Таллінні є котел ПТВМ-100 з чотирма пальниками Hamworthy (Великобританія) та з пальниками фірми Pillard (Франція). В Литві є реконструйовані котли ПТВМ-50 з пальниками Pillard (Франція). В Софії (Болгарія) є котел ПТВМ-100 з чотирма пальниками фірми Oilon OY (Фінляндія).

Для котлів серії КВГМ є вже багато прикладів заміни штатних пальників на пальники європейських виробників – SAACKE, Pillaprd, RAY.

В м. Вінниця в котельні за адресою вул. 600-річчя, 13, що належить комунальній теплопостачаючій компанії «Вінницяміськтеплоенерго» з 2011 року

працює модернізований котел ПТВМ-30 з двома пальниками SG-150 виробництва фірми SAACKЕ, розташованими в поду котла. Пальники SG-150 – це звичайні пальники, що не забезпечують понижені викиди оксидів азоту. Довготермінова експлуатація котла показала його надійність, можливість автоматичного регулювання в широкому діапазоні навантажень. Літом котел іноді працює на одному пальнику в нічних режимах малого розбору гарячої води з потужністю 2,5 МВт. Екологічні показники досягнуті наступні:

- CO знаходиться майже в межах похибки вимірювання – не більше 10 ppm при максимальному навантаженні;
- NO_x лежить в межах від 112 мг/м³ навантаженні близько 5 МВт до 206 мг/м³ при максимальному навантаженні.

При цьому концентрація викидів NO_x залежить від закрутки факелів пальників в топці котла – чим більша закрутка, тим більша концентрація NO_x. В прямоточному режимі (без закрутки факела) найбільші значення не перевищують 190 мг/м³.

Таким чином експлуатація реконструйованого котла показала, що розміщення пальників в поду котла дозволило різко підняти коефіцієнт заповнення топки факелом, що фактично зняло проблему появи зони підвищеної температури в топці в так званому «пальниковому поясі».

5.3.Прогнозування можливості досягнення низької емісії NO_x

Аналіз документації відомих виробників пальників та результати прямих переговорів відносно можливості досягнення межі концентрації NO_x менше 100 мг/м³ показали, що фактично тільки дві компанії гарантують таку концентрацію NO_x при реконструкції котлів серії ПТВМ: це Weishaupt(ФРН) та «E&MCombustion» (Іспанія). Однак, з точки зору спрощення експлуатації і взагалі зменшення розмірів був вибраний пальник фірми «S&MCombustion».

Конструкція цього пальника у виконанні LowNO_x дозволяє отримати викиди NO_x<100 мг/м³ та CO<50 мг/м³ при його використанні на котлах ПТВМ-50.

Для котлів серії ПТВМ при використанні рішень по прямій заміні пальників на нові з низькими значеннями викидів їх можна поділити на дві групи. До однієї групи можна віднести котел ПТВМ-50 з одним пальником. Для цього котла є можливість прямої заміни штатного пальника на пальник класу А3 типу LowNO_x і при цьому будуть виконані умови щодо обмеження викидів NO_x та СО.

З котлами цієї серії типів ПТВМ-50 (два штатні пальники) та КВГМ-100 (три штатні пальники) пряма заміна штатних пальників на пальники класу А3 бажаного результату не дасть через обмежений об'єм топок цих котлів і їх високу теплову напруженість. Для виконання вимог технічного завдання щодо верхньої межі концентрації NO_x та СО в продуктах згоряння необхідно разом з пальниками класу А3 використовувати і рециркуляцію продуктів згоряння у кількості 12÷15% від загального об'єму продуктів згоряння.

Виконання таких рекомендації призведе до виконання вимог технічного завдання в частині екології.

6.МОЖЛИВІ РИЗИКИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

Можливі ризики при реконструкції котлів можна розділити на три групи:

- технічні ризики, пов'язані з втручанням в конструкцію котла;
- організаційні ризики, пов'язані з підвищеними вимогами до рівня експлуатації і обслуговування модернізованих котлів, особливо пальників та систем автоматизації;
- економічні ризики, пов'язані з невизначеністю тарифів на енергоносії.

Ризики другої та третьої груп однакові для всіх типів котлів, призначених під модернізацію.

