

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 621.1

ПОГОДЖЕНО
Директор ІНІ енергетики,
автоматики і
енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

_____/Каплун В.В./_____
(підпис)
«___» _____ 2024 р.

_____/Антипов Є.О./_____
(підпис)
«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Удосконалення конструкції парового котла типу Е-75-40 ГМ»**

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Горобець В.Г.
(ПІБ)

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Троханяк В.І.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Кошук І.С.
(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри
інженерії енергосистем

к.т.н доцент _____ Антипов Є.О.
(ступінь, звання) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Кошук Ігорю Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»
(код і назва)

Освітня програма Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи **«Удосконалення конструкції парового котла типу Е-75-40 ГМ»**

затверджена наказом ректора Національного університету біоресурсів і природокористування України від «19» грудня 2023 р. № 2334 С

Термін подання завершеної роботи на кафедрі 2024.11.15
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. РОБОТА КОТЛА Е-75-40 ГМ
2. УПОРЯДКУВАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТРАКТІВ ПАРОВОГО КОТЛА. ВИБІР КОЕФІЦІЄНТІВ НАДЛИШКУ ПОВІТРЯ
3. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПАРОВОГО КОТЛА. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА
4. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТОПКИ
5. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ФЕСТОНУ
6. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОСПРИЙНЯТТЯ ПАРОПЕРЕГРІВАЧА, ЕКОНОМАЙЗЕРА, ПОВІТРОПІДГРІВАЧА ТА ЗВЕДЕННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ ПАРОВОГО КОТЛА

Перелік графічного матеріалу: презентація виконана в програмному забезпеченні MS Power Point

Дата видачі завдання «19» грудня 2023 р.

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

Троханяк В.І.
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Кошук І.С.
(ПІБ)

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 4 |
| РОЗДІЛ 1 РОБОТА КОТЛА Е-75-40 ГМ..... | 6 |
| 1.1. Вихідні дані | 6 |
| 1.2. Пристрій та принцип роботи парового котла Е-75-3,9-440 ГМ..... | 10 |
| 1.3. Зображення технологічного обладнання і трубопроводів на функціональних схемах систем автоматизації | 13 |
| 1.4 Складові елементи парового котла | 20 |
| 1.5 Системи пилоприготування..... | 22 |
| 1.6 Підготовка газу до спалювання..... | 24 |
| 1.7. Підготовка мазуту до спалювання | 25 |
| РОЗДІЛ 2 УПОРЯДКУВАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТРАКТІВ ПАРОВОГО КОТЛА. ВИБІР КОЕФІЦІЄНТІВ НАДЛИШКУ ПОВІТРЯ..... | 27 |
| РОЗДІЛ 3 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПАРОВОГО КОТЛА. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА. | 31 |
| РОЗДІЛ 4 ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТОПКИ | 35 |
| 4.1. Визначення конструктивних розмірів та характеристик топкової камери. | 35 |
| 4.2. Розрахунок теплообміну у топці. | 38 |
| РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ФЕСТОНУ..... | 45 |
| РОЗДІЛ 6 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОСПРИЙНЯТТЯ ПАРОПЕРЕГРІВАЧА, ЕКОНОМАЙЗЕРА, ПОВІТРОПІДГРІВАЧА ТА ЗВЕДЕННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ ПАРОВОГО КОТЛА. | 53 |
| 6.1. Теплосприйняття пароперегрівача та повітропідгрівача | 53 |
| 6.2. Перевірно-конструкторський розрахунок пароперегрівача..... | 57 |
| 6.3. Перевірно-конструкторський розрахунок економайзера. | 60 |
| 6.4. Характеристики повітропідгрівача..... | 62 |
| 6.5. Комп'ютерний розрахунок..... | 64 |

| | |
|---|----|
| 6.6. Зміна частки рециркуляції на топку. | 65 |
| ВИСНОВКИ..... | 67 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 68 |

ВСТУП

Магістерська кваліфікаційна робота викладена на 68 сторінках, таблиць 7, рисунків 3, кількість використаної літератури - 20 джерел.

Об'єктом дослідження є удосконалення конструкції парового котла типу Е-75-40 ГМ

Предмет дослідження – паровий котел типу Е-75-40 ГМ

Методи дослідження – теоретичні розрахунки парового котла типу Е-75-40 ГМ, використання літературних джерел.

Котел, який розглядається, являє собою вертикальну триходову конструкцію, яку складають по ходу газів: топка, горизонтальний газохід, в якому розташований другий ступінь пароперегрівача, опускний газохід, в якому розташований перший ступінь пароперегрівача і водяний економайзер і газохід підігріву повітря. Поживна вода через вузол живлення подається до економайзера, в якому здійснюється попередній підігрів води. З водяного економайзера вода надходить у барабан.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено розрахунок ентальпії повітря та продуктів горіння газоходами парового котла. Знайдено для газоходу топки та фєстону в температурному діапазоні від 900 до 2200 °С, для пароперегрівача від 400 до 700 °С, економайзера від 300 до 500 °С та повітропідігрівача від 100 до 300 °С.

Склали тепловий баланс для стану парового котла на 1 кг твердого палива і рідкого або на 1 нм³ газового палива, що склало 3740 ккал/кг.

Визначається корисне теплосприйняття в топці $Q_T = 9567,88$ ккал / кг.

Ключові слова: паровий котел, тракт парового котла, топка, пароперегрівач, економайзер.

РОЗДІЛ 1

РОБОТА КОТЛА Е-75-40 ГМ

1.1. Вихідні дані

У роботі розглянуто типовий розрахунок промислового парогенератора з прикладу парового котла Е-75-40 ГМ. Вид палива, що спалюється під час роботи котла мазут сірчистий.

Основні параметри котла:

| | |
|---|---------------------------|
| 1. Номінальна паропроодуктивність | - 75 $\frac{m}{ч}$; |
| 2. Робочий тиск у барабані котла | - 44 $\frac{кгс}{см^2}$; |
| 3. Робочий тиск на виході з пароперегрівача | - 40 $\frac{кгс}{см^2}$; |
| 4. Температура перегрітої пари | - 440 °С ; |
| 5. Температура живильної води | - 150 °С ; |
| 6. Температура газів | - 180 °С ; |
| 7. Температура гарячого повітря | - 190 °С . |

Технічна характеристика парогенератора Е-75-40 ГМ.

Камера топка об'ємом 297 m^3 повністю екранована трубами $\varnothing 60 \times 3$ мм з кроком 100 мм на бічних, фронтівій і задній стінах. На бічній стіні топки розташовані 2 пальники.

Схема випаровування – триступінчаста: у барабані розташовані чистий відсік першого ступеня випаровування та два сольових відсіки другого ступеня (по торцях барабана) третій ступінь винесено у виносні циклони $\varnothing 377$ мм.

Перегрівач – з вертикально розташованими змійовиками, двоступінчастий, виконаний із труб $\varnothing 42 \times 3$ мм. Кількість змійовиків – 18. Поперечний крок труб – 75 мм, розташування – коридорне.

Економайзер – сталевий, гладкотрубний, змійниковий, двоступінчастий, із шаховим розташуванням труб $\text{Ø}32*3$ мм. Поперечний крок труб – 75 мм, поздовжній – 55 мм.

Повітропідігрівник – трубчастий, вертикальний, з шаховим розташуванням труб $\text{Ø}40*1,6$ мм. Поперечний крок труб – 60 мм, поздовжній – 42 мм.

Технічні та основні конструктивні характеристики парогенератора такі:

| | |
|--|---------------------------------|
| Номінальна паропроductивність | $75 \frac{m}{ч}$; |
| Робочий тиск пари | $40 \frac{кгс}{см^2}$; |
| Температура перегрітої пари | $440 \text{ } ^\circ\text{C}$; |
| Площа поверхонь нагрівання m^2 : | |
| 1) променевосприймаюча (екранів і фестону) | $211 m^2$; |
| 2) конвективна: | |
| - фестону | $31 m^2$; |
| - перегрівача: | $380 m^2$ |
| - економайзера: | $1070 m^2$ |
| - повітропідігрівача: | $2150 m^2$ |

Запуск барабанного котла на загальну парову магістраль.

Пуск включає:

1. Заповнення казана водою.
2. Його розпалювання.

3. Збільшення параметрів до номінальних.

При розпалюванні в елементах котла виникає додаткова температурна напруга.

Якщо $\frac{dt_{cm}}{d\tau} > v_i^{don}$, тобто. $\sigma_i > \sigma_i^{don}$, метал трісне, тому розпалювання ведуть повільно та обережно.

Послідовність запуску:

1. Проводять зовнішній огляд (перевіряється справність пальників, димососа, вентилятора, запірної та регулюючої арматури, вибухових та запобіжних клапанів, контрольно-вимірювальних приладів та автоматики, підведення напруги).

2. Закривають дренажі 3, відкривають повітряники 4, продувки лінію пароперегрівача 5 і лінію рециркуляції води 2.

3. Через розпалювальний вузол РУ повільно заповнюють казан водою з температурою за даератором. $t_o'' = 60 \div 65^\circ C$.

4. Заповнення водою закінчують тоді, коли рівень води в барабані досягне мінімально допустимого значення.

5. Включають димосос та вентилюють газоходи протягом 15 хвилин (для виключення можливого вибуху).

6. За допомогою факела встановлюють розрідження лише на рівні 1 мм. вод. ст.

7. Розпалюють розпалювальні форсунки. Після досягнення стійкого горіння включають вентилятор. Після достатнього прогріву топки переходять на спалювання основного палива.

8. Готують паливний тракт. Відкривають лінію рециркуляції та запалюють перший пальник. Після появи пари з повітряників їх закривають.

9. Тепловиділення витрачається на нагрівання металу та обмуровки, нагрівання води, пароутворення. Зі збільшенням τ розпалювання після прогріву металу теплота витрачається на пароутворення.

Для зниження теплових втрат $D_{раст} \approx 0,1D_{ном}$.

При розпалюванні котел періодично підживлюється через вузол розтопки, при цьому постійно стежать за рівнем води в барабані.

При тиску в барабані $P_б \geq 0,5МПа$ відкривається головна парова засувка ГПЗ і прогрівається паропровід.

10. Для виключення перепаду захищають усі робочі поверхні. При розпалюванні витрата пари знижують в 10 разів, $W_n \approx 2,5 \frac{м}{с}$ крім того, в результаті гідравлічної розвірки в окремих змійовиках $W_n \approx 0,5 \frac{м}{с}$, $\Delta t = 130 \div 160^\circ C$, тому постійно контролюють $t_{не}$ і $t_{см}$.

Для захисту економайзера від перепаду розхолодження вихідних петель роблять за рахунок рециркуляції води.

При $P > 10МПа$ через ЕКО прокачують воду із магістралі.

Коли $P_n = P_{магистрالی} - 1ат$ котел підключають до магістралі 9, закривають продувну лінію, відключають лінію рециркуляції.

Подачею палива та поживної води піднімають параметри до номінальних.

11. Включають автоматику.

Зупинка парових котлів.

1. Нормальний (плановий) зупинка котла проводиться тоді, коли параметри плавно знижують, щоб $\frac{dt_{см}}{d\tau} < v_t^{дон}$, $\sigma_t < \sigma_t^{дон}$.

2. Аварійний коли котел негайно зупиняється при різкому зниженні паропродуктивності.

Планова зупинка .

1. Знижується навантаження до D_{\min} ;
2. Спрацьовується вугільний пил у бункері або відключається котел від газової магістралі;
3. Вимикають котел від парової магістралі;
4. Котел живиться до верхнього граничного рівня в барабані;
5. На 15 хвилин відкривається лінія продування пароперегрівача. Через 10 та 20 годин продування повторюють.

При $P < 5 \text{ ат}$ продування здійснюють через розширювач.

Після згасання факелів та вентиляції газоходів протягом 10 хвилин димосос зупиняють, і розхолодження ведуть природним шляхом. Швидкість зниження температури 1-1,5 °C за хвилину. Контролюють температуру стінки барабана.

При $P_n = 0$ температурі 70-80 °C відкривають дренажі 3 і трубну систему спорожняють.

Аварійний зупинка .

Котел аварійно зупиняється, коли:

1. Рівень води у барабані виходить за допустимі межі.
2. Витрата середовища в ПК припиняється більш як на 30 сік.
3. Коли виходять з ладу вимірювальні діафрагми та водовказівні колонки.
4. При згасанні факела у топці, пожежі у газоходах.
5. При зупинці вентилятора, димососу, парової турбіни.

1.2. Пристрій та принцип роботи парового котла Е-75-3,9-440 ГМ

Паровий котел Е-75-3,9-440ГМ - стаціонарний, водотрубний, барабанний, з природною циркуляцією, з врівноваженою тягою, газоцільний. Топка та

конвективний газохід виконані з газощільних мембранних панелей. На фронтівій стіні топки розташовані в один ярус три газомазутні пальники одиничною потужністю 20 МВт.

Котел являє собою вертикальну триходову конструкцію, яку складають по ходу газів: топка, горизонтальний газохід, в якому розташований другий ступінь пароперегрівача, опускний газохід, в якому розташований перший ступінь пароперегрівача і водяний економайзер і газохід підігріву повітря. Поживна вода через вузол живлення подається до економайзера, в якому здійснюється попередній підігрів води. З водяного економайзера вода надходить у барабан.

У трубах, що обігріваються газами, що утворюють топку і конвективну шахту, відбувається утворення насиченої водяної пари. Пароводяна суміш надходить у верхні колектори, а з них по паровідвідних труб - в барабан-парозбірник і виносні сепаратори-циклони. У барабані та циклонах відбувається відділення пари від води. До барабана приєднані опускні стояки, що не обігріваються, а до циклонів - необігріваючі опускні труби, по яких котлова вода надходить в нижні колектори екранів. В утворених таким чином замкнутих контурах відбувається природна циркуляція робочого тіла завдяки різниці у вагах стовпів води в опускних трубах і пароводяної суміші в трубах, що обігріваються.

Відсепарований у внутрішньобарабанних сепараційних пристроях пар за системою пароперепускних труб надходить у змійниковий пароперегрівач, а потім у парозбірну камеру і далі споживачеві.

Для усунення накипеутворюючих іонів кальцію і магнію, що потрапляють в котлову воду, в барабан подається розчин фосфорно - кислого натрію, який розпадається на іони 3Na і P . Іони P утворюють з іонами кальцію і магнію важкорозчинні солі, які виділяються в товщі котлової води у вигляді дрібних частинок шламу, що не прилипає до поверхонь нагрівання і легко видаляється з котла за допомогою періодичної та безперервної продувки.

