

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ АПВ

**Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної
роботи**

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ АПВ

**Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної
роботи**

**для здобувачів 4 та 3 с.т. курсу
освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «бакалавр»**

СУМИ – 2025

УДК 621.18(072)
Ч 44

Укладачі: **Чепіжний А.В.**, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Ч 44 Теплоенергетичні установки і системи АПВ : методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи / укл. А. В. Чепіжний, В. М. Козін, В. Ф. Сіренко – Суми, 2025 – 56 с.

В методичних вказівках до виконання розрахунково-графічної роботи наведено основні принципи проведення розрахунків роботи енергетичних установок, що використовуються в галузі АПВ їх основні характеристики. Також наведено основні показники роботи їх на різних видах палива.

Рецензенти:

Лобода В.Б., к.т.н., професор кафедри охорони праці та фізики
Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу та галузевого машинобудування

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В. к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.

Протокол №4 від 28.01.2025 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ОПИС КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ.....	7
2. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ТА ЕНТАЛЬПІЙ ПОВІТРЯ І ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ.....	10
2.1. Визначення присосів повітря і коефіцієнтів надлишку повітря по окремим газоходам.....	10
2.2. Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання.....	11
2.3. Розрахунок ентальпії повітря і продуктів згорання.....	13
3. РОЗРАХУНКОВИЙ ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ТА ВИТРАТА ПАЛИВА.....	17
3.1. Розрахунок втрат теплоти.....	17
3.2. Розрахунок ККД та витрати палива.....	20
ДОДАТОК А. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ.....	25
ДОДАТОК Б. ТИТУЛЬНИЙ АРКУШ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	48
ДОДАТОК В. БЛАНК ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	50

ВСТУП

Розрахунково-графічною роботою пропонується виконати тепловий розрахунок парового котла, а саме перевірочний з визначенням ККД та витрати палива. Конструктивний розрахунок виконується при розробці (проектуванні) нових парових або водогрійних котлів спеціалізованими проектно-конструкторськими інститутами або конструкторськими бюро котлобудівельних заводів.

При виконанні розрахунково-графічної роботи рекомендується робити перевірочний розрахунок. Основною метою перевірочного розрахунку є визначення основних показників роботи котла, а також реконструктивних заходів, що забезпечують високу надійність і економічність його експлуатації за заданих умов. В процесі виконання розрахунково-графічної роботи здобувачі освіти повинні набути практичних навичок в розрахунку парового котла, більш глибоко засвоїти теоретичні положення і ознайомитися з діючими нормативними.

Для розрахунку котла необхідні наступні дані:

1. Тип котла – ДЕ-25-14;
2. Розрахункова паропродуктивність котла;
3. Основне паливо, складом:

Склад газу по об'єму, %						
CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂

4. Нижча теплота згорання сухого газу, кДж/м³;
5. Щільність газу при нормальних умовах, кг/м³;
6. Абсолютний тиск пари на виході з пароперегрівача МПа;
7. Температура перегрітої пари, °С;
8. Температура живильної води, °С;
9. Продувку прийняти рівною, %;
10. Тип пальника.

Вихідні дані формуються відповідно до номеру варіанту за номером в списку групи.

1. ОПИС КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ

Для перевірного теплового розрахунку необхідні наступні дані: об'єм камери згоряння, площа поверхні стін топкової камери, тип екранів, відстань екранних труб від обмурівки стін топки, зовнішній діаметр і товщина стінки екранних труб, розташування пальників, зовнішній діаметр і товщина стінки труб пароперегрівача число паралельно включених труб, поверхня нагріву пароперегрівача, розташування змійовиків, поздовжній і поперечний крок, живий переріз для проходу продуктів згоряння, площа поверхні нагрівання конвективного газоходу, зовнішній діаметр і товщина стінки труб конвективних пучків, розташування труб (коридорне або шахматне), поздовжній і поперечний крок труб, число труб в ряді, число рядів труб по ходу продуктів згорання, площа живого перетину для проходу продуктів згорання конвективних пучків.

Зазначені конструктивні характеристики визначають з креслення котла, який розраховується. За загальним виглядами котлоагрегату слід скласти його розрахункову схему. При складному розташуванні поверхонь нагріву складають схеми окремих газоходів: топки, поворотної камери, конвективного газоходу і т. д.

На рис. 1.1 приведена розрахункова схема котла ДЕ-25-14 та його окремих газоходів.

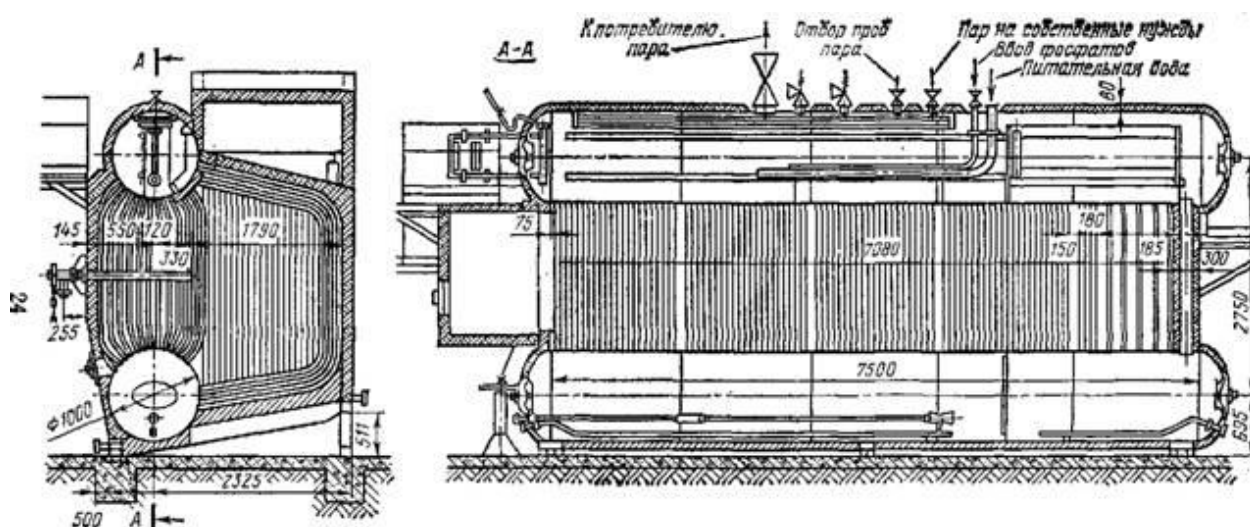


Рис. 1.1. Схема котла ДЕ-25-14

У парових котлах ДЕ-25-14, призначених для спалювання газу і мазуту, застосована нова компоновка топки. Вона розташовується праворуч від поверхні нагрівання конвективних пучків (при вигляді з фронту) і має глибину, рівну довжині котла.