Ризики першої групи для кожного типу котлів будуть дещо відрізнятися і залежать від ступеню втручання в конструкцію котла. Тому технічні ризики визначені окремо по типам котлів, а ризики другої і третьої групи об'єднані для всіх типів котлів.

6.1. Технічні ризики, що виникають при реконструкції котлів типу ПТВМ-50

Розташування пальників в поду котла може призвести до виникнення наступних ризиків:

Збільшення навантаження на зварювальні шви верхнього колектора лівого екрану через додаткові вагу і вібрації при роботі пальників в випадку їх розташування в подовому екрані.

Можливе збільшення температури продуктів згорання на виході із топки при вході їх в фестон за рахунок збільшення довжини факелу та затягування його в фестон при форсованих режимах роботи котла.

Можливе зниження температури продуктів згорання в конвективній шахті до температури насичення водяної пари, що міститься в них, та її конденсації при зменшенні навантаження котла до 10% від номінального (тобто при роботі в режимах з навантаженнями, меншими за нормовані).

Розміщення пальників в поду котла фактично прибирає подовий екран, зменшуючи тим самим площу поверхні нагріву в топці котла, що може призвести до зменшення максимальної потужності котла.

Ризик діставання полум'ям першого конвективного пучка, що висить над топкою, в разі форсованих режимів роботи котла, аналогічно подібному ризику з фестоном для котла ПТВМ-30.

Ризик появи конденсаційних режимів роботи котла на низьких навантаженнях, що можуть з'явитись у зв'язку з розширенням діапазону регулювання котла з новими пальниками.

6.2. Організаційні ризики, характерні для всіх типів розглянутих котлів

Повна автоматизація роботи кожного котла і підвищення рівня автоматизації котельні в цілому зменшує кількість обслуговуючого персоналу низької кваліфікації, але висуває більш жорсткі вимоги до обслуговуючого персоналу, що слідкує за роботою контрольно-вимірювальних приладів та керуючих

контролерів. Низька кваліфікація останніх може призвести до аварійних ситуацій і зайвих остановів котла.

6.3.Заходи з усунення виявлених ризиків для котлів типу ПТВМ-50

Прогнозовані ризики усуваються наступними заходами.

Для усунення ризику з п. 6.1.1. пальники за проектом передбачається розмістити на спеціальному постаменті, який спирається на власний фундамент. В результаті пальники не створюють додаткового навантаження ні на зварювальні шви верхнього колектора, ні на опорну конструкцію котла в цілому. Більш того, усунення подового екрану і перенос нижнього колектора лівого екрану з правої сторони в низ лівого екрану роблять навантаження на опорну конструкцію котла більш рівномірними та симетричними.

Ризик з п. 6.1.2. зменшується, по перше, за рахунок більш рівномірного теплосприйняття екранів топкових поверхонь нагріву котла і в результаті зменшення температури продуктів згорання на виході з топки. По друге, передбачено монтаж датчика температури перед фестоном. При перевищенні температури продуктів згорання заданого значення, датчик подає сигнал в контролер, який зменшує витрату газу на пальники, тим самим запобігаючи роботі фестону в несприятливих температурних умовах.

Ризик з п. 6.1.3. Дійсно, такий режим роботи котла може мати місце влітку при його роботі на систему гарячого водопостачання в нічні години при мінімальному споживанні теплоти. В цьому випадку передбачено відключення котла за сигналом датчика температури, що розташований на виході з конвективної шахти. Перед відключенням котла температура води на виході з котельні збільшується на чотири-п'ять градусів. Такого підвищення температури достатньо для підтримання системи гарячого водопостачання в нормованому стані на протязі п'яти-шести годин за рахунок акумулюючої здатності об'єму води, що міститься в циркуляційному контурі до початку активного споживання гарячої води вранці, коли котел автоматично включається при падінні температури води в зворотному

трубопроводі. Таким чином, режими з можливою конденсацією водяної пари з димових газів виключаються.

Ризик з п. 6.1.4. В штатній конструкції котла подовий екран захищений шаром обмурування. В результаті його теплова ефективність дорівнює всього 10% від теплової ефективності відкритого екрану. Крім того, на місці амбразур для шести пальників в бокових екранах, на місці яких відсутні нагрівальні труби, в результаті реконструкції з'являються поверхні нагріву, які компенсують відсутність подового екрану. Крім того, за рахунок більш повного заповнення факелом топки її теплова ефективність збільшується, що веде до збільшення потужності котла.