З метою підтримки початкової продуктивності в процесі експлуатації на котлі передбачено газоімпульсне очищення конвективних поверхонь нагріву.

Газохід повітропідігрівача обладнаний пристроєм пожежогасіння.

Влаштування та робота складових частин котла.

Барабан котла, сепараційні пристрої та циркуляційна схема

Всі екрани котла, крім заднього (включеного в тракт пароперегрівача), є циркуляційними контурами, в яких здійснюється природна циркуляція. Кожен екран розділений на самостійні контури, кожен із яких складається з 20 труб $\varnothing 57 \times 4$ мм, приєднаних до колекторів $\varnothing 219 \times 16$ мм.

Роль парозбірника виконує барабан $\varnothing 1590 \times 36$ мм, до якого приєднуються водоопускні труби – стояки та паровідвідні труби всіх циркуляційних випарних поверхонь нагріву, крім лівої крайньої, лівої середньої та правої крайньої секцій фронтового екрану, що приєднуються до трьох виносних циклонів. З виносних циклонів передбачено безперервне продування.

Для отримання необхідної якості пари на казані прийнято двоступінчасту схему випаровування. Сепараційні пристрої першого ступеня випаровування розміщені в барабані, а як пристрої другого ступеня використовуються три виносних циклони.

Як первинні сепараційні пристрої в барабані встановлені жалюзійно-дросельні стінки, остаточне очищення пари відбувається у вторинних сепараційних пристроях, в якості яких використовуються дірчастий лист і жалюзійний сепаратор.

Транспортування котла може здійснюватись автомобільним, залізничним або морським видами транспорту з дотриманням відповідних правил перевезення вантажів.

ланцюга, так і принцип його дії, а також взаємодію з первинними перетворювачами та іншими технічними засобами системи автоматизації. Необхідно показати взаємне розташування технологічного обладнання та технічних засобів автоматизації (ТСА), при цьому внутрішні деталі та елементи частин технологічного обладнання показують лише в тих випадках, якщо вони механічно пов'язані з первинними вимірювальними перетворювачами, вимірювальними приладами та іншими засобами автоматизації.

На технологічних трубопроводах показують тільки ті вентиля, засувки, заслінки, клапани, іншу регулюючу і запірну арматуру, яка бере участь безпосередньо в роботі системи автоматизації або необхідна для визначення відносного розташування добірних пристроїв і первинних вимірювальних перетворювачів. Технологічне обладнання та трубопроводи допоміжного призначення зображують на функціональних схемах при механічному з'єднанні або взаємодії їх із засобами автоматизації.

У середині контурів умовних позначень технологічного обладнання або поруч із ними необхідно наводити написи, що пояснюють (Повні або скорочені найменування або позиційні позначення відповідно з розгорнутими тепловими схемами).

Трубопроводи та технологічні середовища зображують на теплових схемах теплоенергетичних об'єктів умовними позначеннями по ГОСТ 2.784-70 [7] лініями завтовшки 0,5 мм. Умовні цифрові позначення трубопроводів наведено у табл. 1.1. Відстань між сусідніми умовними цифровими позначеннями технологічного середовища однієї і тій ж технологічної лінії повинно складати 50...70 мм.

Таблиця 1.1

Умовні цифрові позначення трубопроводів

| Найменування технологічної середи | Умовне позначення | Найменування технологічної середи | Умовне позначення |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Вода | — 1 — 1 — | Рідке паливо | — 15 — 15 — |
| Пар | — 2 — 2 — | Водень | — 16 — 16 — |
| Повітря | — 3 — 3 — | Ацетилен | — 17 - 17 - |
| Азот | — 4 — 4 — | Метан | — 19 — 19 — |
| Кисень | — 5 — 5 — | Етилен | — 21 — 21 — |
| Аргон | — 6 — 6 — | Пропан | — 22 — 22 — |
| Гелій | — 8 — 8 — | Пропілен | — 23 — 23 — |
| Кислота | — 12 — 12 — | Протипожежний трубопровід | — 25 — 25 — |
| Луж | — 13 — 13 — | Вакуум | — 27 — 27 — |
| Олія | — 14 — 14 — | Переважає в проєкті середа | ————— |

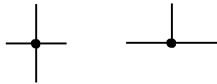
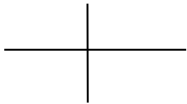
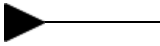
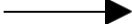
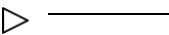
Середовище, що переважає в проєкті, позначається суцільною лінією завтовшки 1 мм. Наприклад, переважним середовищем у розгорнутій принципіальній тепловій схемі парового котла є свіжий (перегрівач пару), тому поверхні нагріву і з'єднання між ними зображають товстою лінією (рис. 1.1). Колектори, змішувачі та регулятори упорскування зображують лініями товщиною 0,5 мм. Вторинна пара, поживна вода, повітря та димові гази зображують лініями товщиною 0,5 мм. У розриви ліній через 50...70 мм проставляють цифрові позначення робочих середовищ. Контури складових частин парового казана зображують на кресленні лінією завтовшки 0,5 мм.

У ГОСТ 2.784–70 передбачені також умовні позначення з'єднань та перетинів технологічних комунікацій та трубопроводів, підведення та відведення технологічних середовищ, які представлені в табл. 1.2. Лінії умовних позначень трубопроводів, з'єднаних з входом або виходом технологічного обладнання,

показаного останнім на зображеній частині технологічного ланцюга, необхідно проривати і закінчувати стрілками, що показують напрямки руху. ня технологічних середовищ. Поряд зі стрілками наводять пояснюючі написи, наприклад, «від ПВД», «до ЦСД» і т. п. (Рис. 1.1).

Таблиця 1.2

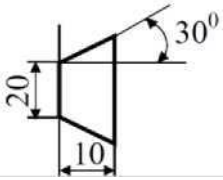
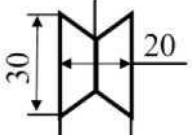
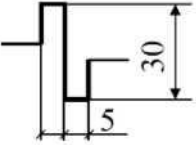
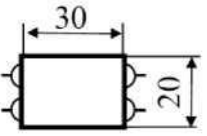
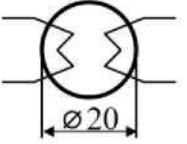
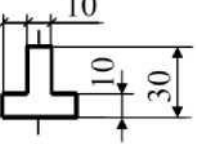
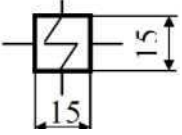
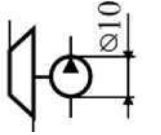
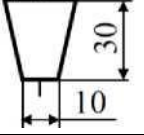
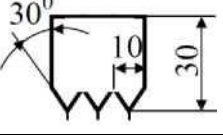
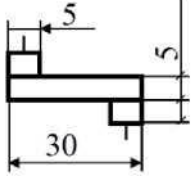
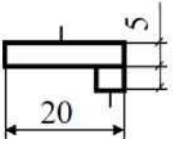
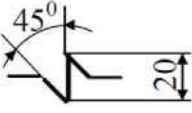
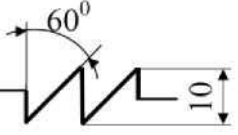
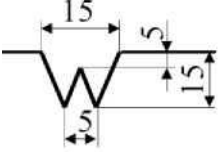
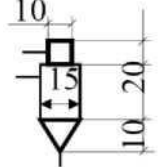
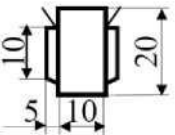
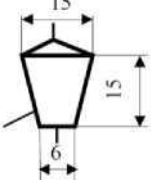
Умовні позначення з'єднань і перетинів трубопроводів, підводу і випуску технологічних серед

| Найменування | Умовне позначення | Найменування | Умовне позначення |
|---|---|---------------------------------------|---|
| З'єднання трубопроводів |  | Перетин трубопроводів |  |
| Підведення рідини під тиском |  | Злив рідини |  |
| Підведення газу, пара, повітря під тиском |  | Випуск газу, пара, повітря під тиском |  |

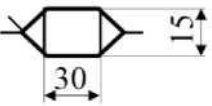
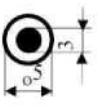
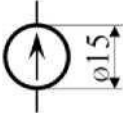
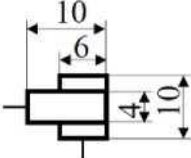
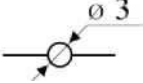
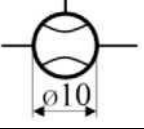
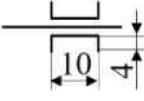
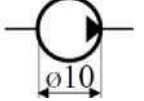
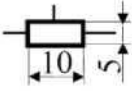
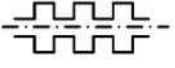
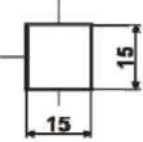
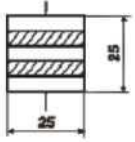
Технологічне обладнання і його окремі елементи зображають на розгорнутих важливих теплових схемах парових котлів умовними позначеннями згідно з ГОСТ 21.403-80. Основні умовні позначення технологічного обладнання ТЕС та поверхностей нагріву парових котлів, а також їх розміри наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Умовні позначення технологічного обладнання

| Найменування | Позначення | Найменування | Позначення |
|---|---|--------------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Циліндр турбіни однопоточної |  | Циліндр турбіни двопоточної |  |
| Повітропідігрівник трубчастий |  | Повітропідігрівник регенеративний |  |
| Конденсатор поверхневий двопоточний |  | Деаератор |  |
| Поверхневий теплообмінник |  | Турбонасос |  |
| Бункер шматкового палива |  | Бункер пилоподібного палива |  |
| Живильник стрічковий, скребковий, пластинчастий |  | Живильник дисковий |  |
| Поверхні нагрівання |  | Економайзер |  |
| Ширмовий пароперегрівач |  | Циклон |  |
| Млин молотковий з аксіальним підведенням повітря |  | Сепаратор механічний |  |

Продовження таблиці 1.3

| | | | |
|-----------------------------|---|--------------------------------|---|
| Млин кульовий барабанний |  | Впорскуючий пароохолоджувач |  |
| Вентилятор (димосос) |  | Пальник кутовий, щілинний |  |
| Змішувач або колектор |  | Ежектор |  |
| Підшипник |  | Насос |  |
| Розпалювальний сепаратор |  | Ущільнення валу турбіни |  |
| Теплообмінник, що змішує |  | Фільтр двокамерний |  |

Якщо на технологічних схемах для позначення трубопроводів використані нестандартні умовні позначення, такі ж умовні позначення слід використовувати і на функціональних схемах автоматизації. Окремі агрегати та установки технологічного ланцюга можна зображати відірваними друг від друга з вказівками на них взаємозв'язку з допомогою стрілок та написів.

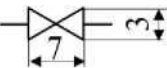

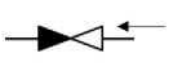

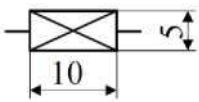
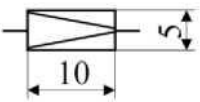

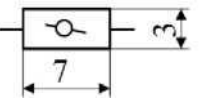


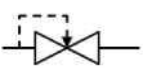

У зображення технологічного обладнання, окремих його елементів слід наводити відповідні пояснюючі написи (найменування технологічного обладнання або його окремого елемента, його номер, якщо такий є, та ін), а також вказувати стрілки напрямом потоків. Окремі агрегати та установки технологічного обладнання можна зображати відірвано один від одного з відповідними вказівками на їхній взаємозв'язок.

На трубопроводах, на яких передбачається встановлення довірних пристроїв та регулюючих органів, вказують діаметри умовних проходів.

Умовні позначення запірний арматури (вентилів, клапанів, засувок і т. п.) по ГОСТ 2.785–70 [8] наведені в табл. 1.4

Таблиця 1.4

Умовні позначення запірний арматури

| Найменування | Позначення | Найменування | Позначення |
|--|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Вентиль, клапан запірний а) прохідний б) трьох ходовий | а)  б)  | Клапан зворотний а) прохідний б) кутовий | а)  б)  |
| Клапан дросельний |  | Редукційно - охолоджувальна установка |  |
| Засувка |  | Затвор поворотний |  |
| Клапан стопорний |  | Клапан зворотний захисного пристрою ПВД |  |
| Клапан, що регулює «до себе» |  | Клапан, що регулює «після себе» |  |

Запірна арматура, що встановлюється на ТЕС і АЕС, забезпечує пуски та зупинки енергоустановок, скидання та набір навантаження, регулювання витрати та тиску робочого середовища, а також захист елементів обладнання від тиску, що перевищує номінальне, та зворотних потоків середовища. Енергетична запірна арматура працює в дуже напружених умовах, характеризуються високими тисками (до 40 МПа) і температурою (до 700 °С), високими швидкостями робочої середовища в зоні затворів (до 600 м/с при роботі на парі і до 150...200 м/с - на воді).

Зі зростанням потужностей енергетичних блоків значно підвищується кількість арматури, що встановлюється. Наприклад, на енергетичному блоці

потужністю 1200 МВт встановлено понад 15000 одиниць арматури високих та низьких параметрів, у тому числі понад 1000 одиниць електрифікованою. На технологічному устаткуванні необхідно показувати запірну арматуру, яка бере участь у роботі системи автоматизації або необхідна для визначення розташування добірних пристроїв і первинних вимірювальних перетворювачів.