Камера згоряння відділена від конвективного пучка глухою мембранною стінкою, яка виконана з труб з ввареними між ними сталевими смугами (проставками).

Діаметр верхнього і нижнього барабанів котла 1000 мм. Довжина циліндричної частини барабанів становить 7500 мм. У кожному барабані в передньому і задньому днищі встановлені лазові затвори, які забезпечують доступ в барабани під час ремонту.

Ширина топкової камери становить 1830 мм. Глибина камери згоряння котла становить 7200 мм. Відпрацьовані гази з камери згоряння через вікно, розташоване з лівого боку, направляються в конвективну поверхню нагрівання. Вона утворена трубами, що з'єднують верхній і нижній барабани.

В котлах паропроодуктивністю 25 т/год конвективний газохід не має поздовжньої перегородки в продукти згоряння в один прохід омивають поверхню нагріву, рухаючись від задньої стіни до фронтової. Повернення продуктів згоряння до задньої стіни необхідно визначити по газоходу, розташованому над топкової камерою, з виводом продуктів згоряння вгору. Це сприяє зручному розміщенню водяного економайзера.

У котлах ДЕ-25-14 проникнути в топку можна тільки через отвори газомазутних пальників.

У котлах ДЕ-25-14 передбачено ступінчасте випаровування. У другій ступіні випаровування виділена частина труб конвективного пучка. Загальною опускною ланкою всіх контурів першого ступеня випаровування є останні (по ходу продуктів згорання) труби конвективного пучка. Опускні труби другого ступеня винесені за межі газоходу.

Таблиця 1.1. Конструктивні характеристики котла ДЕ-25-14

№ з/п	Величина	Значення
1	Об'єм топки, м ³	29,0
2	Площа поверхні стін топки, м ²	64,22
3	Діаметр екранних труб, мм	51×2,5
4	Крок труб бокових екранів, мм	55
5	Площа променесприймаючої поверхні нагріву, м ²	60,46
6	Площа поверхні нагріву конвективних пучків, м ²	212,4
7	Діаметр труб конвективних пучків, мм	51×2,5
8	Розташування труб	шахматне (І пучок); коридорне (ІІ пучок)
9	Поперечний крок труб, мм	110
10	Повздовжній крок труб, мм	110
11	Площа живого перерізу для проходу продуктів згорання	1,245 (І пучок); 0,851 (ІІ пучок)
12	Число рядів труб по ходу продуктів згорання в одному газоході	-

На котлах ДЕ-25-14 встановлюються пальники типу ГМП з камерою попередньої газифікації.

2. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ТА ЕНРАЛЬПІЙ ПОВІТРЯ І ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ

2.1. Визначення присосів повітря і коефіцієнтів надлишку повітря по окремим газоходам

Коефіцієнт надлишку повітря в міру руху продуктів згорання по газоходах котлоагрегату збільшується. Це зумовлене тим, що тиск у газоходах менше тиску навколишнього повітря і через нещільності в обмуруванні відбуваються присоси атмосферного повітря в газовий тракт агрегату. Звичайно при розрахунках температуру повітря ухвалюють рівною 30°C.

Присос повітря прийнято виражати в долях теоретичної кількості повітря, необхідного для згорання:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta V_{\text{прис}}}{V^o} \quad (2.1)$$

де $\Delta V_{\text{прис}}$ – кількість повітря, яке присмоктується в відповідний газохід агрегату, яке приходить на 1 м³ газу при нормальних умовах, м³/м³.

При тепловому розрахунках котлоагрегату присоси повітря ухвалюються за нормативним даними таблиці 3.1 [1].

Таблиця 2.1. Розрахункові значення присосів повітря в топку і в газоходи котла при номінальному навантаженні

Топкові камери і газоходи	Присос повітря
Камерна (факельна) топова камера	-
Перший котловий пучок конвективної поверхні нагріву	0,05
Другий котловий пучок конвективної поверхні нагріву	0,1
Пароперегрівач	0,03
Стальний водяний економайзер	0,08
Повітропідігрівач трубчатий	0,06

Коефіцієнт надлишку повітря за кожною поверхнею нагріву після топкової камери розраховується додаванням до α_t відповідних присосів повітря:

$$\alpha_i = \alpha_T + \sum_1^i \Delta \alpha_i, \quad (2.2)$$

де i - номер поверхні нагріву після топки по ходу продуктів згоряння; α_T - коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки.

Розрахункове значення коефіцієнта надлишку повітря на виході з топки α_T для камерної топки при спалюванні мазуту і природного газу становить $\alpha_T = 1,1$ [1].

2.2. Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

При тепловому розрахунку парових котлів визначають теоретичні і дійсні об'єми повітря і продуктів згорання. Розрахунок виконується в такій послідовності:

1. Визначити теоретичний об'єм повітря, необхідного для повного згорання палива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] \quad (2.3)$$

де m – число атомів вуглецю; n – число атомів водню.