7.Економічний розрахунок

7.1.Економія коштів за рахунок штатів операторів котлів та слюсарів з обслуговування контрольно-вимірювальної техніки та автоматики

Повна автоматизація управління роботою котлів, що підлягають модернізації, з виведенням їх у режим роботи «без постійної присутності обслуговуючого персоналу» дозволить вивільнити частину операторів котлів. В тих котельнях, де встановлені котли різних серій, наприклад ПТВМ-50 та ТВГ, котли розташовані в різних машинних залах і для таких котелень скороченню підлягаю половина операторів. Для котелень, де експлуатуються котли однієї серії, що підлягають модернізації, можна планувати повне скорочення операторів. Кількість операторів до модернізації котлів та після модернізації наведена в таблицях по кожній котельні.

Заміна систем автоматизації роботи котлів передбачає повну заміну датчиків і регулюючих органів. Новітні прилади не потребують такого обсягу постійного обслуговування як ті, що використовуються в даний час, тому з'являється можливість зменшити кількість слюсарів КВП та автоматики.

Скорочення штатів веде до зменшення фонду заробітної плати на декілька тис. грн. в рік, а з урахуванням оподаткування, прийнятого 40% від суми, ця сума зростає. В решті ця економія коштів веде до скорочення терміну окупності.

7.2. Економія коштів за рахунок кількості ремонтів амбразур пальників та обмурування котлів

Аналіз результатів обстеження котлів показав, що амбразури пальників є слабким місцем для котлів серій ПТВМ та КВГМ. Вони потребують ремонтів майже кожен рік. Вартість матеріалів, що використовуються для їх ремонту, не велика. Але витрати на ремонт не обмежуються тільки матеріалами. Ремонти виконуються силами ремонтного підрозділа, який потребує коштів на своє утримання. Крім того, кожен останок і пуск котла – це витрати, які важко врахувати без додаткового аналізу, на який просто не вистачає часу. Але ясно, що зменшення кількості пальників в три-чотири рази і заміна конструкції і матеріалів амбразур призведе до збільшення терміну безремонтного режиму до 5 і більше років.

Визначені також терміни окупності для випадку, коли модернізуватись будуть тільки 16 котлів ПТВМ-50, як це передбачалось початковими умовами Технічного завдання. Розрахунок виконаний за представленою вище методикою для кожного з котлів.

Крім того, виконаний спрощений розрахунок для попереднього варіанта, але при умові, що термін окупності розраховується для одного котла за даними, взятими для котельні з чотирма котлами ПТВМ-50 за адресою: вул. Металургів, 32.

В наданих концерном «Міські теплові мережі» матеріалах наведено споживання газу за 2013-2015 роки.

При середньозваженому ккд 89,45% в результаті реконструкції ккд вдасться підвищити до 92,8%, що цілком реально, то споживання газу знизиться. Споживання газу для обох випадків наведено в табл. 7-1.

При ціні 1000 м³газа 6001 грн. (за даними концерну) річна економія коштів могла б становити від 4942494 в 2013 році до 3758546 в 2015 році. Усереднюючі ці цифри, ми можемо отримати прогнозовану економію. Вона складає 4175908 грн.

Проведена оцінка вартості робіт з реконструкції котла складає 7351355 грн. Вартість реконструкції двох котлів становитиме вдвічі більше, а саме 14702710 грн.

Термін окупності робіт складатиме в результаті 3,52 роки.

Якщо врахувати економію газу за рахунок погодного регулювання, що складатиме 31308 м³/рік, то економія коштів збільшиться до 4353785 грн. і, відповідно, термін окупності знизиться до 3,32 роки

Таблиця 7-1. Оцінка економічного ефекту

Рік	2019	2020	2021
Витрата газу			
Витрата фактична, тис. м ³	231487	211972	195991
Прогнозована витрата, тис. м ³	223749	204695	191821
Економія газу, м ³	823749	637674	417067
Вартість зекономленого газу, грн.	4942494	3826684	3758546

7.3.Економічні ризики

Є ризики в точності визначення термінів окупності проекту, що пов'язані з тими обставинами, що тарифи на газ та тепло не об'єктивні, не мають реального ринкового обґрунтування та не однакові для різних груп споживачів.