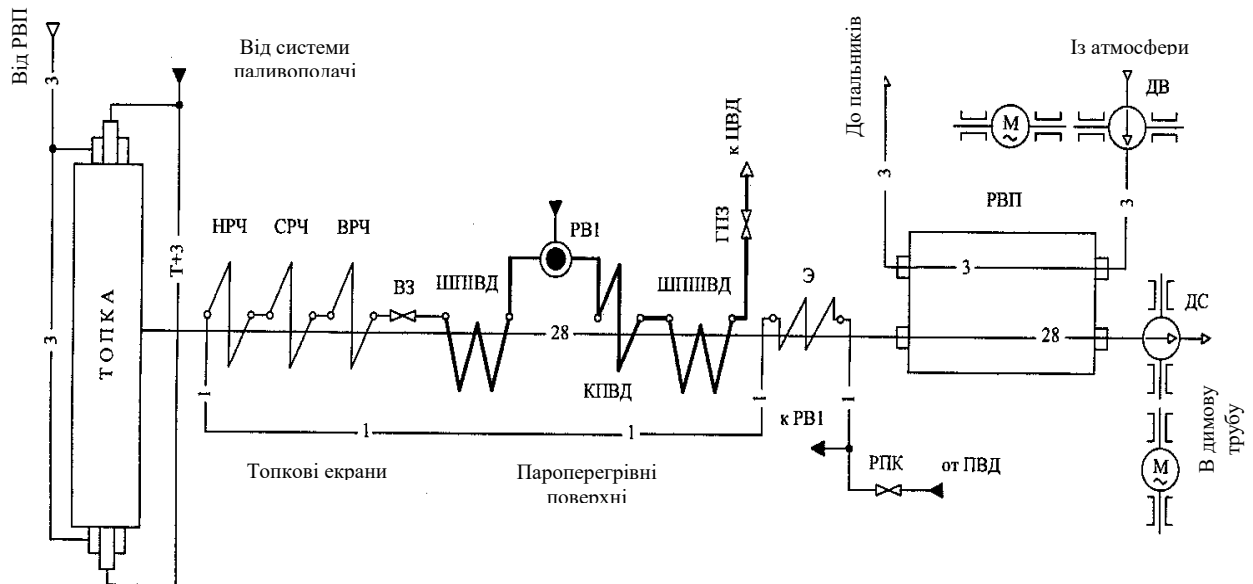


Рис. 1.2. Принципова теплова схема парового котла

1.4 Складові елементи парового котла

Паровим котлом називають технологічний агрегат для вироблення пара з тиском вище атмосферного за рахунок теплоти спалюваного палива. У паровому котлі енергія палива перетворюється на потенційну енергію пара. У паровий турбіні кінетична енергія пара перетворюється в механічну енергію (обертання вала турбогенератора). У електричному генераторі механічна енергія перетворюється на електричну енергію. Основним робочим тілом при виробленні електроенергії з енергії палива на теплових електростанціях є водяний пар.

Паровий котел, що використовує як паливо вугілля в пилоподібному стані, мазут або природний газ, складається з декількох пристроїв (економайзери,

пароперегрівачі, екрани топки та ін.). Для підготовки та транспортування палива служать відповідні паливоподачі. Паливо через пальники надходить в топкову камеру парового котла, де згоряє, віддаючи тепло різним поверхонь нагріву парового котла, заповненим основний робочої середовищем (водою, пором). Живильна вода насосом подається від підігрівачів високого тиску в паровий котел, проходить поверхні нагріву, в яких випаровується. Пар перегрівається в пароперегрівачі і прямує в до паровий турбіні.

Основними робочими елементами парового котла є поверхня нагріву, які представляють собою металеві трубчасті поверхні, з однієї сторони омиваються гарячими димовими газами, а зінший сторони - водою, пароводяний сумішшю, пором або повітрям. До числу поверхонь нагріву відносяться: економайзер, випарні поверхні, барабан, конвективні і ширмові пароперегрівачі, трубчасті і регенеративні повітропідігрівачі.

Економайзер - трубчаста поверхня нагріву, призначена для підігріву гарячими димовими газами живильної води, що подається в котел поживним насос.

Випарна поверхня котла - трубчаста поверхня нагріву, в якому здійснюється випаровування води за рахунок теплоти димових газів.

Пароперегрівач – трубчаста поверхня нагріву, призначена для підігріву пари вище температури насичення за рахунок теплоти, переданою конвекцією або комбіновано: радіацією в топці конвекцією в газоходів.

Повітропідігрівач - поверхня нагріву, призначена для підігріву первинного і вторинного повітря димовими газами.

Топка котла призначена для спалювання органічного палива, часткового охолодження продуктів згоряння за рахунок передачі теплоти топочним екранів і виділення з продуктів згоряння золи.

До числу допоміжного обладнання, забезпечує роботу котла, відносяться: дутьові вентилятори, димососи, пристрої пилоприготування і ін.

Дутевий вентилятор призначений для забору теплого повітря з-під дахи котельні і подачі його на підігрів в повітропідігрівач.

Димосос призначений для викиду димових газів через димову трубу в атмосферу при температурі газів 120...160 °З.

Технологічні потоки, поверхні нагріву парового котла, а так-ж допоміжні пристрої зображують на важливих схемах ввигляді умовних графічних позначень, а їх найменування замінюють аббревіатурою (список скорочень наведено в додатку 1). У додатках 2 і 3 наведено технічні характеристики парових казанів.

ТЕС, що діють, вступили в дію в різні періоди розвитку енергетики, тому вони оснащені барабанними та прямоточними паровими котлами на середнє (10 МПа), високе (14 МПа) та надкритичний (25 МПа) тиску перегрітої пари з паропродуктивністю $D = 170...3950$ т/год і температурою пара $t = 510...585$ °З.

Виробництво парових котлів зосереджено трьох великих заводах країни: Таганрозькому котельному заводі (ТКЗ), позначення котлів, виготовлених на ТКЗ, починається з літери Т; Подільському машинобудівному заводі (ПМЗ), позначення котлів, виготовлених на ПМЗ, починається з літери П; Барнаульською котельні заводі (БКЗ).

На вітчизняних електростанціях працюють однобарабанні парові котли з природною циркуляцією і врівноваженою тягою, а також прямо точні парові котли в здебільшого надкритичного тиску (СКД).

1.5. Системи пилоприготування

Парові котли, розраховані на спалювання твердого палива, здебільшого обладнані індивідуальними системами пилоприготування з проміжним бункером для пилу.

Індивідуальні системи пилоприготування розташовуються безпосередньо біля котла по 2-е і більше на кожен агрегат і пов'язані з ним каналами подачі повітря, димових газів і пилу.

На рис. 3.1 показано індивідуальну замкнуту систему пилоприготування з проміжним бункером вугільного пилу та подачею пилу в топку сушильно-транспортним агентом. Розташування обладнання розведення технологічних

потоків показано так, як їх найбільш доцільно розташувати на кресленні. Умовні позначення та розміриобладнання зображені на рис. 3.1 згідно ГОСТ 21.403-80.

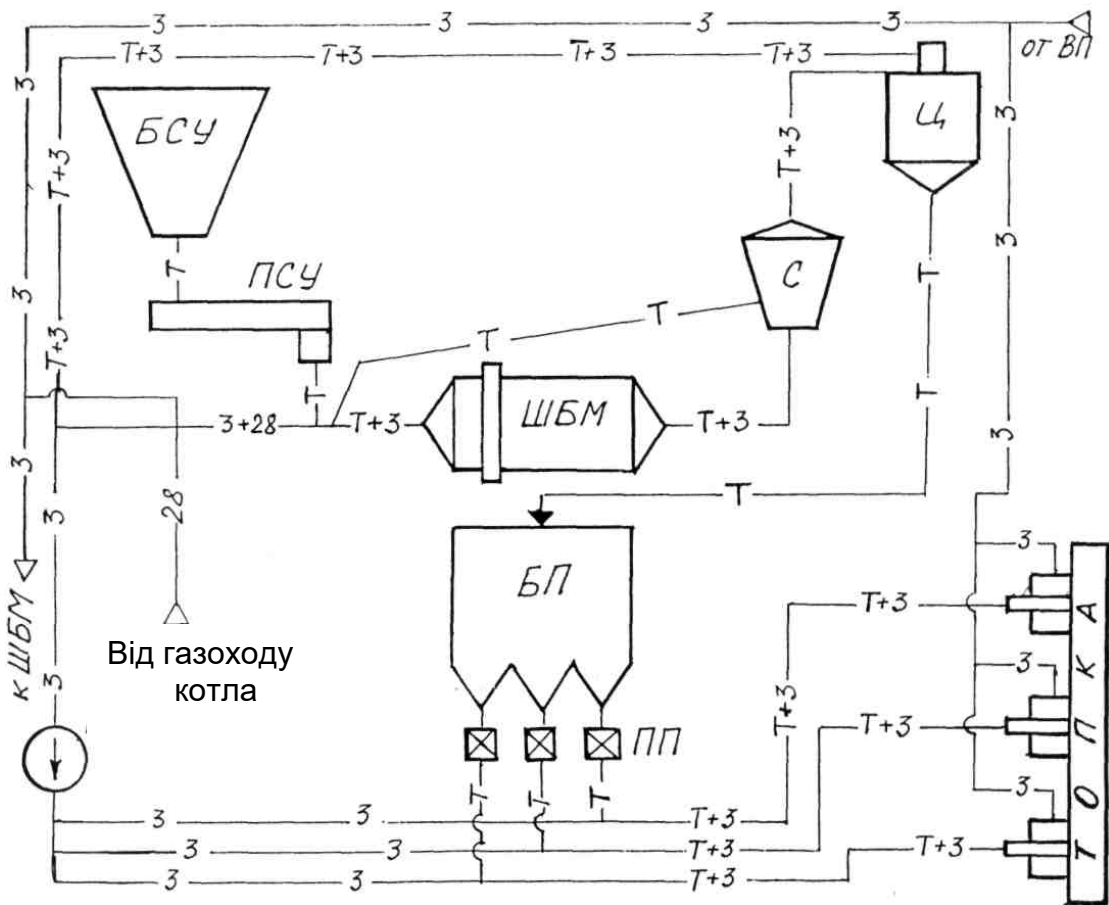


Рис. 1.3. Система пилоприготування

Сире подрібнене вугілля з бункера сирого вугілля (БСУ) живильником сирого вугілля (ПСУ) подається до млина (ШБМ, ММ), де розмелюється до необхідної тонкощі. Потік вентиляюючого гарячого повітря, котла, що надходить з повітропідігрівача (ВП), часто з топковими газами, виносить вугільний пил у сепаратор (С), в якому йде відділення готового пилу. Готовий вугільний пил потоком повітря виноситься в циклон (Ц), а грубі недомолоті фракції знову подаються на вхід млина. У циклоні вугільний пил закручується тангенціальним потоком і прямує в бункер пилу (БП). Сушильний транспортний агент відсмоктується по осі циклону через верхній патрубок і разом з найтоншим пилом, що залишився в повітрі в кількості 10 ... 15%, надходить у млиновий вентилятор (МВ) і потім направляється в первинний колектор для

транспортування пилу до робітником пальникам. Для розподілу вугільного пилу по кількох пальниках служать живильники пилу (ВП).

1.6. Підготовка газу до спалювання

Підготовка природного газу до спалювання на ТЕС полягає в очищенні його від твердих механічних домішок та підтримці постійного тиску перед пальниковими пристроями, шляхом дроселювання поступує з магістралі газу. На рис. 3.2 показано схему постачання природним палим газом парового казана.

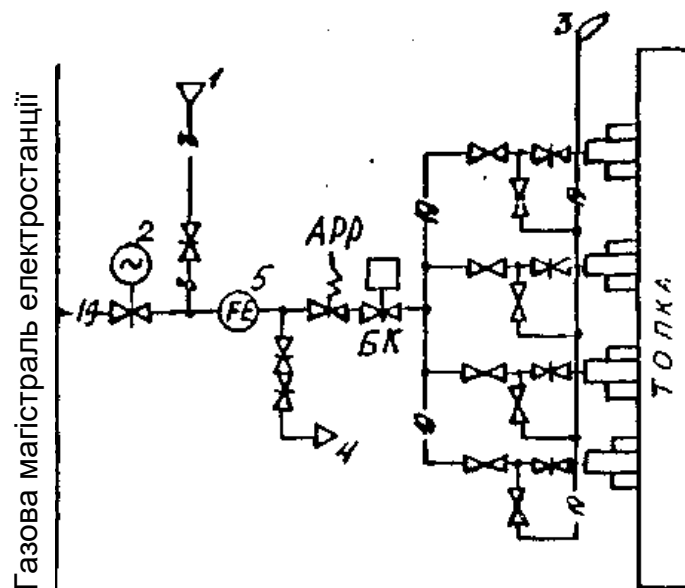


Рис. 1.4. Схема постачання разом парового котла: 1 – повітря для продування; 2 – регулюючий клапан; 3 - Свічка; 4 – газ до запальника; 5 - Витратомір

На газорозподільному пункті для очищення газу від механічних домішок встановлюються грубі та тонкі фільтри, а для попередження аварійного зростання тиску встановлюються запобіжні клапани (на рис. 3.2 не показано).

На газопроводі кожного котла встановлено автоматичний регулятор витрати газу (АРР) та швидкодіючий клапан (БК). Регулятор підтримує необхідну теплову потужність котла, клапан відключає подачу газу в топку при аварійній ситуації (обрив факела, зупинка димососа або вентилятора тощо).

Вимірювання витрати газу проводиться до автоматичного регулятора витрати газу за допомогою витратоміра 5.

1.7. Підготовка мазуту до спалювання

Мазут в топкову камеру надходить у розпорошеному стані. Розрізняють механічне та парове розпилювання, яке здійснюється за допомогою форсунок різної конструкції.

На рис. 1.5 представлена технологічна схема підготовки до спалювання мазуту від зливного резервуара до форсунок з механічним розпилюванням його в топку казана.

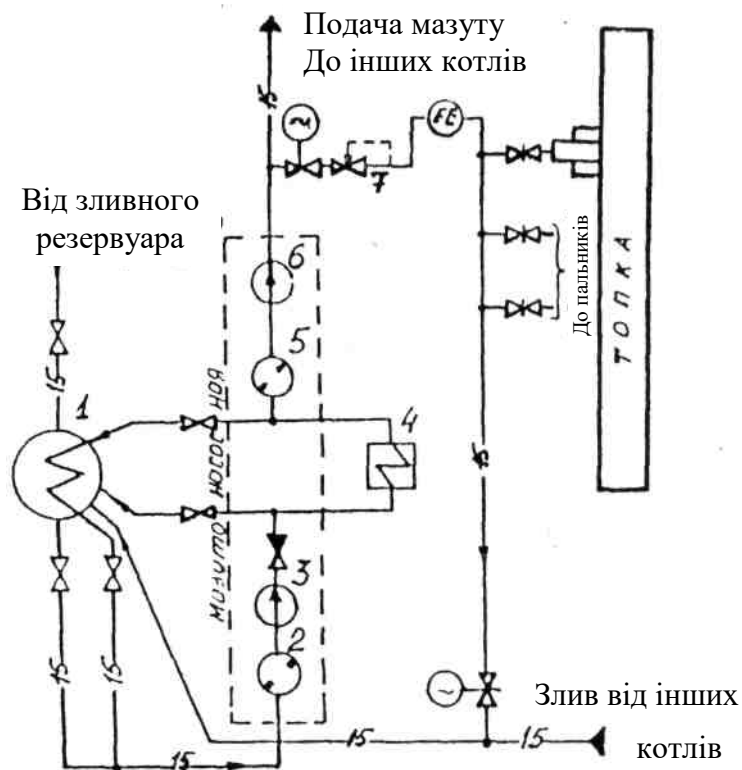


Рис. 1.5. Схема постачання мазутом парових котлів

При підготовці мазуту до спалювання здійснюється кілька операцій: зневоднення шляхом підігріву всього мазуту у баку 1; відстаювання, дренаж та випаровування вологи; видалення сторонніх твердих включень пропуском мазуту через грубі 2, а потім – тонкі 5 механічні фільтри; підігрів мазуту пором

в підігрівачі 4 для зменшення в'язкості до необхідного рівня; компресія мазуту до значення тиску, необхідного для його розпилення.