2. Визначити теоретичний об'єм азоту в продуктах згорання, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + \frac{N_2}{100} \quad (2.4)$$

3. Визначити об'єм трьохатомних газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_m H_n) \quad (2.5)$$

4. Визначити теоретичний об'єм водяних парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_{г.тл.} \right) + 0,0161 \cdot V^0 \quad (2.6)$$

де $d_{г.тл.}$ – вологовміст газоподібного палива, віднесене до 1 м³ сухого повітря, г/м³, (приймаємо 10⁻³ кг/м³ $\approx$ 1 г/м³).

5. Визначити середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході для кожної поверхні нагрівання:

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2} \quad (2.7)$$

де α' – коефіцієнт надлишку повітря перед газоходом; α'' – коефіцієнт надлишку повітря після газоходу.

6. Визначити надлишкову кількість повітря для кожного газоходу, м³/м³:

$$V_{изб}^e = V^0 \cdot (\alpha_{cp} - 1) \quad (2.8)$$

7. Визначити дійсний об'єм водяних парів, м³/м³:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0 \quad (2.9)$$

8. Визначити дійсний сумарний об'єм продуктів згорання, м³/м³:

$$V_{\epsilon} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0 + V_{H_2O} + 0,0161 \cdot (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0 \quad (2.10)$$

9. Визначити об'ємні долі трьохатомних газів та водяних парів, а також сумарну об'ємну долю по формулам:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_{\epsilon}} \quad (2.11)$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_2} \quad (2.12)$$

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O} \quad (2.13)$$

Результати розрахунків дійсних об'ємів продуктів згорання по газоходам котлоагрегату зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Об'єм продуктів згорання, об'ємні долі трьохатомних газів

№ з/п	Величина	Теоретичні об'єми:					
		газоходи					
		Топка	I конвективний пучок	II конвективний пучок	Пароперегрівач	Водяний економайзер	Повітропідігрівач
1	Розрахункові значення присосів повітря при номінальному навантаженні						
2	Коефіцієнт надлишку повітря після поверхні нагрівання						
3	Середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході поверхні нагрівання						
4	Надлишкова кількість повітря, м ³ /м ³						
5	Дійсний об'єм водяних парів, м ³ /м ³						
6	Дійсний сумарний об'єм продуктів згорання, м ³ /м ³						
7	Об'ємна доля трьохатомних газів						
8	Об'ємна доля водяної пари						
9	Сумарна об'ємна доля						

2.3. Розрахунок ентальпії повітря і продуктів згорання

Кількість теплоти, яке міститься в повітрі або продуктах згорання називають тепловмістом (енральпією) повітря або продуктів згорання. При виконанні розрахунків прийнято ентальпію повітря і продуктів згорання відносити до 1 м³ (при нормальних умовах) газоподібного палива.

Розрахунок ентальпій продуктів згорання проводиться при дійсних коефіцієнтах надлишку повітря після кожної поверхні нагріву (значення коефіцієнта надлишку повітря після поверхні нагріву беруться з таблиці 2.2).

Розрахунок слід проводити для всього можливого діапазону температур після поверхонь нагріву, так як ці температури невідомі.

В подальших розрахунках при користуванні значеннями ентальпії допускається лінійна інтерполяція в інтервалі температур 100 К. Тому при розрахунках ентальпії інтервал температур не повинен бути більше 100 К.

Визначення ентальпії повітря і продуктів згорання виконується в такій послідовності:

1. Визначаємо ентальпію теоретичного об'єму повітря для всього вибраного діапазону температур для газу, кДж/м³

$$I_{\text{г}}^0 = V^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{г}} \quad (2.14)$$

де $(c\vartheta)_{\text{г}}$ - ентальпія 1 м³ повітря, кДж/м³ (таблиця 3.4 [1]);

2. Визначаємо ентальпію теоретичного об'єму продуктів згорання для всього вибраного діапазону температур, кДж/м³

$$I_{\text{з}}^0 = V_{\text{RO}_2} \cdot (c\vartheta)_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} \quad (2.15)$$

де $(c\vartheta)_{\text{RO}_2}$, $(c\vartheta)_{\text{N}_2}$, $(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$ - відповідно ентальпія 1 м³ трьохатомних газів, теоретичного об'єму азоту, теоретичного об'єму водяних парів (табл. 3.4 [1]);

3. Визначаємо ентальпію надлишкової кількості повітря для всього вибраного діапазону температур, кДж/м³

$$I_{\text{изб.}}^0 = (\alpha - 1) \cdot I_{\text{г}}^0 \quad (2.16)$$

4. Визначаємо ентальпію продуктів згорання при коефіцієнту надлишку повітря $\alpha > 1$, кДж/м³

$$I = I_{\text{з}}^0 + I_{\text{изб.}}^0 + I_{\text{зл}} \quad (2.17)$$

де I_{zl} - ентальпія золи, враховується тільки при $\alpha_{yn} A^n > 1,4 \text{ кг} \cdot 10^2 / \text{МДж}$.

Результати розрахунків ентальпії продуктів згоряння по газоходах зводять у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Ентальпія продуктів згоряння $I = f(\vartheta)$, кДж/м³

Поверхня нагріву	Температура після поверхні нагріву, °С	I_{θ}^0 , кДж/м ³	I_z^0 , кДж/м ³	$I_{изб.}^0$, кДж/м ³	I , кДж/м ³
Топкова камера $\alpha_T =$	2000				
	1900				
	1800				
	1700				
	1600				
	1500				
	1400				
	1300				
	1200				
	1100				
	1000				
	900				
	800				
I конвективний пучок $\alpha_{1кп} =$	700				
	600				
	500				
	400				
	300				
II конвективний пучок $\alpha_{2кп} =$	200				
	700				
	600				
	500				
	400				
Пароперегрівач $\alpha_{пе} =$	300				
	200				
	1000				
	900				
	800				
	700				
	600				
	500				
Водяний економайзер $\alpha_{эк} =$	400				
	300				
	200				
	100				
Повітропідігрівач $\alpha_{вп} =$	200				
	100				