Висновки

Проведений аналіз можливих шляхів модернізації водогрійних котлів серії ПТВМ та КВГМ дає можливість узагальнити пропозиції для різних типів котлів і отримати укрупнений перелік можливих напрямків підвищення енергоефективності для однакових типів котлів.

Склад робіт з модернізації котлів в обсязі заміни пальників.

Склад робіт буде різний для різних серій котлів. Для серії котлів ПТВМ для заміни пальника необхідно втручатись в трубну частину топки, а для котлів серії КВГМ без цього можливо обійтись.

Для всіх серій і типів котлів необхідна реконструкція газової обв'язки з додаванням необхідних газових приладів згідно ДСТУ EN 676.

Для деяких типів котлів серій КВГМ та ПТВМ необхідна реконструкція в тій чи іншій мірі повітропроводів. Особливо це стосується КВГМ-100 та ПТВМ-50.

Бажано замінити обмурування і взагалі перевести котли на роботу під наддувом.

Для всіх типів котлів обох серій необхідно провести роботи з автоматизації. Ця робота включає заміну всіх датчиків та регулюючих органів, улаштування котельної шафи для кожного котла, улаштування загальнокотельної шафи, комутація всіх загальних котельних систем з центральним диспетчерським пунктом.

Крім основних робіт необхідні додаткові супутні роботи:

- розроблення проекту та його погодження, включно з проектом виконання робіт;
 - пуско-налагоджувальні роботи включно з навчанням обслуговуючого персоналу;
 - розроблення інструкції з експлуатації;
- внесення змін в паспорт котла (для котлів серії ПТВМ-30 та ПТВМ-50).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні», наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 15.09.2014 №252
2. EN 1643: 2000 Valve proving systems for automatic shut-off valves for gas burners and gas appliances.
3. EN 88 – 1: 2007 Pressure regulators and associated safety devices for gas appliances. Pressure regulators for inlet pressures up to and including 500 mbar.
4. Бабак В.П. Запорожець А.О. Система контролю якості горіння повітряно-паливної суміші в котлоагрегатах малої та середньої потужності // Методи та прилади контролю якості. 2014. №2 (33). С. 106-114.
5. Грановська О.О. Удосконалення стабілізаторних пальникових пристроїв при мікрофакельному спалюванні газу: Автореф. дис... канд. тех. наук: 05.14.14. - Київ, 2014. – 26 с.
6. ДСТУ EN 12067-1: 2005 Пристрої контролювання співвідношення газ/повітря для газових пальників і газопальникових приладів. Частина 1
7. ДСТУ EN 12067-2: 2008 Пристрої контролювання співвідношення газ/повітря для газових пальників і газопальникових приладів. Частина 2
8. Електронні типи, затверджений Наказом Держспоживстандарту України від 4 серпня 2008р. № 268 з 2010-01-01.
9. ДСТУ EN 12078: 2005 Регулятори нульові для газових пальників і газопальникових пристроїв, затверджений Наказом Держспоживстандарту України від 4 серпня 2008р. № 268 з 2010-01-01.
10. ДСТУ EN 126: 2005 Прилади керування газопальниковими пристроями багато-функціональні, затверджений Наказом Держспоживстандарту України від 25 липня 2005 р. № 187 з 2007-01-01.
11. ДСТУ EN 161: 2005 Клапани автоматичні відсічні для газових пальників і газових приладів, затверджений Наказом Держспоживстандарту України від 2 серпня 2007р. № 176 з 2008-03.01.
12. ДСТУ EN 676: 2006 Пальники газові автоматичні з примусовою подачею повітря, затверджений Наказом Держспоживстандарту України від 3 серпня 2006 р. № 230 з 2007-07-01.
13. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник / Д.В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Бондар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. –120с.

16. Кучерук В.Ю. Дудатьєв І.А. Використання ресурсозберезних технологій на теплопостачальних підприємствах // Промислова екологія. 2010.С. 1-5.

17. ДБН В.2.5-20-2018 Газопостачання. Інженерне обладнання будинків і споруд, Наказ від 15.11.2018 № 305 Про затвердження ДБН В.2.5-20:2018 Газопостачання.

24. Правила систем газопостачання, Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 15.05.2015 № 285

25. НПАОП 0.00-1.76-15 «Правила систем газопостачання», затверджений Міністерством юстиції України 15.05.2015 № 285.