Зазвичай застосовують 2-ступінчасту схему подачі мазуту: у першому ступені подача здійснюється при тиску близько 1 МПа за допомогою насоса низького тиску 3, у другому ступені насоси високого тиску 6 створюють тиск 3,5...4,5 МПа, при якому відбувається розпил мазуту у форсунках. Постійний тиск у мазутопроводі кожного котла підтримується автоматично регулятором тиску «після себе» 7. Вимірювання витрати мазуту на котел проводиться після регулятора тиску 7 з допомогою витратоміра змінного перепаду тиску.

РОЗДІЛ 2.

УПОРЯДКУВАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТРАКТІВ ПАРОВОГО КОТЛА. ВИБІР КОЕФІЦІЄНТІВ НАДЛИШКУ ПОВІТРЯ.

Розрахунково-технологічна схема трактів парового котла складається на основі креслень парового котла та завдання на проектування. На рис.3 наведено схему парового котла Е-75-40 ГМ.

Величину коефіцієнта надлишку повітря на виході з топки α''_T приймають для всіх парових котлів рівною 1,2 при використанні твердих палив. За [1, табл. 1.1] знаходяться для заданого парового котла значення присосів повітря в газоходи, обчислюються величини коефіцієнтів надлишку повітря за кожним газоходом, а також їх середні значення та заповнюється табл. 1.1.

Таблиця 2.1

Надлишки повітря та присоси по газоходах

| № п./п. | Газоходи | Коефіцієнт надлишку повітря за газоходом | Величина присоса | Середній коефіцієнт надлишку повітря в |
|---------|--------------|---|-----------------------|--|
| 1 | Топка та | $\alpha''_T = \alpha''_{\phi} = \alpha_T = 1.1$ | $\Delta\alpha_T =$ | $\alpha_T = \alpha''_T = 1.15$ |
| 2 | Пароперег - | $\alpha''_{пе} = \alpha''_T + \Delta\alpha_{пе} = 1.13$ | $\Delta\alpha_{пе} =$ | $\alpha_{пе} = (\alpha''_{пе} + \alpha''_T) / 2 = 1.115$ |
| 3 | Економай - | $\alpha''_{ек} = \alpha''_{пе} + \Delta\alpha_{ек} = 1.15$ | $\Delta\alpha_{ек} =$ | $\alpha_{ек} = (\alpha''_{ек} + \alpha''_{пе}) / 2 = 1.14$ |
| 4 | Повітропідіг | $\alpha''_{вп} = \alpha''_{ух} = \alpha''_{ек} + \Delta\alpha_{вп} =$ | $\Delta\alpha_{вп} =$ | $\alpha_{вп} = (\alpha''_{ух} + \alpha''_{ек}) / 2 =$ |

Паливо та продукти горіння.

Для заданого виду та марки палива з таблиць [1, П.1 та П.2] описуємо елементарний склад робочої маси:

Розмір теплоти згоряння $Q_n^p =$ ккал/кг.

$$W^n = \frac{W^p \cdot 1000}{Q_n^p} = \frac{3 \cdot 1000}{9490} = 0,011 \frac{\%_{кг} \cdot 10^3}{\text{ккал}}$$

Наведена вологість

Наведена зольність

$$A^n = \frac{A^p \cdot 1000}{Q_y^h} = 0 \frac{\%_{\text{кз}} \cdot 10^3}{\text{ккал}}$$

Для контролю перевіряється баланс елементарного складу:

$$C^p + H^p + S^p + N^p + O^p + A^p + W^p = 83,8 + 11,2 + 1,4 + 0,5 + 0,5 + 3 = 100\%$$

Теоретичні обсяги повітря V° та продуктів горіння V_{RO_2} , $V_{\text{N}_2}^\circ$, $V_{\text{H}_2\text{O}}^\circ$ при $\alpha = 1$ виписуються з додатком [1, табл. П.1] для твердих палив:

$$V^\circ = 10,45 \text{ м}^3 / \text{кг}; V_{\text{RO}_2} = 1,57 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$V_{\text{N}_2}^\circ = 8,25 \text{ м}^3 / \text{кг};$$

$$V^{\text{про}}_{\text{H}_2\text{O}} = 1,45 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

При $\alpha > 1$ обсяги продуктів горіння V_Γ , об'ємні частки триатомних газів та водяної пари r_{RO_2} , $r_{\text{H}_2\text{O}}$ безрозмірну концентрацію золи $\mu_{\text{зл}}$ масу газів G_Γ їх щільність ρ_Γ розраховуються по всіх газоходах для середніх і кінцевих значень α і зводяться в табл. 2.1.

Ентальпії повітря та продуктів горіння I_B° , I_Γ° при $\alpha = 1$ для табличних значень робочої маси твердих і рідких палив та сухої маси газових палив беруть відповідно [1, табл. П.3 (стор. 21-29) та П.4 (стор. 30-32)] у всьому діапазоні температур газів V_Γ (100-2200° С).

Ентальпії продуктів горіння при $\alpha > 1$ розраховуються за формулою (ккал/кг, ккал/м³):

$$I_\Gamma = I_\Gamma^\circ + (\alpha' - 1) \cdot I_B^\circ, \quad (2.1)$$

В даному випадку ентальпія золи не враховується.

Таблиця 2.1

Обсяги та маси продуктів горіння, частки триатомних газів та водяних пар, концентрація золи

| № п/п | Величина | Одиниці | V° = 10,45; V _{RO2} = 1,57; V _{N2°} = 8,25; V _{H2O°} = 1,45,45; A ^p = 0 | | | |
|----------|---|---------|--|----------------|--------------|----------------|
| | | | Газоходи | | | |
| | | | Топка та фестонок | Пароперегрівач | Еконо-майзер | Повітрохопівач |
| 1 | Коефіцієнт надлишку повітря за газоходом " | - | 1.1 | 1.13 | 1.15 | 1.18 |
| 2 | Коефіцієнт надлишку повітря середній у газоході α | - | 1.1 | 1.115 | 1.14 | 1.165 |
| 3 | V _{H2O} = V _{H2O°} + 0,016(α-1)V° | за | 1,4668 | - | - | 1,4803 |
| | | пор. | - | 1,4693 | 1,4736 | 1,5778 |
| 4 | V _г = V _{RO2} + V _{N2°} + V _{H2O} + (α-1)V° | за | 12,3318 | - | - | 13,1813 |
| | | пор. | - | 12,4911 | 12,7566 | 13,0221 |
| 5 | $r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{г}}$ | за | 0,1273 | - | - | 0.1191 |
| | | пор. | - | 0.1257 | 0.1231 | 0.1206 |
| 6 | $r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{г}}$ | за | 0.1189 | - | - | 0.1123 |
| | | пор. | - | 0.1176 | 0.1155 | 0.1135 |
| 7 | Γ _п = Γ _{RO2} + Γ _{H2O} | за | 0.2462 | - | - | 0.2314 |
| | | пор. | - | 0.2433 | 0.2386 | 0.2341 |
| 8 | G _г = 1 - A ^p / 100 + 1,306 αV° | за | 16,0115 | - | - | 17,1033 |
| | | пор. | - | 16,2162 | 16,5741 | 16,8986 |
| 9 | $\mu_{зи} = \frac{\alpha_{ун} A^p}{100 G_г}$ | за | 0.0001 | - | - | 0.0001 |
| | | пор. | - | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 |
| 10 | ρ _г = G _г / V _г | за | 1.2984 | - | - | 1.2975 |
| | | пор. | - | 1.2982 | 1.2933 | 1.2977 |

Ентальпію золи враховують лише в тому випадку, якщо наведена зольність винесення золи з топки (% кг/ккал):

$$\frac{1000 \cdot \alpha_{ун} \cdot A^p}{Q_n^p} > 6. \quad (2.2)$$

Результати розрахунків зводяться в таблицю 2.2, за якою будується діаграма I_г - Γ (ρ_г).

Таблиця 2.2.

Ентальпії повітря та продуктів горіння газоходами парового котла.

| Газохід | Температура газів ϑ^0C . | J_G^0 | J_B^0 | $(\alpha'' - 1)J_B^0$ | $J_G = J_G^0 + (\alpha'' - 1)J_B^0$ | $\Delta J_G = (J_G)_i - (J_G)_{i+1}$ |
|---|------------------------------------|---------|---------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Топка та фєстон $\alpha''_T = 1,1$ | 2200 | 10035 | 8484 | 848,4 | 1088,34 | 507 |
| | 2100 | 9528 | 8066 | 806,6 | 1033,4 | 505 |
| | 2000 | 9023 | 7648 | 764,8 | 9787,8 | 498 |
| | 1900 | 8525 | 7230 | 723,0 | 9248 | 496 |
| | 1800 | 8022 | 6812 | 681,2 | 8703,2 | 494 |
| | 1700 | 7528 | 6465 | 640,5 | 8168,5 | 492 |
| | 1600 | 7036 | 5997 | 599,7 | 7635,7 | 490 |
| | 1500 | 6546 | 5590 | 559 | 7105 | 482 |
| | 1400 | 6064 | 5182 | 518,2 | 6582,2 | 480 |
| | 1300 | 5578 | 4775 | 477,5 | 6055,5 | 477 |
| | 1200 | 5101 | 4378 | 437,8 | 5538,8 | 466 |
| | 1100 | 4635 | 3981 | 398,1 | 5033,1 | 462 |
| | 1000 | 4173 | 3584 | 358,4 | 4531,4 | 461 |
| | 900 | 3712 | 3197 | 319,7 | 4031,7 | 461 |
| Пароперегрївач $\alpha''_{ne} = 1,13$ | 700 | 2811 | 2445 | 317,85 | 3128,85 | 432 |
| | 600 | 2379 | 2071 | 269,32 | 2648,2 | 421 |
| | 500 | 1958 | 1707 | 221,91 | 2179,91 | 413 |
| | 400 | 1545 | 1351 | 175,63 | 1720,63 | 413 |
| Економайзер $\alpha''_{эк} = 1,15$ | 500 | 1958 | 1707 | 256,05 | 2214,05 | 413 |
| | 400 | 1545 | 1351 | 202,65 | 264,8 | 421 |
| | 300 | 1142 | 1005 | 150,75 | 1291,75 | 421 |
| Повїтрохопогрївач $\alpha''_{en} = \alpha''_{yx} = 1,18$ | 300 | 1142 | 10005 | 180,9 | 1322,9 | 396 |
| | 200 | 752 | 664 | 119,52 | 871,52 | 380 |
| | 100 | 372 | 330 | 54,9 | 431,4 | 380 |

РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПАРОВОГО КОТЛА. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА.

Тепловий баланс складають для стану парового котла на 1 кг твердого палива і рідкого або на 1 м³ газового палива у вигляді (ккал/кг, ккал/м³):

$$Q_{p^P} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (3.1)$$

або у вигляді:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6. \quad (3.2)$$

Враховуючи, що для рекомендованих до проектування парових котлів не застосовуються горючі сланці (витрата тепла на розкладання карбонатів палива $Q_k = 0$), тепло палива $Q_{p^P, \text{що}}$ розташовується за формулою:

$$Q_{p^P} = Q_{n^P} + Q_{\text{ст.}} + i_{\text{тл}}, \quad (3.3)$$

Величину тепла, що вноситься повітрям, що підігрівається поза паровим котлом, $Q_{\text{в. вн.}}$ враховують тільки для високосірчистих мазутів.

Величину фізичного тепла палива $i_{\text{тл}}$ враховують лише для рідких палив. Значить, у нашому випадку:

$$Q_{p^P} = Q_{n^P} = 3740 \text{ ккал/кг} \quad (3.4)$$

Втрати тепла з хімічним q_3 і механічним q_4 недопалом визначаються [1, табл. 3.1] залежно від виду палива та продуктивності парового котла.

У нашому випадку при $D = 35$ т/год:

$$q_3 = 0.5\%, q_4 = 0\%.$$

Втрата тепла з газами, що йдуть, знаходиться за формулою:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p} \cdot 100\% = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{xg}^0)}{Q_p} \cdot (100 - q_4),$$

$$\text{де: } I_{xv}^0 = 9,5 \cdot V^0 = 9,5 \cdot 10,45 = 99,279 \text{ ккал/кг.}$$

Розмір ентальпії газів. I_{yx} визначається лінійною інтерполяцією за таблицею 2.2 для заданої температури газів, що йдуть $t_{yx} = 180^\circ \text{C}$ і коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = \alpha''_{\text{вп}} = 1,18$ (табл.1.1).

$$q_2 = \frac{(597,6 - 1,18 \cdot 99,279)}{9548,44} \cdot (100 - 1) = 5,0317\%,$$

$$\text{де: } I_{yx} = 597,6 \text{ ккал/кг.}$$

Для всіх парових котлів та палив, зазначених у [1, табл П.1 та П.2], значення має знаходитися в межах 4,5-11%. У нашому випадку ця умова виконується.

Втрата тепла від зовнішнього охолодження q_5 знаходиться по [1, рис 3.1]:

$$q_5 = 0,75\%.$$

Втрати з фізичним теплом шлаку q_6 враховують лише при спалюванні твердих палив якщо:

$$A^p > \frac{Q_H^p}{100}.$$

$q_6 = 0$ - Не враховується.