Дані таблиці 2.3 дозволяють в наступних розрахунках за температурою продуктів згорання визначити їх ентальпію

$$I_x = \frac{I_{\bar{o}} - I_m}{100} (t_{изв} - t_m) + I_m \quad (2.18)$$

або навпаки, за ентальпією продуктів згорання – їх температуру:

$$t_x = t_m + \frac{I_{изв} - I_m}{I_{\bar{o}} - I_m} \cdot 100 \quad (2.19)$$

де $I^{\bar{o}}$, I^m – ентальпії, які відповідають більшій та меншій температурам проміжку температур, який шукаємо, наведені в таблиці 2.3. $t_{изв}$ – температура для якої розраховується ентальпія, °C; t_m – температура, яка відповідає меншій ентальпії проміжку, який шукаємо, °C; $I_{изв}$ – ентальпія, за значеннями якої визначається температура.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ТА ВИТРАТА ПАЛИВА

3.1. Розрахунок втрат теплоти

При роботі парового котла вся теплота, що поступила в нього, витрачається на виробництво корисної теплоти, що міститься в парі, і на покриття різних втрат теплоти. Сумарна кількість теплоти, що потрапила в котел, називають наявною теплотою Q_p^p . Між теплотою, що поступила в котел, і тою що його покинула, повинна існувати рівність. Теплота, що покинула котел, являє собою суму корисної теплоти та втрат теплоти, пов'язаних з технологічним процесом виробітку пари. Отже, тепловий баланс котла для 1 м³ газу при нормальних умовах має вигляд:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (3.1)$$

де Q_p^p - наявна теплота, кДж/м³; Q_1 - корисна теплота, яка знаходиться в парі, кДж/м³; Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6 - втрати теплоти з димовими газами, від хімічної неповноти згорання, від механічної неповноти згорання, від зовнішнього охолодження, від фізичної теплоти, що знаходиться в шлаках, плюс втрати на охолодження панелей і балок, не включених у циркуляційний контур котла, кДж/м³.

Тепловий баланс котла складається відповідно до встановленого теплового режиму, а втрати теплоти виражаються у відсотках наявної теплоти:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_p^p} \quad (3.2)$$

Втрата теплоти з димовими газами (q_2) зумовлена тим, що температура продуктів згорання, що залишають котел, значно вище температури навколишнього атмосферного повітря. Втрата теплоти з газами, залежить від

виду палива, коефіцієнта надлишку повітря в димових газах, температури цих газів, чистоти зовнішніх і внутрішніх поверхонь нагрівання, температури повітря, що забирається дуттьовим вентилятором.

Втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння (q_3) зумовлена появою в газах горючих газів CO, H_2 , CH_4 . Втрата теплоти від хімічної неповноти горіння залежить від виду палива та вмісту в ньому летучих речовин, способу спалювання палива та конструкції топки, коефіцієнта надлишку повітря в топці, від рівня та розподілу температури в топковій камері, організації сумішеутворюючих процесів у топці (пальнику та топковій камері).

Втрата теплоти від механічної неповноти горіння (q_4) спостерігається тільки при спалюванні твердого палива і зумовлена наявністю в осередкових залишках твердих горючих часток. Осередкові залишки в основному складаються із золи, що міститься в паливі, і твердих горючих часток, що не вступили в процеси газифікації та горіння. Вважається, що тверді горючі частки являють собою чистий вуглець.

Втрата теплоти від механічної неповноти горіння залежить від виду спалюваного палива, і його фракційного складу, форсування колосникової решітки і топкового об'єму, способу спалювання палива та конструкції топки, коефіцієнта надлишку повітря. При слойовому спалюванні палива втрата (q_4) залежить також від зольності палива, а при факельному спалюванні не залежить.

Втрати теплоти від зовнішнього охолодження (q_5) обумовлена передачею теплоти від обмуровування котла зовнішньому повітрю, що має більш низьку температуру. Втрата теплоти від зовнішнього охолодження залежить від теплопровідності обмуровування, його товщини, поверхні стін, що припадає на одиницю паропроductивності парового котла.

Втрати (q_6) в вигляді фізичної теплоти шлаків має місце при рідкому шлаковидаленні, а іноді і при сухому, якщо спалюється високо зольне паливо. В деяких конструкціях слойових топок є панелі та балки, які охолоджуються водою, яка не використовується та викидається в каналізацію, що приводить

до втрати теплоти. У сучасних парових котлів панелі і балки, які охолоджуються водою, зазвичай включаються в циркуляційний контур котла. Тому в сучасних агрегатах ці втрати відсутні.

Втрата теплоти з димовими газами визначається за формулою:

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x.g}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p} \quad (3.3)$$

де I_{yx} - ентальпія димових газів, визначається по таблиці 2.3 при відповідних значеннях α_{yx} і вибраній температурі димових газів, кДж/м³; $I_{x.g}^0$ - ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря, визначається при $t_b = 30^\circ\text{C}$, кДж/м³, визначається по формулі (3.4); α_{yx} - коефіцієнт надлишку повітря в димових газах, ухвалюється по таблиці 2.2 у перетині газоходу після останньої поверхні нагрівання; q_4 - втрата теплоти від механічної неповноти горіння (для газу $q_4 = 0\%$).

Ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря при температурі 30°C , кДж/м³:

$$I_{x.g}^0 = 39,8V^0 \quad (3.4)$$

Втрата теплоти від хімічної та механічної неповноти горіння для різних топок та палив приймається з таблиці 4.1-4.4 [1].

Втрата теплоти від зовнішнього охолодження (в %) визначається за формулою:

$$q_5 = q_{5_{ном}} \cdot \frac{D_{ном}}{D} \quad (3.5)$$

де $q_{5_{ном}}$ - втрати тепла від зовнішнього охолодження при номінальному навантаженні парового котла, (визначається по таблиці 4,5 [1]); $D_{ном}$ - номінальне навантаження парового котла, т/год; D - розрахункове навантаження парового котла, т/год.