ККД парового казана брутто знаходиться за методом зворотного балансу.

$$\eta_{пк} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \quad (3.6)$$

$$\eta_{пк} = 100 - (5,0317 + 0,5 + 0,75) = 93,72\%.$$

При розрахунку конвективних поверхонь нагрівання частку втрати тепла q_5 припадає на окремі газоходи враховують введенням коефіцієнта збереження тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{q_5 + \eta_{пк}} = 0,989 \quad (3.7)$$

де: $\eta_{пк} = q_1$ - коефіцієнт корисної дії парового казана "брутто", %

Витрата палива, що подається в топку:

$$B = \frac{Q_{пк}}{Q_p \cdot \eta_{пк}} \cdot 100, \quad (3.8)$$

де $Q_{пк}$ - кількість теплоти, корисно віддане в паровому казані:

$$Q_{пк} = D_k \cdot (i_{не} - i_{не}) \cdot 1000, \quad (3.9)$$

де D_k - Паропродуктивність котла, т/год.

$$Q_{пк} = 75 \cdot (789,8 - 151,6) \cdot 1000 = 47865000 \text{ ккал/ч}.$$

Значення ентальпії перегрітої пари $i_{не}$ знаходиться [1, табл. П .7] за заданим тиском $P_{не}$ і температурі $t_{не}$ пари за пароперегрівачем. Ентальпію поживної води

– по [1, табл. П.6] по заданим температурі $t_{пв}$ і тиску $P_{пв}$ поживної води за регулятором живлення котла ($P_{пв} = 1,08 P_{б}$ де $P_{б}$ - тиск в барабані котла).

$$P_{пв} = 1,08 * 44 = 47,52 \text{ кгс/см}^2, B = \frac{47865000}{9548,44 \cdot 93,72} \cdot 100 = 5348,86 \text{ кг/ч}.$$

Витрата палива, знайдений по (3.8), використовують у розрахунку елементів системи пилоприготування при виборі числа та продуктивності вуглерозмальних млинів, числа та потужності пальникових пристроїв. Але тепловий розрахунок парового котла, визначення обсягів димових газів і повітря та кількості тепла, відданого продуктами горіння поверхням нагріву, виробляються за розрахунковою витратою палива, що фактично згорів, з урахуванням механічної неповноти горіння:

$$B_p = B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \text{ кг/ч}. \text{ Т.к } q_4 = 0$$

$$B_p = B$$

Вибір схеми спалювання палива.

Для котла Е-75-40 ГМ та палива мазут сірчистий. Схема підготовки та подачі палива представлена на рис . 4.1.

РОЗДІЛ 4. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТОПКИ

Завданням перевірного розрахунку є визначення температури газів на виході з топки при заданих конструктивних розмірах. Конструктивні розміри топки визначають за кресленнями парового казана, заданого для курсового проекту.

4.1. Визначення конструктивних розмірів та характеристик топкової камери

На рис. 4 показана схема камери згоряння. Конструктивні характеристики занесені до табл. 41. При розрахунку конструктивних розмірів топки важливо правильно визначити активний обсяг топкової камери. Межами об'єму є площини, що проходять через осьові лінії екранних труб, а у вихідному перерізі – площина, що проходить через осьові лінії труб першого ряду фестону. У казані Е-75-40 ГМ межею об'єму в нижній частині топки є під.

Геометричні розміри, необхідні розрахунків і систематизовані в табл. 4.1, в основному беруть із креслення, користуючись вказаними на них розмірами.

Розрахункову ширину фронтної b_{cm}^{ϕ} та задньої b_{cm}^3 стін топки визначають відстанню між площинами, що проходять через осі труб бічних екранів, а ширину бічних стін b_{cm}^{δ} між площинами, що проходять через осі труб фронтного та заднього екранів. Висвітлену довжину фронтної l_{cm}^{ϕ} та задньої l_{cm}^3 стін топки визначають за фактичними розмірами площини, що проходить через осі труб відповідного екрана в межах об'єму топки.

Площу бічної стіни F_{cm}^{δ} в межах активного об'єму топки визначають як площу зазначених фігур, користуючись найпростішими математичними прийомами.

Геометричні розміри площини фестону та вихідного вікна топки збігаються. Ширину визначають відстанню між площинами, що проходять через

осі труб бічних екранів, а довжину (висоту) – за дійсним розміром конфігурації осі труби першого ряду фестону в межах активного об'єму топки. Фестон і задній екран умовно поділяють умовною площиною, що є продовженням ската горизонтального газоходу.

Зовнішній діаметр труб d крок між ними S число труб в екрані z і відстань від осі труби до обмуровки e приймають по кресленню.

Таблиця 4.1

Конструктивні розміри та характеристики камери згоряння

| № п/ п | Найменування величин | Позначення | Одиниця | Джерело -нік або формула | Топкові екрани | | | | | Вихід не вікно |
|--------------|--|------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|
| | | | | | Фронтний | | Боков ий | Задній | | |
| | | | | | Основна частина | Під або хол. зводій. | | Основна частина | Під або хол. зводій. | |
| 1 | Розрахункова ширина екранованої стіни | $b_{ст}$ | м | Креслен ня та ескіз | $b^{\phi}_{ст} =$ 5,78 | $b^{\phi'}_{ст} =$ 5,78 | $b^{\delta}_{ст} =$ 5,02 | $b^{\delta}_{ст} =$ 5,78 | $b^{\delta'}_{ст} =$ 5,78 | $b_{ок} =$ 5,78 |
| 2 | Освітлена довжина стіни | $l_{ст}$ | м | Креслен ня та ескіз | $l^{\phi}_{ст} =$ 13,43 | $l^{\phi'}_{ст} = 2,35$ | - | $L^{\delta}_{ст} =$ 7,7 | $l^{\delta'}_{ст} =$ 2,5 | $l_{ок} =$ 4,0 |
| 3 | Площа стіни | $F_{ст}$ | м ² | $b_{ст} * l_{ст}$ | $F^{\phi}_{ст} =$ 77,63 | $F^{\phi'}_{ст} =$ 13,58 | $F^{\delta}_{ст} =$ 51,37 | $F^{\delta}_{ст} =$ 44,5 | $F^{\delta'}_{ст} =$ 14,47 | $F_{ок} =$ 23,12 |
| 4 | Площа ділянки стіни, не закритої екранами, наприклад зайнятого амбразурами пальників, соплами тощо. | $F^i_{ст}$ | м ² | Креслен ня та ескіз | $F^{\phi^i}_{ст} =$ 2,625 | - | - | - | - | - |

Продовження таблиці 4.1

| | | | | | | | | | | |
|----|---|---------|----|--------------------|--|-----------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------|
| 5 | Зовнішній діаметр труб | d | м | Креслення та ескіз | $d_{\phi} = d_{\phi'} = d_{\delta} = d_{\delta_3} = d_{\delta_3'} = d_{\delta_3''} = 0,06$ | | | | | |
| 6 | Число труб в екрані | z | шт | Креслення та ескіз | $z_{\phi} = 53$ | $z_{\phi'} = 53$ | $z_{\delta} = 45$ | $z_{\delta_3} = 53$ | $z_{\delta_3'} = 53$ | - |
| 7 | Крок екранних труб | S | м | Креслення та ескіз | $S_{\phi} = 0,1$ | $S_{\phi'} = 0,1$ | $S_{\delta_{cp}} = 0,1$ | $S_{\delta_3} = 0,1$ | $S_{\delta_3'} = 0,1$ | - |
| 8 | Відносний крок труб | S / d | - | - | 1,67 | 1,67 | 1,67 | 1,67 | 1,67 | - |
| 9 | Відстань від осі труби до обмурівки | e | м | Креслення та ескіз | $e_{\phi} = 0,06$ | $e_{\phi'} = 0,06$ | $e_{\delta} = 0,06$ | $e_{\delta_3} = 0,06$ | $e_{\delta_3'} = 0,06$ | - |
| 10 | Відносна відстань до обмурівки | e / d | - | - | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| 11 | Кутовий коефіцієнт екрану | x | - | Ном. 1а | $x_{\phi} = 0,93$ | $x_{\phi'} = 0,1$ | $x_{\delta} = 0,93$ | $x_{\delta_3} = 0,93$ | $x_{\delta_3'} = 1$ | $x_{ок} = 1$ |
| 12 | Коефіцієнт, що враховує забруднення | ζ | - | Таблиця 2.2 | $\zeta_{\phi} = 0,65$ | $\zeta_{\phi'} = 0,2$ | $\zeta_{\delta} = 0,65$ | $\zeta_{\delta_3} = 0,65$ | $\zeta_{\delta_3'} = 0,2$ | $\zeta_{ок} = 0,65$ |
| 13 | Коефіцієнт теплової ефективності екрану | Ψ | - | $x * \zeta$ | $\Psi_{\phi} = 0,6045$ | $\Psi_{\phi'} = 0,2$ | $\Psi_{\delta} = 0,6045$ | $\Psi_{\delta_3} = 0,6045$ | $\Psi_{\delta_3'} = 0,2$ | $\Psi_{ок} = 0,65$ |

Середнє значення теплової ефективності Ψ_{cp} для топки загалом визначають за формулою:

$$\Psi_{cp} = \frac{[\Psi^{\phi}(F_{cm}^{\phi} - F_{cm}^{\phi i}) + \Psi^{a'}(F_{cm}^{\phi'} - F_{cm}^{\phi' i}) + 2\Psi^{\delta}(F_{cm}^{\delta} - F_{cm}^{\delta i}) + \Psi^{\delta_3}(F_{cm}^{\delta_3} - F_{cm}^{\delta_3 i}) + \Psi^{\delta_3'}(F_{cm}^{\delta_3'} - F_{cm}^{\delta_3' i}) + \Psi_{ок} F_{ок}] (4.1)}{F_{cm}^T}$$

де у знаменнику F_{cm}^m – розрахункова площа стін топки, яку визначають як суму площ (площин), що обмежують активний обсяг топки m^2 (з табл. 4.1); у чисельнику – алгебраїчна сума творів коефіцієнтів теплової ефективності

екранів на відповідних цим екранам площі стін, покриті випарними поверхнями

$F_{cm} - F_{cm}^i$; F_{cm}^i - площі ділянок стін i - ого екрана, не захищених трубами.

Площа стін топки:

$$\begin{aligned} F_{cm}^m &= F_{cm}^{\phi} + F_{cm}^{\phi'} + 2 * F_{cm}^{\sigma} + F_{cm}^{\sigma'} + F_{cm}^{\sigma''} + F_{ок} = \\ &= 77,63 + 13,58 + 102,7 + 44,5 + 14,45 + 23,12 = 276 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Тоді середнє значення коефіцієнта теплової ефективності для топки:

$$\begin{aligned} \psi_{cp} &= [0,6045 * (77,63 - 2,625) + 0,2 * 13,58 + 2 * 0,6045 * 51,35 + \\ &+ 0,6045 * 44,5 + 0,2 * 14,45 + 0,65 * 23,12] / 276 = 0,507. \end{aligned}$$

Активний об'єм камери згоряння визначають за формулою:

$$V_m = F_{cm}^{\sigma} * b_m = 51,35 * 5,78 = 297 \text{ м}^3 \quad (4.2)$$

Ефективну товщину випромінюючого шару в топці визначають за формулою:

$$S_m = 3,6 * V_m / F_{cm}^m = 3,6 * 297 / 276 = 3,874 \text{ м}. \quad (4.3)$$

4.2. Розрахунок теплообміну у топці

Розрахунок заснований на додатку теорії подібності до топових процесів. Розрахункова формула пов'язує безрозмірну температуру газів на виході з топки Θ_m'' з критерієм Больцмана Bo , ступенем чорноти топки a_m і параметром M , що враховує характер розподілу температур по висоті топки і залежить від відносного розташування максимуму температур полум'я, який визначається

схемою розміщення і типом пальників. При розрахунку використовується як вихідна формула:

$$\theta_m'' = \frac{T_m''}{T_n} = \frac{Bo^{0,6}}{M \cdot \alpha_m^{0,6} + Bo^{0,6}}, \quad (4.4)$$

де θ_m'' – безрозмірна температура на виході з топки;

$T_m'' = v_m'' + 273$ – абсолютна температура газів на виході з топки, К ;

$T_a = a + 273$ – температура газів, яка була б при адіабатичному згорянні палива ;

α_m – ступінь чорноти топки;

M – параметр, що враховує характер розподілу температур висотою топки;

Bo – критерій Больцмана визначається за такою формулою:

$$Bo = \frac{Y \cdot B_p \cdot (V_c)_{cp}}{4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \Psi_{cp} \cdot F_{cm}^m \cdot T_a^3} \quad (4.5)$$

З формул (5.4) та (5.5) виводиться розрахункова формула для визначення температури газів на виході їх топки v_m'' :

$$v_m''' = \frac{T_a}{M \cdot \left(\frac{4,9 \cdot \Psi_{cp} \cdot F_{cm}^m \cdot \alpha_m \cdot T_a^3}{10^8 \cdot \varphi \cdot B_p \cdot (V_c)_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273, \quad (4.6)$$

- φ коефіцієнт збереження тепла;
- B_p - Розрахункова витрата палива;
- F_{CT}^T - Розрахункова площа стін топки;
- Ψ_{cp} - Середній коефіцієнт теплової ефективності екранів;

- $4,9 \cdot 10^{-8}$ - Коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $\left[\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}^4} \right]$;
- $(Vc)_{\text{ср}}$ - Середня сумарна теплоємність продуктів горіння 1 кг палива в інтервалі температур газів від ϑ_a до ϑ_T'' , $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$.

Визначається корисне теплосприйняття в топці Q_T і відповідна адіабатична температура горіння T_a .

$$Q_m = Q_p^p \cdot \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{\text{в}}, \quad (4.7)$$

де Q_p^p , q_3 , q_4 - за даними пункту 3, q_6 - у разі не враховується.

Кількість тепла, що вноситься в топку з повітрям:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{ГВ}} + Q_{\text{ХВ}} \quad (4.8)$$

де $I_{\text{ГВ}}^0$ та $I_{\text{ХВ}}^0$ - ентальпії теоретичних об'ємів повітря відповідно гарячого та холодного: $I_{\text{ГВ}}^0 = 636$ ккал/кг; $I_{\text{ХВ}}^0 = 95$ ккал/кг. Присоси із табл. 1.1. $\alpha_{\text{пл}} = 0.05$ - присос у топку (з [2, табл. 2.3]).

$$Q_{\text{в}} = (1.1 - 0.05) \cdot 636 + 0,05 \cdot 95 = 672,5 \text{ ккал/кг.}$$

Підставляючи всі дані (5.7) отримуємо:

$$Q_T = 9548,44 \cdot (100 - 0,5) / 100 + 672,5 = 9567,88 \text{ ккал / кг}$$

Корисне тепловиділення в топці Q_T відповідає ентальпії газів I_a , якої вони мали б при адіабатичному згорянні паливу, тобто. $Q_T = J_a$, За значенням якої з таблиці 2.2. знаходять адіабатичну температуру горіння ϑ_a при α_T'' .

$$I_T = 9567,8 \quad V_a = 1991 \text{ } ^\circ\text{З}$$

Параметр M , що характеризує температурне поле за висотою топки, визначається за формулою

$$M = A - B - x_T, \quad (4.9)$$

де $A = 0.54$ та $B = 0.2$ - досвідчені коефіцієнти.

Відносне положення максимуму температур факела в топці визначається за формулою

$$x_T = x_\Gamma + \Delta x, \quad (4.10)$$

де $x_\Gamma = h_\Gamma / H_\Gamma$ - відносний рівень розташування пальників, що є відношенням висоти розташування пальників h_Γ (від пода топки) до загальної висоти топки H_Γ (від пода топки до середини вихідного вікна з топки); $h_\Gamma = 2,142$ м, $x_\Gamma = 0.2279$

$$X_p = 0,54 - 0,2 * 0,2279 = 0,49$$

Ступінь чорноти a_T і критерій Больцмана Bo залежить від пошуку - температури газів на виході з топки v_T ".