Втрата в вигляді фізичної теплоти шлаків та втрата від охолодження балок і панелей топки, не включених в циркуляційний контур котла, визначається за формулою, %:

$$q_6 = q_{6_{шл}} + q_{6_{охл}} \quad (3.6)$$

при цьому:

$$q_{6_{шл}} = \frac{\alpha_{шл} \cdot A^p \cdot (c\vartheta)_{зл}}{Q_p} \quad (3.7)$$

$$q_{6_{охл}} = \frac{116,6 \cdot H_{охл}}{Q_k} \quad (3.8)$$

де $\alpha_{шл}$ – доля золи в паливі, яка перейшла в шлак $\alpha_{шл} = 1 - \alpha_{ун}$; $(c\vartheta)_{зл}$ – ентальпія золи, кДж/кг, знаходиться по таблиці 3.4 [1], для температури золи 600°C при сухому шлакозоловидаленні; $H_{охл}$ – променеприймаюча поверхня балок і панелей, м² (для панелей до розрахунку приймається тільки бокова, направлена в топку поверхня); Q_k – корисна потужність парового котла.

3.2. Розрахунок ККД та витрати палива

Коефіцієнтом корисної дії (ККД) парового котла називають відношення корисної теплоти до наявної теплоти. Не вся корисна теплота, вироблена агрегатом, направляється до споживача. Частина виробленої теплоти у вигляді пари та електричної енергії витрачається на власні потреби. Так, наприклад, на власні потреби витрачається пара для приводу живильних насосів, на

обдування поверхонь нагрівання і т.д., а електрична енергія - для приводу димососа, вентилятора, живильників палива, млинів системи пилеприготування і т.д. Під витратою на власні потреби розуміють витрату всіх видів енергії, витраченої на виробництво пари. Тому розрізняють ККД агрегату брутто і нетто. Якщо ККД агрегату визначається по виробленій теплоті, то його називають брутто, а якщо по відпущеній теплоті - нетто.

ККД брутто котельного агрегату (%) можна визначити за рівнянням прямого балансу:

$$\eta_{бр} = \frac{Q_{нз}}{Q_p^p \cdot B_{нз}} \cdot 100 \quad (3.9)$$

де $Q_{пг}$ – корисна потужність парового котла, кВт; $B_{пг}$ – витрата палива паровим котлом, м³/с; Q_p^p - наявна теплота, кДж/м³.

ККД парового котла за рівнянням зворотного балансу (%)

$$\eta_{бр} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (3.10)$$

При тепловому розрахунку парового котла тепловий баланс складає для визначення ККД брутто та розрахункової витрати палива.

Розрахунок рекомендується проводити в наступній послідовності:

1. Визначаємо наявну теплоту, кДж/м³

$$Q_p^p = Q_n^c + Q_{в.вн} \quad (3.11)$$

де Q_n^c - нижча теплота згорання сухої маси газу, кДж/м³ (визначається з таблиці 2.2 [1]); $Q_{в.вн}$ – теплота, яка внесена в котел повітрям при підігріві його зовні котла відібраним паром, відпрацьованим паром або іншим теплоносієм в калорифері, який встановлений перед повітряпідігрівачем, кДж/м³.

В разі попереднього підігріву повітря в калорифері теплота, внесена повітрям розраховується за формулою, кДж/м³:

$$Q_{\text{в.вн}} = \beta' \cdot (I_{\text{вн}}^0 - I_{\text{хв}}^0) \quad (3.12)$$

де $I_{\text{вн}}^0$ - ентальпія теоретичного об'єму повітря при вході в повітропідігрівач після попереднього підігріву в калорифері, визначається за температурою повітря після калорифера $t'_{\text{вн}}$ лінійною інтерполяцією значень $I_{\text{в}}^0$ з таблиці 2.3.

$$\beta = \alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{\text{нл}} + \Delta\alpha_{\text{вн}} \quad (3.13)$$

де $\Delta\alpha_T$, $\Delta\alpha_{\text{нл}}$, $\Delta\alpha_{\text{вн}}$ - присос повітря в топку, систему пилеприготування та повітропідігрівач, приймаються по таблицях 3.1 та 4.7 [1].

2. Визначити витрату теплоти з димовими газами по формулі (3.3).

3. Визначити втрату теплоти від хімічної неповноти згорання. Значення цих втрат для різних видів палива і топків наведені в таблицях 4.1-4.4 [1].

4. Визначити втрату теплоти від зовнішнього охолодження по формулі (3.5).

5. Визначити корисну потужність парового котла (кВт) за формулою

$$Q_{\text{нз}} = D_{\text{не}} \cdot (i_{\text{н.н}} - i_{\text{н.в}}) + D_{\text{н.н}} \cdot (i_{\text{н.н}} - i_{\text{н.в}}) + 0,01 \cdot \rho \cdot (D_{\text{не}} + D_{\text{н.н}}) \cdot (i_{\text{куп}} - i_{\text{н.в}}) \quad (3.14)$$

де $D_{\text{не}}$ - витрата виробленої перегрітої пари, кг/с; $D_{\text{н.н}}$ - витрата виробленої насиченої пари, кг/с; $i_{\text{н.н}}$, $i_{\text{н.в}}$, $i_{\text{н.н}}$, $i_{\text{куп}}$ - ентальпія перегрітої пари, живильної води на виході в економайзер, насиченої пари та киплячої води в барабані котла, кДж/кг; ρ – безперервна продувка котла, %, враховується тільки при $\rho \geq 2\%$.

Ентальпія живильної води на виході в економайзер, кДж/кг

$$i_{n.6} = c_6 \cdot t_{n6} \quad (3.15)$$

де $t_{пв}$ – температура живильної води, °С, $t_{пв} = 110$ °С; $c_в$ – теплоємність води, $c_в = 4,19$ кДж/(кг·°С).

6. Визначити витрату теплоти в вигляді фізичної теплоти шлаків та втрату від охолодження балок і панелей топки не включених в циркуляційний контур котла, по формулі (3.6).