Орієнтовно прийmemo $\tau_T = 1000 \text{ } ^\circ\text{С}$; при цьому $I_{T,\tau} = 4461$ ккал/кг.

Середню сумарну теплоємність продуктів згоряння 1 кг палива від v_a до v_T " визначають за формулою

$$V_{ср} = (Q_T - I'_{T,\tau}) / (v_a - v_T) \quad (4.11)$$

$$V_{ср} = (Q_T - I'_{T,\tau}) / (v_a - v_T) = (9567,8 - 4461) / (1991 - 1000) = 5,21 \text{ ккал}/(\text{кг} * ^\circ\text{С})$$

де J_T'' – ентальпія продуктів горіння 1 кг палива для прийнятої нами температури газів ϑ_T'' , визначаємо за таблицею 2.2 при $\alpha_T'' = 1,1$.

Ступінь чорноти топки визначається за формулою

$$a_m = \frac{a_\phi}{a_\phi + (1 - a_\phi) \cdot \psi_{cp}}, \quad (4.12)$$

де a_ϕ - ефективний ступінь чорноти смолоскипа.

При камерному спалюванні рідкого палива основними випромінюючими компонентами є триатомні газы (CO_2 і H_2O). У цьому випадку a_ϕ визначається за формулою

$$a_\phi = m * a_{cv} + (1 - m) * a_z \quad (4.13)$$

$k_r = 0.5 \text{ (м} \cdot \text{кгс/см}^2 \text{)}^{-1}$ - коефіцієнт ослаблення променів топковим середовищем визначається за номограмою 3 [2, рис.2.4].

Залежно від $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,182$ твір

$$P_{\text{II}} \cdot S_T = 1.05 \text{ (м} \cdot \text{кгс/см}^2 \text{)},$$

де $P_{\text{II}} = P * r_{\text{II}} = r_{\text{II}} = 0,27 \text{ кгс/см}^2$ ($P = 1 \text{ кгс/см}^2$).

$$\text{По (4.13) } a_\phi = 1 - e^{-0,2377 * 1 * 3,746} = 0,5917.$$

$$\text{За (4.12) } a_m = \frac{0,5917}{0,5917 + (1 - 0,5917)0,44} = \frac{0,5917}{0,7714} = 0,767.$$

K_c – коефіцієнт ослаблення променів сажистими частинками

$$\frac{C^P}{H^P} = 3$$

$$T_T = 1000 + 273 = 1273K$$

$$a_T = \frac{0,4232}{0,4232 + (1 - 0,4232) \cdot 0,507} = 0,5914$$

$$k_c = 0,03(2 - \alpha''T)(1,6 \frac{T_T''}{1000} - 0,5) \frac{C^P}{H^P}$$

$$k_c = 0,03(2 - 1,1)(1,6 \frac{1273}{1000} - 0,5)3 = 0,13$$

$$a_{cp} = (-e^{-0,00,27 \cdot 0,13}) \cdot 3,874 = 0,632$$

$$a_z = (-e^{-0,0,0,27 \cdot 3,874}) \cdot 3,874 = 0,4$$

$$a_\phi = 0,1 * 0,632 + (1 - 0,1) * 0,4 = 0,4232$$

Підставляючи M , a_ϕ , a_T , $(Vc)_{cp}$ формулу (4.6), отримуємо:

$$v_T'' = \frac{T_a}{M \cdot \left(\frac{4,9 \cdot \Psi_{cp} \cdot F_{cm}^m \cdot a_m \cdot T_a^3}{10^8 \cdot \phi \cdot Bp \cdot (Vc)_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1059^\circ C \quad (4.14)$$

Так як отримана $T_T'' = 1059^\circ C$ менш ніж на 100 градусів відрізняється.

Визначається кількість тепла, передана випромінюванням топці за формулою

$$Q_{л} = \phi(Q_T - I''_T) = 0,9919 * (9567,8 - 4720) = 4807 \text{ ккал / кг} \quad (4.15)$$

Питома теплова напруга об'єму топки розраховується за формулою

$$q_{V'} = B_p * Q^P_p / V_m = 5923,8 * 8940 / 297 = 178,3 \text{ Мкал / (м}^2 * \text{год)} \quad (4.16)$$

Питома теплова напруга перерізу топки в області пальників розраховується за формулою

$$q_f = \frac{B_p * Q_p}{f} \quad (4.17)$$

де $f = b_{\phi_{ст}} * b_{\delta_{ст}} = 5,87 * 5,02 = 29,4674$ м² - перетин топки.

$$q_f = \frac{5923,8 * 8940}{178,3} = 1826,2$$

РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ФЕСТОНУ

За кресленнями та ескізом становлять таблицю 6.1. конструктивних розмірів та характеристик фестону, визначаємо розрахункову поверхню та площу живого перерізу для проходу газів. Конструктивні розміри визначаємо для кожного ряду труб фестону та поверхні в цілому.

Конструктивні розміри та характеристики фестону. Довжина труби l_i визначається осовою лінії труби з урахуванням її конфігурації. Поперечний крок S_1 дорівнює восьми крокам заднього екрана .

Площа живого перерізу для проходу газів у кожному ряду визначається за формулою

$$F_i = a_i * b * z_1 * l_{инп} * d, \quad (5.1)$$

де $l_{инп}$ - Довжина проекції труби на площині перерізу, що проходить через вісь труб ряду, що розраховується, м;

a_i - Висота газоходу, м;

b - ширина газоходу, м (однакова всім рядів фестону);

z_1 - кількість труб у ряду;

d – зовнішній діаметр труб, м.м.

a_i, b, z_1, d беремо з таблиці 6.1 для відповідного ряду фестону:

Так як $F_{вх}$ і $F_{вих}$ відрізняються менш ніж на 25%, $F_{ср}$ знаходиться усередненням :

$$F_{ср} = (F_{вх} + F_{вих})/2 \quad (5.2)$$

Таблиця 5.1

Конструктивні розміри та характеристики фестону

| Найменування вів ічин | Позначення | Одиниця | Ряди фестону | | | | Для всього фестону |
|---|------------|----------------|--------------|------|------|------|--------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Зовнішній діаметр труб | d | м | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Кількість труб у ряду | z_1 | - | 18 | 18 | 18 | 17 | - |
| Довжина труби в ряду | l_i | м | 4,1 | 4,1 | 4,2 | 4,3 | - |
| Крок труб: | S_1 | м | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| поперечний (поперек руху газів) | S_2 | м | - | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| поздовжній (вздовж руху газів) | | | | | | | |
| Кутовий коефіцієнт фестону | x_ϕ | - | - | - | - | - | 1 |
| Розташування труб (шахове, коридорне) | - | - | Шахове | | | | |
| Розрахункова поверхня нагріву | H | м ² | 13,9 | 13,9 | 14,2 | 13,8 | 62,72 |
| Розміри газоходу: | a_i | м | 4,24 | 4,3 | 4,25 | 4,3 | - |
| висота | b | м | 5,78 | 5,78 | 5,78 | 5,78 | 5,78 |
| ширина | | | | | | | |
| Площа живого перерізу для проходу газів | F | м ² | 20,2 | 20,4 | 20,1 | 20,5 | 20,3 |
| Відносний крок труб: | | | | | | | |
| поперечний | S_1/d | - | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| поздовжній | S_2/d | - | - | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Ефективна товщина випромінюючого шару | S_ϕ | м | - | - | - | - | 1,15 |

Розрахункова поверхня нагрівання кожного ряду дорівнює геометричній поверхні всіх труб у ряду по зовнішньому діаметру і повній довжині труби, що обігривається газами, вимірної по її осі з урахуванням гибів в межах фестону (м²):

$$H_i = \pi * d * z_{li} * l_i \quad (5.3)$$

$$H_1 = \pi * 0,06 * 18 * 4,1 = 13,9 \text{ м}^2$$

$$H_2 = \pi * 0,06 * 18 * 4,1 = 13,9 \text{ м}^2$$

$$H_3 = \pi * 0,06 * 18 * 4,2 = 14,2 \text{ м}^2$$

$$H_4 = \pi * 0,06 * 17 * 4,3 = 13,8 \text{ м}^2$$

Розрахункова поверхня фестону розраховується за формулою

$$H_{\phi} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = 13,9 + 13,9 + 14,2 + 13,8 = 55,8 \text{ м}^2 \quad (5.4)$$

Додаткова поверхня екранів визначається як площа стін, покритих екранами в газоході фестону, за формулою $H_{\text{доп}} = \Sigma F_{\text{ст}} * \chi^6$, де $F_{\text{ст}}$ - поверхня стін бічних екранів

$$F_{\text{ст}} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4}{\frac{H_1}{F_1} + \frac{H_2}{F_2} + \frac{H_3}{F_3} + \frac{H_4}{F_4}} = 20,3 \text{ м}^2$$

$$\text{Тоді } H_{\text{доп}} = 7,44 * 0,93 = 6,92 \text{ м}^2 \quad (5.5)$$

$$H_{\phi} = H_{\phi} + H_{\text{доп}} = 55,8 + 6,92 = 62,72 \text{ м}^2 \quad (5.6)$$

Ефективна товщина випромінюючого шару визначається за формулою:

$$S_{\phi} = 0,9d((4/\pi)(S_1 S_2 / d^2) - 1) = 0,9 * 0,06(1,273 * 0,3 * 0,21 / 0,0036 - 1) = 1,15 \text{ м}^2$$

Вихідні дані для перевірного теплового розрахунку фестоу подано в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Вихідні дані для перевірного теплового розрахунку фестоу

| Найменування величин | Позначення | Одиниця | Величина |
|--|-----------------------|--------------------|----------|
| Температура газів перед фестоном | $v_{\phi} = v_{\tau}$ | °C | 1058 |
| Ентальпія газів перед фестоном | $I_{\phi} = I_{\tau}$ | ккал/кг | 4720 |
| Об'єм газів на виході з топки | V_{Γ} | м ³ /кг | 12,24 |
| Об'ємна частка водяної пари | r_{H_2O} | - | 0,182 |
| Сумарна об'ємна частка тритомних газів | r_{Π} | - | 0,27 |
| Концентрація золи в газоході | $\mu_{зл}$ | кг/кг | - |
| Температура стану насичення при тиску в барабані | $t_{н}$ | °C | 255 |

$$g_{\phi}'' = 950^{\circ}C.$$

За таблицею 2.2 для отриманої g_{ϕ}'' знаходять α_{τ}'' ентальпію газів за фестоном J_{ϕ}'' та за рівнянням теплового балансу теплоносія (продуктів горіння) визначають тепловосприйняття фестоу (балансове) ($\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$) ($I_{\phi}'' = 4214,5$ ккал/кг.):

Тоді балансове теплосприйняття фестоу:

$$Q_{\phi}^b = \phi (I_{\phi}' - I_{\phi}'') = 0,9919 * (4720 - 4214,5) = 501 \text{ ккал / кг.} \quad (5.7)$$

Теплосприйняття фестоу за умовами теплопередачі розраховується за формулою

$$Q_{\phi}^m = \frac{k \cdot H \cdot \Delta t}{V_p} \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}, \quad (5.8)$$

де Q^T - тепло, отримане розрахунком за рівнянням теплопередачі і сприйняте поверхнею, що розраховується, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$;

k - коефіцієнт теплопередачі, віднесений до розрахункової поверхні нагріву і враховує перенесення тепла від газового потоку як конвекцією, але і випромінюванням міжтрубного шару газів, $\frac{\text{ккал}}{(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})}$;

Δt - температурний натиск, $^\circ\text{C}$;

V_p - Розрахункова витрата палива $\frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$;

H – розрахункова поверхня нагріву, м^2 .

Коефіцієнт теплопередачі для фєстону розраховується за формулою

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1}, \quad (5.9)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки розраховується за формулою

$$\alpha_1 = \xi(\alpha_{\text{до}} + \alpha_{\text{л}}), \quad (5.10)$$

де $\alpha_{\text{до}}$ - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією,

$\alpha_{\text{л}}$ - коефіцієнт тепло віддачі випромінюванням,

ξ - коефіцієнт використання поверхні нагріву, для трубних пучків, що поперечно омиваються. $\xi = 1$.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від газів до стінки труб розраховують середню швидкість газового потоку

$$W = \left(\frac{B_p V_r}{3600 F} \right) \left(\frac{v + 273}{273} \right),$$

де $v = (v''_{\phi} + v'_{\phi})/2 = 983,5$ про С, $F = F_{\text{ср}} = 20,3$ м;

$$W = (5923,8 * 12,24) / (3600 * 20,3) ((1004 + 273) / 273) = 4,7 \text{ м / с} \quad (5.11)$$

$$\alpha_{\text{до}} = \alpha_{\text{н}} \cdot C_z \cdot C_s \cdot C_{\phi} = 38 * 0,92 * 1,05 * 0,96 = 35 \text{ ккал / (м}^2 * \text{год} * \text{про}^{\circ} \text{С)}$$

$\alpha_{\text{н}} = 38 \text{ ккал/(м}^2 * \text{ч} * \text{про}^{\circ} \text{З)}$ - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією,

$C_z = 0,92$ - поправка на число рядів труб по ходу газів,

$C_s = 1,05$ - виправлення на компоновання трубного пучка,

$C_{\phi} = 0,96$ - поправка на зміну фізичних властивостей середовища - визначаються по ном. 13 [4].

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням продуктів горіння пекло визначають за номограмою 19 [4] залежно від температур потоку та стінки ($\alpha_{\text{н}}$), а також від ступеня чорноти продуктів горіння а:

$$\alpha_{\text{л}} = \alpha_{\text{н}} * a. \quad (5.12)$$

$$a = 1 - e^{-kpS}, \quad p = 1 \text{ кгс / см}^2, S = 2,30:$$

$$a = 1 - e^{-1,1 * 0,27 * 1,15} = 0,205$$

$$\alpha_{\text{л}} = 163 * 0,331 = 53,95 \text{ ккал / (м}^2 * \text{год} * \text{}^{\circ} \text{С)}$$

Для визначення ступеня чорноти продуктів горіння а використовують - формулу, де:

$$k \cdot p \cdot S = (k_{\text{г}} \cdot r_{\text{п}}) \cdot p \cdot S \quad (5.13)$$

$k_{\text{г}=1,1}$ визначаються за номограм t 3 нно.

Для використання номограми 19 треба знати температуру за забрудненою стінкою:

$$t_3 = t_H + 25 = 255 + 25 \rightarrow \alpha_H = 150 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{про} \text{ } ^\circ\text{C}).$$

$$\alpha_{\text{л}} = 150 * 0,285 * 1 = 42,75 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\alpha_1 = \zeta(\alpha_k + \alpha_{\text{л}}) = \alpha_k + \alpha_{\text{л}} = 35 + 42,75 = 77,75 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{ } ^\circ\text{C})$$

Коефіцієнт теплової ефективності $\psi = 0,85$

$$k = 0,85 * 77,75 = 66,1 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Тепловий напір визначається за такою формулою:

$$\Delta t_{\sigma} = 1014 - 255 = 759 \text{ про} \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta t_m = 953 - 255 = 698$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_m}{2,31 \lg(\Delta t_{\sigma} / \Delta t_m)} = \frac{803 - 698}{2,3 * 0,0792} = 749,5 \text{ про} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.14)$$

Підставляючи знайдені k та Δt у формулу (6.7) знаходимо:

$$Q_T = \frac{kH\Delta t}{B_p} = \frac{66,1 * 62,72 * 749,5}{5923,8} = 524 \text{ ккал}/\text{кг}$$

Правильність розрахунку визначається виразом:

$$\frac{Q_{\phi}^{\sigma} - Q_{\phi}^m}{Q_{\phi}^{\sigma}} * 100 = \frac{501 - 524}{501} = -4,6 \% < 5\%$$

Так як теплосприйняття фестоу за рівнянням теплового балансу та теплопередачі відрізняється менш ніж на 5%, то розрахунок вважаємо закінченим.

РОЗДІЛ 6.
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОСПРИЙНЯТТЯ ПАРОПЕРЕГРІВАЧА,
ЕКОНОМАЙЗЕРА, ПОВІТРОПІДГРІВАЧА ТА ЗВЕДЕННЯ
ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ ПАРОВОГО КОТЛА

6.1. Теплосприйняття пароперегрівача та повітропідігрівача

Теплосприйняття пароперегрівача і повітропідігрівача визначають за рівняннями теплового балансу робочого тіла (пара, повітря), а теплосприйняття економайзера - за рівнянням теплового балансу теплоносія (продуктів згоряння).

Теплосприйняття пароперегрівача визначають за формулою:

$$Q_{ne} = \frac{D_{ne}}{B_p} [i_{ne} - (i_n - \Delta i_{no})] = \frac{75000}{5923,8} [789,8 - 668,2 - 15] = 1730,0 \text{ ккал/кг} \quad (6.1)$$

де D_{ne} – паропроодуктивність котла, кг/год;

i_{ne} , i_n – відповідно ентальпії перегрітої та сухої насиченої пари: за таблицями термодинамічного стану пари i_{ne} визначають за заданими температурою t_{ne} та тиску P_{ne} перегрітої пари; i_n - по тиску пари в барабані P_b ;

Δi_{no} – знімання тепла в пароохолоджувачі, що служить для регулювання температури перегрітої пари, ккал/кг. У котлі Е-75-40 ГМ можна прийняти $\Delta i_{no} = 10 \div 20$ ккал/кг.

Тепло, що сприймається пароперегрівачем за рахунок випромінювання факелу топки, приймається для спрощення розрахунків рівним нулю.

У цьому випадку повне теплосприйняття пароперегрівача чисельно збігається з теплосприйняттям конвекцією, ккал/кг.

$$Q_{ne}^{до} = Q_{ne} \quad (6.2)$$

Для газоходу пароперегрівача рівняння теплового балансу теплоносія

(димових газів) має вигляд:

$$Q_{ne}^{кб} = \varphi \cdot (I_{\phi}'' - I_{ne}'' + \Delta\alpha_{ne} \cdot I_{xв}^o) \quad (6.3)$$

Це рівняння вирішують щодо шуканої ентальпії газів за пароперегрівачем, ккал/кг:

$$I_{ne}'' = I_{\phi}'' - \frac{Q_{ne}}{\varphi} + \Delta\alpha_{ne} I_{xв}^o = 4214,5 - \frac{1730}{0,9919} + 0,03 \cdot 95 = 2473,4 \quad (6.4)$$

де I_{ϕ}'' - остаточне значення ентальпії газів за фестоном ;

φ - за формулою (3.7);

$I_{xв}^{про}$ - за формулою з пункту 3.6;

$\Delta\alpha_{ne}$ - із табл. 1.1.

Теплосприйняття повітропідігрівача визначають за рівнянням теплового балансу робочого тіла (повітря), оскільки температура гарячого повітря задана, теплосприйняття повітропідігрівача залежить від схеми підігріву повітря. В даному випадку є попередній підігрів повітря, що надходить у повітропідігрівач, за рахунок рециркуляції гарячого повітря Теплосприйняття повітропідігрівача одно:

$$Q_{en}^o = \left(\beta_{en}'' + \frac{\Delta\alpha_{en}}{2} \right) \cdot (I_{zв}^o - I_{e'}^o), \quad (6.5)$$

де $I_{гв}^o$ – ентальпія теоретичного обсягу гарячого повітря, табл. 2.2. при $t_{гв} = 190^\circ C$

, $J_{гв}^o = 326,6 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}$;

J_B^o - ентальпія теоретичного об'єму повітря перед повітропідігрівачем, підігрітого за рахунок подачі частини гарячого повітря на всмоктування

дутьового вентилятора або в спеціально встановлених калориферах. Через наявність попереднього підігріву величину $I_0 = 81$, ккал/кг, визначаємо по [3, табл. 2.3] та температурі повітря $t'_в = 60$ про С, перед повітропідігрівачем.

$$\beta''_{ен} = \alpha''_m - \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_{нл}. \quad (6.6)$$

$$\beta''_{ен} = 1,1 - 0,05 - 0 = 1,05$$

Сталення обсягу повітря за повітропідігрівачем до теоретично - необхідному визначається за табл. 1.1:

Відношення обсягу рециркуляції в повітропідігрівачі гарячого повітря до теоретично необхідного:

$$\beta_{пц} = \frac{t'_г - t_{хв}}{t_{зг} - t'_г} (\beta''_{ен} + \Delta\alpha_{ен}) = \frac{60 - 30}{190 - 60} (1,05 + 0,06) = 0,19 \quad (6.7)$$

Температура повітря перед повітропідігрівачем $t'_в$ повинна запобігати конденсації водяної пари з газового потоку на стінки труб і тим самим захищати повітропідігрівач від низькотемпературної корозії. Т опливо в моєму випадку потрапляє в клас твердих вологих і в цьому випадку $t = 50 \div 60$ ° С. Приймаємо $t = 60$ ° С . Із завдання $t_{гв} = 190$ ° С; $t_{хв} = 30$ ° С; $\Delta\alpha_{вп} = 0,06$ із табл. 1.1.

$$Q_{ен}^{\bar{}} = \left(\beta''_{ен} + \frac{\Delta\alpha_{ен}}{2} \right) (I_{зг}^0 - I_{г'}^0) = \left(1,05 + \frac{0,03}{2} \right) (636 - 95) = 576 \text{ ккал/кг}$$

Теплосприйняття повітропідігрівача за теплоносієм (за продуктами згоряння) має вигляд, ккал/кг:

$$Q_{ен}^{\bar{}} = \varphi \cdot (I''_{эк} - I_{yx} + \Delta\alpha_{ен} \cdot I_{прс}^0) \quad (6.8)$$

Рівняння вирішують щодо $I_{ек}''$ - ентальпія газів за водяним економайзером,

ккал/кг:

$$I''_{\text{эк}} = I_{\text{yx}} + \frac{Q_{\text{en}}^{\bar{0}}}{\varphi} - \Delta\alpha_{\text{en}} \cdot I_{\text{прс}}^0 \quad (6.9)$$

$I_{\text{yx}} = 350,34$ ккал/кг - ентальпія газів, що відходять визначається за табл.2. 2 для $\nu_{\text{yx}} = 160$ °С,

$I_{\text{прс}} = 203,0$ ккал/кг - ентальпію теоретичного обсягу повітря визначають за табл.2. 2 при температурі повітря, що присмоктується $t_{\text{прс}} = (t_{\text{гв}} + t_{\text{в}})/2 = (190+60)/2 = 125$ °С .

$$I''_{\text{эк}} = 929,7 + \frac{576}{0,9919} - 0,03 * 364 = 1299,5 \text{ ккал/кг}$$

Теплосприйняття водяного економайзера визначають за рівнянням теплового балансу теплоносія (димових газів):

$$Q_{\text{эк}}^{\bar{0}} = \varphi \cdot (I''_{\text{не}} - I'_{\text{эк}} + \Delta\alpha_{\text{эк}} \cdot I_{\text{хе}}^0), \quad (6.10)$$

де $\Delta\alpha_{\text{эк}}$ визначається за табл. 1.1.

$$Q_{\text{эк}}^{\bar{0}} = 0,9919(3473,4 - 1299,5 - 0,02 * 95) = 1162,5 \text{ ккал/кг}$$

Визначається нев'язка теплового балансу котла за формулою

$$\Delta Q^{\bar{0}} = Q_p^p \cdot \eta_{\text{нк}} - (Q_{\text{л}} + Q_{\text{ф}}^{\bar{0}} + Q_{\text{не}}^{\text{кб}} + Q_{\text{эк}}^{\bar{0}}) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \quad (6.11)$$

Теплосприйняття поверхонь нагріву беруться з рівнянь теплового балансу: $Q_{\text{л}}$, $Q_{\text{ф}}^{\bar{0}}$, $Q_{\text{не}}^{\text{кб}}$ (7.3), $Q_{\text{эк}}^{\bar{0}}$ (7.10), ККД $\eta_{\text{пк}}$ з (3.6) і втрати тепла від механічної неповноти згоряння q_4 з пункту 3.5.

$$\Delta Q^{\bar{0}} = 8940 * 0,9184 - (4808 + 501 + 1730 + 1162,5) = 9 \text{ ккал/кг}$$

Визначення теплосприйняття поверхонь нагріву, граничних ентальпій та

температур газів вважають правильним,

$$\Delta Q^{\delta} \leq 0,5 \frac{Q_p^p}{100} \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$$

якщо нев'язка

$$0,5 \frac{Q_p^p}{100} = 0,5 \frac{8940}{100} = 44,7 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \rightarrow 9 < 44,7 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$$

Видно, що з розрахунку помилок допущено був.

6.2. Перевірочно-конструкторський розрахунок пароперегрівача.

Весь розрахунок пароперегрівача зводиться до правильного зняття розмірів із креслення. Ескіз пароперегрівача для котла Е-75-40 ГМ наведено на рис.6.1. Розміри та інші конструктивні характеристики наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Конструктивні розміри та характеристики пароперегрівача

| Найменування величин | Позначення | Одиниця | Номер сходинок | | Весь пароперегрівач |
|------------------------------------|-------------------|---------|----------------|-------|---------------------|
| | | | 1 | 2 | |
| Зовнішній діаметр труб | d | м | 0,042 | 0,042 | 0,042 |
| Внутрішній діаметр труб | d _{вн} | м | 0,036 | 0,036 | 0,036 |
| Число труб у ряду | z ₁ | шт | 64 | 64 | - |
| Число рядів по ходу газів | z ₂ | шт | 6 | 10 | 16 |
| Середній поперечний крок труб | S ₁ | м | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Середній поздовжній крок труб | S ₂ | м | 0,012 | 0,012 | 0,012 |
| Середній відносний поперечний крок | S ₁ /d | - | 2,14 | 2,14 | 2,14 |

Продовження таблиці 6.1

| | | | | | |
|---|-----------|-------|-------|-------|----------------|
| Середній відносний поздовжній крок | S_2/d | - | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| Розташування труб | - | - | | | Коридорне |
| Характер взаємного руху середовищ | - | - | | | Змішаний струм |
| Довжина труби зміювика | l | м | 21 | 25 | - |
| Поверхня, що примикає до стіни | $F_{стх}$ | $м^2$ | 10,3 | 6,65 | 16,95 |
| Поверхня нагріву | H | $м^2$ | 187,5 | 217,7 | 405,2 |
| Висота газоходу на вході | a' | м | 4,125 | 3,25 | - |
| Висота газоходу на виході | a'' | м | 3,6 | 2,7 | - |
| Ширина газоходу | b | м | 5,78 | 5,78 | 5,78 |
| Площа живого перерізу | F_{cp} | $м^2$ | 13,1 | 10,6 | 11,6 |
| Середня ефективна товщина випромінюючого шару | S | м | - | - | 0,26 |
| Глибина газового об'єму до пучка | $l_{про}$ | м | 1 | 0,375 | 1,375 |
| Глибина пучка | $l_{п}$ | м | 0,55 | 1,05 | 1,6 |
| Кількість зміювиків, включених паралельно по пару | m | шт | 64 | 64 | 64 |
| Живий переріз для проходу пари | f | $м^2$ | 0,065 | 0,065 | 0,065 |

Площі живих перерізів для проходу газів на вході та виході визначаються за формулами

$$F_1' = a' * b - z_1 * d * l_{пр} = 4,125 * 5,78 - 64 * 0,042 * 3,425 = 14,6 \text{ м}^2$$

$$F_1'' = a'' * b - z_1 * d * l_{пр} = 3,25 * 5,78 - 64 * 0,042 * 2,5 = 12,8 \text{ м}^2$$

$$F_{1'} = a' * b - z_2 * d * l_{\text{пр}} = 3,6 * 5,78 - 64 * 0,042 * 3,425 = 11,6 \text{ м}^2$$

$$F_{1''} = a'' * b - z_2 * d * l_{\text{пр}} = 2,7 * 5,78 - 64 * 0,042 * 2,5 = 8,9 \text{ м}^2.$$

Середня (оскільки $F_{1'}$ і $F_{1''}$ відрізняються менш ніж на 25%), отримуємо:

$$F_{1^{\text{cp}}} = (F_{1'} + F_{1''})/2 = 13,1 \text{ м}^2$$

$$F_{2^{\text{cp}}} = (F_{2'} + F_{2''})/2 = 10,6 \text{ м}^2$$

Середня ефективна товщина випромінюючого шару:

$$= 0,9d((4/\pi) (S_1 S_2 / d^2)^{-1}) = 0,9 * 0,032(1,273 * 0,075 * 0,055 / 0,001 - 1) = 0,12 \text{ м}.$$

$$F_{\text{ст}^x} = (2 * l_{\text{п}} + 1,64 + 1,52) * b * x = 5,36 * 5,52 * 0,7 = 20,71 \text{ м}^2$$

де $F_{\text{ст}^x}$ - поверхня труб, що примикають до обмуровки, $x = 0,7$ - кутовий коефіцієнт, що визначається за номограмою 1 [2].