7. Визначити ККД парового котла за рівнянням зворотного балансу (%)

$$\eta_{\bar{op}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (3.16)$$

8. Розраховуємо витрату палива ($\text{м}^3/\text{с}$), яке подається в топку парового котла, із рівняння прямого теплового балансу

$$B_{nz} = \frac{Q_{nz}}{Q_p \cdot \eta_{\bar{op}}} \cdot 100 \quad (3.17)$$

9. Визначити розрахункову витрату палива, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$B_p = B_{nz} \quad (3.18)$$

Розрахункова витрата палива вноситься у всі наступні формули, за якими підраховується сумарний об'єм продуктів згорання та кількості теплоти.

10. Для наступних розрахунків визначається коефіцієнт збереження теплоти:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{\bar{op}} + q_5} \quad (3.19)$$

Отримані данні зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Зведена таблиця даних

№ п/п	Показник	Позн.	Значення
1	Наявна теплота, кДж/м ³	Q_p^p	
2	Втрата теплоти з димовими газами, %	q_2	
3	Ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря при температурі 30°C, кДж/м ³	$I_{x.6}^0$	
4	Ентальпія димових газів, кДж/м ³	I_{yx}	
5	Коефіцієнт надлишку повітря в димових газах	$\alpha_{yx} = \alpha_{en}$	
6	Втрата теплоти від хімічної неповноти згорання, %	q_3	
7	Втрата теплоти від механічної неповноти горіння, %	q_4	
8	Втрата теплоти від зовнішнього охолодження, %	q_5	
9	Втрата в вигляді фізичної теплоти шлаків та втрата від охолодження балок і панелей топки, не включених в циркуляційний контур котла, %	q_6	
10	Витрата виробленої перегрітої пари, кг/с	$D_{пв}$	
11	Витрата виробленої насиченої пари, кг/с	$D_{н.п}$	
12	Ентальпія перегрітої пари, кДж/кг	$i_{пп}$	
13	Ентальпія живильної води на виході в економайзер, кДж/кг	$i_{пв}$	
14	Ентальпія насиченої пари, кДж/кг [2]	$i_{пп}$	
15	Ентальпія киплячої води в барабані котла, кДж/кг [2]	$i_{кип}$	
16	Корисна потужність парового котла, кВт	$Q_{пг}$	
17	ККД парового котла, %	$\eta_{бр}$	
18	Витрата палива, м ³ /с	$B_{пг}$	
19	Розрахункова витрата палива, м ³ /с	B_p	
20	Коефіцієнт збереження теплоти	φ	

ДОДАТОК А. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

ВИХІДНІ ДАНІ

1. Тип котла – ДЕ-25-14;
2. Розрахункова паропродуктивність котла $D = 25$ т/год;
3. Основне паливо – природний газ, складом:

Склад газу по об'єму, %						
CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	N ₂	CO ₂
95,4	2,6	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2

4. Нижча теплота згорання сухого газу $Q_n^c = 36590$ кДж/м³;
5. Щільність газу при нормальних умовах $\rho_{c,пл}^c = 0,750$ кг/м³;
6. Абсолютний тиск пари на виході з пароперегрівача $p = 1,33$ МПа;
7. Температура перегрітої пари $t_{п.п} = 250$ °С;
8. Температура живильної води $t_{п.в} = 110$ °С;
9. Продувку прийняти рівною - 3 %;
10. Тип пальника – ГМП з камерою попередньої газифікації.

1. КОНСТРУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОТЛА

Для перевірконого теплового розрахунку необхідні наступні дані: об'єм камери згорання, площа поверхні стін топкової камери, тип екранів, відстань екранних труб від обмурівки стін топки, зовнішній діаметр і товщина стінки екранних труб, розташування пальників, зовнішній діаметр і товщина стінки труб пароперегрівача число паралельно включених труб, поверхня нагріву пароперегрівача, розташування змійовиків, поздовжній і поперечний крок, живий переріз для проходу продуктів згорання, площа поверхні нагрівання конвективного газоходу, зовнішній діаметр і товщина стінки труб конвективних пучків, розташування труб (коридорне або шахматне), поздовжній і поперечний крок труб, число труб в ряді, число рядів труб по

ходу продуктів згорання, площа живого перетину для проходження продуктів згорання конвективних пучків.

Зазначені конструктивні характеристики визначають з креслення котла, який розраховується. За загальним виглядами котлоагрегату слід скласти його розрахункову схему. При складному розташуванні поверхонь нагріву складають схеми окремих газоходів: топки, поворотної камери, конвективного газоходу і т. д.

На рис. 1.1 приведена розрахункова схема котла ДЕ-25-14 та його окремих газоходів.

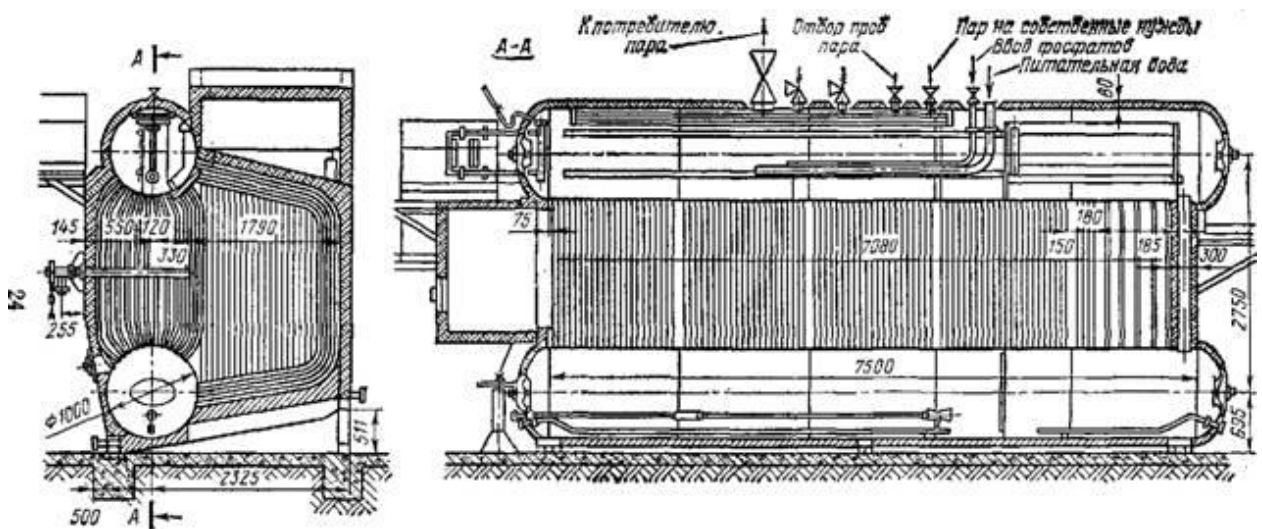


Рис. 1.1. Схема котла ДЕ-25-14

У парових котлах ДЕ-25-14, призначених для спалювання газу і мазуту, застосована нова компоновка топки. Вона розташовується праворуч від поверхні нагрівання конвективних пучків (при вигляді з фронту) і має глибину, рівну довжині котла.

Камера згорання відділена від конвективного пучка глухою мембранною стінкою, яка виконана з труб з ввареними між ними сталевими смугами (проставками).

Діаметр верхнього і нижнього барабанів котла 1000 мм. Довжина циліндричної частини барабанів становить 7500 мм. У кожному барабані в передньому і задньому днищі встановлені лазові затвори, які забезпечують доступ в барабани під час ремонту.

Ширина топкової камери становить 1830 мм. Глибина камери згоряння котла становить 7200 мм. Відпрацьовані гази з камери згоряння через вікно, розташоване з лівого боку, направляються в конвективну поверхню нагрівання. Вона утворена трубами, що з'єднують верхній і нижній барабани.

В котлах паропроодуктивністю 25 т/год конвективний газохід не має поздовжньої перегородки в продукти згоряння в один прохід омивають поверхню нагріву, рухаючись від задньої стіни до фронтної. Повернення продуктів згоряння до задньої стіни необхідно визначити по газоходу, розташованому над топковою камерою, з виводом продуктів згоряння вгору. Це сприяє зручному розміщенню водяного економайзера.

У котлах ДЕ-25-14 проникнути в топку можна тільки через отвори газомазутних пальників.

У котлах ДЕ-25-14 передбачено ступінчасте випаровування. У другій ступіні випаровування виділена частина труб конвективного пучка. Загальною опускною ланкою всіх контурів першого ступеня випаровування є останні (по ходу продуктів згорання) труби конвективного пучка. Опускні труби другого ступеня винесені за межі газоходу.

Таблиця 1.1. Конструктивні характеристики котла ДЕ-25-14

№ з/п	Величина	Значення
1	Об'єм топки, м ³	29,0
2	Площа поверхні стін топки, м ²	64,22
3	Діаметр екранних труб, мм	51×2,5
4	Крок труб бокових екранів, мм	55
5	Площа променесприймаючої поверхні нагріву, м ²	60,46
6	Площа поверхні нагріву конвективних пучків, м ²	212,4
7	Діаметр труб конвективних пучків, мм	51×2,5
8	Розташування труб	шахматне (І пучок); коридорне (ІІ пучок)
9	Поперечний крок труб, мм	110
10	Повздовжній крок труб, мм	110
11	Площа живого перерізу для проходу продуктів згорання	1,245 (І пучок); 0,851 (ІІ пучок)
12	Число рядів труб по ходу продуктів згорання в одному газоході	-

На котлах ДЕ-25-14 встановлюються пальники типу ГМП з камерою попередньої газифікації.

2. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ТА ЕНРАЛЬПІЙ ПОВІТРЯ І ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ

2.1. Визначення присосів повітря і коефіцієнтів надлишку повітря по окремим газоходам

Коефіцієнт надлишку повітря в міру руху продуктів згорання по газоходах котлоагрегату збільшується. Це зумовлене тим, що тиск у газоходах менше тиску навколишнього повітря і через нещільності в обмуруванні відбуваються присоси атмосферного повітря в газовий тракт агрегату. Звичайно при розрахунках температуру повітря ухвалюють рівною 30°C.

Присос повітря прийнято виражати в долях теоретичної кількості повітря, необхідного для згорання:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta V_{\text{прис}}}{V^o} \quad (2.1)$$

де $\Delta V_{\text{прис}}$ – кількість повітря, яке присмоктується в відповідний газохід агрегату, яке приходить на 1 м³ газу при нормальних умовах, м³/м³.

При тепловому розрахунках котлоагрегату присоси повітря ухвалюються за нормативним даними таблиці 3.1 [1].

Таблиця 2.1. Розрахункові значення присосів повітря в топку і в газоходи котла при номінальному навантаженні

Топкові камери і газоходи	Присос повітря
Камерна (факельна) топова камера	-
Перший котловий пучок конвективної поверхні нагріву	0,05
Другий котловий пучок конвективної поверхні нагріву	0,1
Пароперегрівач	0,03
Стальний водяний економайзер	0,08
Повітропідігрівач трубчатий	0,06

Коефіцієнт надлишку повітря за кожною поверхнею нагріву після топкової камери розраховується додаванням до α_t відповідних присосів повітря:

$$\alpha_i = \alpha_T + \sum_1^i \Delta \alpha_i, \quad (2.2)$$

де i - номер поверхні нагріву після топки по ходу продуктів згоряння; α_T - коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки.

Розрахункове значення коефіцієнта надлишку повітря на виході з топки α_T для камерної топки при спалюванні мазуту і природного газу становить $\alpha_T = 1,1$ [1].

I конвективний пучок – $\alpha^{I.k.n.} = 1,1 + 0,05 = 1,15$.

II конвективний пучок – $\alpha^{II.k.n.} = 1,15 + 0,1 = 1,25$.

Пароперегрівач – $\alpha^{II.П.} = 1,25 + 0,03 = 1,28$.