Поверхню нагріву визначаємо за формулою:

$$H = z_1 d \pi l + F_{\text{ст}^x}$$

$$H_1 = z_1 d \pi l + F_{\text{ст}^x} = 64 * 0,042 * 3,14 * 21 + 10,3 = 187,5 \text{ м}^2.$$

$$H_2 = z_1 d \pi l + F_{\text{ст}^x} = 64 * 0,042 * 3,14 * 25 + 6,65 = 217,7 \text{ м}^2.$$

Живий переріз для проходу пари:

$$f = \pi (d_{\text{вн}})^2 / 4 = 64 * 3,14 * 0,001296 / 4 = 0,065 \text{ м}^2$$

6.3. Перевірочно-конструкторський розрахунок економайзера

Весь розрахунок економайзера зводиться до правильного зняття розмірів з креслення. Ескіз економайзера для котла Е-75-40 ГМ наведено на рис.9. Розміри та інші конструктивні характеристики наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.2

Конструктивні розміри та характеристики економайзера

| Найменування величин | Позначення | Одиниця | Величина |
|---|------------|----------------|----------|
| Зовнішній діаметр труб | d | м | 0,032 |
| Внутрішній діаметр труб | $d_{вн}$ | м | 0,026 |
| Число труб у ряду | z_1 | шт | 25 |
| Число рядів по ходу газів | z_2 | шт | 40 |
| Поперечний крок труб | S_1 | м | 0,075 |
| Поздовжній крок труб | S_2 | м | 0,055 |
| Відносний поперечний крок | S_1/d | - | 2,34 |
| Відносний поздовжній крок | S_2/d | - | 1,72 |
| Розташування труб | - | - | Шахове |
| Характер взаємного руху середовищ | - | - | Протиток |
| Довжина горизонтальної частини петлі зміювика | l_1 | м | 5,85 |
| Довжина проекції одного ряду труб на горизонтальну площину перерізу | $l_{пр}$ | м | 6 |
| Довжина труби зміювика | l | м | 120,3 |
| Поверхня нагріву ЕКО | $H_{ек.ч}$ | м ² | 604,4 |
| Глибина газоходу | a | м | 1,9 |
| Ширина газоходу | b | м | 6,16 |
| Площа живого перерізу для проходу газів | F_z | м ² | 6,9 |
| Ефективна товщина випромінюючого шару | S | м | 0,122 |

Продовження таблиці 6.2

| | | | |
|--|-----------|----------------|------|
| Сумарна глибина газових обсягів до пучків | $l_{про}$ | м | 3,45 |
| Сумарна глибина пучків труб | l_n | м | 2,25 |
| Кількість змійовиків, включених паралельно по воді | m | шт | 50 |
| Живий переріз для проходу води | f | м ² | 0,02 |

Площа живого перерізу для проходу газів в економайзері при поперечному змиванні газами визначають за формулою:

$$F_r = ab - z_1 dl_{пр} = 1,9 * 6,16 - 25 * 0,032 * 6 = 6,9 \text{ м}^2$$

Площа живого перерізу для проходу води визначають за формулою :

$$f = m\pi (d_{вн})^2 / 4 = 50 * 3,14 * 0,000676 / 4 = 0,027 \text{ м}^2$$

Довжина змійовика визначається за формулою:

$$l = l_1 (z_2/2) + (z_2/2-1) \pi S_2 = 5,85 (40/2) + (40/2-1) * 3,14 * 0,055 = 120,3 \text{ м}$$

Поверхня нагріву економайзера за формулою:

$$H = \pi d l m = 3,14 * 0,032 * 78,8 * 50 = 604,4 \text{ м}^2$$

Ефективна товщина випромінюючого шару

$$S = 0,9d((4/\pi)(S_1 S_2 / d^2) - 1) = 0,9 * 0,032 (1,273 * 0,075 * 0,044 / 0,001024 - 1) = 0,122 \text{ м}$$

6.4. Характеристики повітропідігрівача

Весь розрахунок повітропідігрівача зводиться до правильного зняття розмірів із креслення. Ескіз повітропідігрівача для котла Е-75-40 ГМ наведено на рис.10. Розміри та інші конструктивні характеристики наведено у таблиці 6.2.

Таблиця 6.3

Конструктивні розміри та характеристики повітропідігрівача.

| Найменування величин | Позначення | Одиниця | Величина |
|---|------------|----------------|-----------|
| Зовнішній діаметр труб | d | м | 0,04 |
| Внутрішній діаметр труб | $d_{вн}$ | м | 0,0368 |
| Число труб у ряду (поперек руху повітря) | z_1 | шт | 100 |
| Число рядів труб по ходу повітря | z_2 | шт | 39 |
| Поперечний крок труб | S_1 | м | 0,06 |
| Поздовжній крок труб | S_2 | м | 0,042 |
| Відносний поперечний крок | S_1/d | - | 1,5 |
| Відносний поздовжній крок | S_2/d | - | 1,05 |
| Розташування труб | - | - | Шахове |
| Характер омивання труб газами | - | - | Поздовжнє |
| Характер омивання труб повітрям | - | - | Поперечне |
| Число труб, включене паралельно по газах | z_0 | шт | 3900 |
| Площа живого перерізу для проходу газів | F_z | м ² | 4,15 |
| Ширина повітропідігрівача по ходу повітря | b | м | 6,122 |

Продовження таблиці 6.3

| | | | |
|---|------------------|----------------|-------|
| Висота одного ходу повітрям (заводська) | h_x | м | 2,725 |
| Площа живого перерізу для проходу повітря (зав.) | F_ϵ | м ² | 5,775 |
| Поверхня нагріву ВЗП | $H_{\epsilon n}$ | м ² | 2563 |

Визначається загальна кількість труб, включених паралельно по газах:

$$z_0 = z_1 * z_2 = 100 * 39 = 3900.$$

Площа живого перерізу для проходу газів визначають за формулою :

$$F_2 = z_0 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\epsilon n}^2}{4} = 3900 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,0368^2}{4} = 4,15 \text{ м}^2$$

Площу живого перерізу для проходу повітря визначають за формулою:

$$F_v = h_x (b - z_1 d) = 2,725 (6,122 - 100 * 0,04) = 5,755 \text{ м}^2$$

Сумарна висота всіх газоходів повітрям:

$$h_{\text{тр}} = 3 h_x = 2 * 2,725 = 5,45 \text{ м.}$$

Поверхня нагріву повітропідігрівача:

$$H_{\text{вп}} = \pi d_{\text{ср}} h_{\text{тр}} z_0 = 3,14 * 0,0384 * 5,45 * 3900 = 2563 \text{ м}^2.$$

Ефективна площа випромінюючого шару:

$$S = 0,9 * 0,004 \left(\frac{4}{3,14} * \frac{0,06 * 0,042}{0,04^2} - 1 \right) = 0,036 \text{ м}$$

6.5. Комп'ютерний розрахунок

За перерахованими характеристиками заповнюються таблиці до розрахунку трактів котла на комп'ютері з допомогою програми " ТРАКТ ".

При машинному розрахунку підбором N_{eko} , $N_{\text{пе}}$, $N_{\text{ух}}$ необхідно домогтися, щоб ентальпія пари за барабаном і насичення дорівнювала 668-669 і домогтися, щоб температури $t_{\text{пе}}$, $t_{\text{гв}}$, $t_{\text{ух}}$ повинні бути приблизно дорівнюють заданим.

Внаслідок комп'ютерного розрахунку отримали:

$$N_{\text{взп}} = 2563 \text{ м}^2 - \text{за розрахунком}$$

$$N_{\text{взп}} = 1995 \text{ м}^2$$

$$N_{\text{eko}} = 604,4 \text{ м}^2 - \text{за розрахунком}$$

$$N_{\text{eko}} = 485 \text{ м}^2$$

$$N_{\text{кп2}} = 217,7 \text{ м}^2 - \text{за розрахунком}$$

$$N_{\text{кп2}} = 266 \text{ м}^2$$

Поверхня економайзера збільшилася, отже збільшилася кількість рядів:

$$z_2^p = \frac{2l^3}{l_1 + \pi S_2} = \frac{2 * 96,5}{5,85 + 3,14 * 0,055} = 32$$

число рядів збільшилося на 8шт.

У повітропідігрівачі змінили висоту одного ходу повітрям:

$$h_0 = \frac{H}{z_0 \cdot d_{cp} \cdot \pi} = \frac{1995}{3900 \cdot 0,0393 \cdot 3,14} = 4,15 \text{ м}$$

$$h_x = \frac{h_0}{2} = \frac{4,15}{2} = 2,075 \text{ м}$$

Поверхня нагріву КП2 збільшилася отже збільшилася кількість петель в даному випадку на 1 петлю:

$$n = \pm \frac{H^p - H}{2 \cdot \pi \cdot d_i \cdot z_1^i \cdot a_i} = \pm \frac{266 - 217,7}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,042 \cdot 64,3} = 1$$

Довжина зміювика в ЕКО:

$$l^p = \frac{H^p}{\pi \cdot d \cdot m} = \frac{485}{3,14 \cdot 0,032 \cdot 50} = 96,5 \text{ м}$$

Компонування хвостових поверхонь нагріву представлено на рис.12.

6.6. Зміна частки рециркуляції на топку

Для того, щоб виконати спецзавдання використовувалася програма "Тракт".

Під час роботи з програмою вихідна інформація змінюється у рядках 205001 та 208014.

Таблиця 6.4

Варіанти даних

| Характеристика | Варіант | | |
|----------------|---------|--------|--------|
| | Базовий | Перший | Другий |
| г | 0 | 0,125 | 0,25 |
| q3, % | 0,5 | 0,6 | 0,8 |
| q4, % | 0 | 0,1 | 0,3 |

Газове регулювання здійснюють рециркуляцією продуктів згорання, поворотними пальниками, переключенням ярусів пальників, байпасуванням продуктів згорання.

Газове регулювання застосовують для підтримки необхідної температури пари проміжного перегріву. Газове регулювання викликає додаткову витрату енергії на тягу або втрату тепла з газами, що йдуть, а також впливає на первинну пару, що ускладнює експлуатацію.

Що відбираються з конвективної шахти при температурі 259-350 о С (зазвичай після економайзера), рециркуляційним димососом нагнітаються в топкову камеру, що дозволяє перерозподілити тепло між окремими поверхнями нагріву в залежності від прийнятого коефіцієнта рециркуляції. Що цей коефіцієнт, то більше вписувалося отриманий тепловий ефект.

Рециркулюючі продукти згоряння можна вводити у верхню або нижню частину топки. Скидання продуктів згоряння в нижню частину топки призводить до послаблення прямої віддачі в топці та підвищення температури продуктів згоряння на виході з неї. Рециркуляція збільшує також кількість продуктів згоряння через пароперегрівач. Обидві обставини викликають збільшення конвективного теплообміну та підвищення температури перегрітої пари. Рециркуляція також призводить до збільшення обсягу продуктів згоряння, але без підвищення загального надлишку повітря в газах. Збільшений обсяг продуктів згоряння в газоходах при рециркуляції дещо підвищує v_{yx} , тому втрата тепла q_2 зростає .

Охолодження продуктів згоряння при рециркуляції дещо знижує паропроодуктивність, відновлення якої збільшують витрата палива, що додатково знижує ККД агрегату.

ВИСНОВКИ

Проведено розрахунок ентальпії повітря та продуктів горіння газоходами парового котла. Знайдено для газоходу топки та фєстону в температурному діапазоні від 900 до 2200 °С, для пароперегрівача від 400 до 700 °С, економайзера від 300 до 500 °С та повітропідігрівача від 100 до 300 °С.

Склали тепловий баланс для стану парового котла на 1 кг твердого палива і рідкого або на 1 нм³ газового палива, що склало 3740 ккал/кг.

Визначається корисне теплосприйняття в топці $Q_T = 9567,88$ ккал/кг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теплотехніка: підручник / Б. Х. Драганов, О. С. Бессараб, А. А. Долінський, В. О. Лазоренко, А. В. Міщенко, О. В. Шеліманова ; за ред. Б. Х. Драганова ; 2-е вид., перероб. і доп. - К. : ІНКОС, 2005. - 400 с.
2. Основи теплової енергетики: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали / А. В. Борисенко, В. А. Пешко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.
3. Котельні установки : навчальний посібник / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 185 с.
4. Теплопостачання : навчальний посібник / О. Д. Панкевич, О. І. Ободянська, О. В. Титко . – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 85 с.
5. Теплоенергетичні установки. [Конспект лекцій]. Харків. ДБТУ; уклад.: С.О. Поляшенко, О.В. Єсіпов.– Харків: 2023.–109 с.
6. Курсове проектування по теплотехніці і застосуванні теплоти в сільському господарстві: Навчальний посібник / Драганов Б.Х., Ковалев С.А., Лазоренко В.А. и др.; Під ред. Драганова Б.Х. – М.: Агропромздат, 1991 – 176 с.
7. Прядко М.О., Павелко В.І., Василенко С.М. Теплові мережі: Навчальний посібник / За ред.. Прядка М.О. – К.: Алерта, 2005. -227с.
8. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання. (частина 1. Теплові мережі та споруди: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2007.- 244 с.
9. Сафонов А.П. Збірник завдань з теплофікації та теплових мереж. М: Енергія, 1985.
10. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель: ДБН В.2.6–31:2021. – [Чинні від 2022–01–31] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2022. – 23 с. – (Державні будівельні норми України).
11. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств : навчальний посібник / Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.

12. Габа К.О. Водопідготовка. Конспект лекцій. – К.КНУБА, 2021. – 72 с
13. Горобець В.Г. Теплоенергетичні установки і системи: [Навчальний посібник] – К.: ЦП «Компринт», 2018. – 380 с.
14. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем: Підручник. /За редакцією професора Б.Х. Драганова: - Київ: ЦП "Компринт",. 2017. – 338 с.
15. Куба В.В., Серeda В.В. Теплоенергетичні установки: розрахунок і проектування. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2011. – 154 с.
16. Малярeнко В. А. Енергетичні установки : навчальний посібник – Харків: Видавництво САГА, 2008. – 319 с
17. Кашенко П. С. Електротехнологія : навчально-методичний посібник – НМЦ, 2007. – 285 с.
18. Гончар В. Ф., Тищенко Л. П. Електрообладнання, автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок : навчальний посібник – Київ: Вища школа, 1989. – 343 с.
19. Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
20. Математичне моделювання теплових процесів в енергетиці та промисловості. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів третього рівня вищої освіти (PhD) спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. В. Риндюк, В. А. Пешко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 75 с.