Водяний економайзер – $\alpha^{B.E.} = 1,28 + 0,08 = 1,36$.

Повітропідігрівач – $\alpha^{Пов.П.} = 1,36 + 0,06 = 1,42$.

2.2. Розрахунок об'ємів повітря і продуктів згорання

При тепловому розрахунку парових котлів визначають теоретичні і дійсні об'єми повітря і продуктів згорання. Розрахунок виконується в такій послідовності:

1. Визначити теоретичний об'єм повітря, необхідного для повного згорання палива, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] \quad (2.3)$$

де m – число атомів вуглецю; n – число атомів водню.

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0 + \left(1 + \frac{4}{4} \right) \cdot 95,4 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 2,6 + \left(3 + \frac{3}{4} \right) \cdot 0,3 + \right. \\ \left. + \left(4 + \frac{10}{4} \right) \cdot 0,2 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) \cdot 0,2 - 0 \right] = 9,71 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

2. Визначити теоретичний об'єм азоту в продуктах згорання, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + \frac{N_2}{100} \quad (2.4)$$

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot 9,71 + \frac{1,1}{100} = 7,68 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

3. Визначити об'єм трьохатомних газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{RO_2}^0 = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_n) \quad (2.5)$$

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (0,2 + 0 + 0 + 1 \cdot 95,4 + 2 \cdot 2,6 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2) = 1,04 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

4. Визначити теоретичний об'єм водяних парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_{Г.ТЛ} \right) + 0,0161 \cdot V^0 \quad (2.6)$$

де $d_{Г.ТЛ}$ – вологовміст газоподібного палива, віднесене до 1 м^3 сухого повітря, $\text{г}/\text{м}^3$, (приймаємо $10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3 \approx 1 \text{ г}/\text{м}^3$).

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot \left(0 + 0 + \frac{4}{2} \cdot 95,4 + \frac{6}{2} \cdot 2,6 + \frac{3}{2} \cdot 0,3 + \frac{10}{2} \cdot 0,2 + \frac{12}{2} \cdot 0,2 + 0,124 \cdot 1 \right) + 0,0161 \cdot 9,71 = 2,01 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$$

5. Визначити середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході для кожної поверхні нагрівання:

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha' + \alpha''}{2} \quad (2.7)$$

де α' – коефіцієнт надлишку повітря перед газоходом; α'' – коефіцієнт надлишку повітря після газоходу.

$$\text{Топка} - \alpha_{cp}^T = 1,1.$$

$$\text{I конвективний пучок} - \alpha_{cp}^{Iк.п.} = \frac{1,1 + 1,15}{2} = 1,13.$$

$$\text{II конвективний пучок} - \alpha_{cp}^{IIк.п.} = \frac{1,15 + 1,25}{2} = 1,2.$$

$$\text{Пароперегрівач} - \alpha_{cp}^{П.П.} = \frac{1,25 + 1,28}{2} = 1,3.$$

$$\text{Водяний економайзер} - \alpha_{cp}^{В.Е.} = \frac{1,28 + 1,36}{2} = 1,32.$$

$$\text{Повітропідігрівач} - \alpha_{cp}^{Пов.П} = \frac{1,36 + 1,42}{2} = 1,4.$$

6. Визначити надлишкову кількість повітря для кожного газоходу, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{изб}^e = V^0 \cdot (\alpha_{cp} - 1) \quad (2.8)$$

$$\text{Топка} - V_{изб}^e = 9,71 \cdot (1,1 - 1) = 0,97 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\text{I конвективний пучок} - V_{изб}^e = 9,71 \cdot (1,13 - 1) = 1,26 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\text{II конвективний пучок} - V_{изб}^e = 9,71 \cdot (1,2 - 1) = 1,94 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\text{Пароперегрівач} - V_{изб}^e = 9,71 \cdot (1,3 - 1) = 2,91 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\text{Водяний економайзер} - V_{изб}^e = 9,71 \cdot (1,32 - 1) = 3,1 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\text{Повітропідігрівач} - V_{изб}^e = 9,71 \cdot (1,4 - 1) = 3,9 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

7. Визначити дійсний об'єм водяних парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0 \quad (2.9)$$

$$\text{Топка} - V_{H_2O} = 2,01 + 0,0161 \cdot (1,1 - 1) \cdot 9,71 = 2,03 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\text{I конвективний пучок} - V_{H_2O} = 2,01 + 0,0161 \cdot (1,13 - 1) \cdot 9,71 = 2,03 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$\text{II конвективний пучок} - V_{H_2O} = 2,01 + 0,0161 \cdot (1,2 - 1) \cdot 9,71 = 2,04 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$\text{Пароперегрівач} - V_{H_2O} = 2,01 + 0,0161 \cdot (1,3 - 1) \cdot 9,71 = 2,06 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$\text{Водяний економайзер} - V_{H_2O} = 2,01 + 0,0161 \cdot (1,32 - 1) \cdot 9,71 = 2,06 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$\text{Повітропідігрівач} - V_{H_2O} = 2,01 + 0,0161 \cdot (1,4 - 1) \cdot 9,71 = 2,07 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

8. Визначити дійсний сумарний об'єм продуктів згорання, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_z = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0 + V_{H_2O} + 0,0161 \cdot (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0 \quad (2.10)$$

Топка:

$$V_z = 1,04 + 2,01 + (1,1 - 1) \cdot 9,71 + 2,01 + 0,0161 \cdot (1,1 - 1) \cdot 9,71 = 6,05 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

I конвективний пучок:

$$V_z = 1,04 + 2,01 + (1,13 - 1) \cdot 9,71 + 2,01 + 0,0161 \cdot (1,13 - 1) \cdot 9,71 = 6,34 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

II конвективний пучок:

$$V_z = 1,04 + 2,01 + (1,2 - 1) \cdot 9,71 + 2,01 + 0,0161 \cdot (1,2 - 1) \cdot 9,71 = 7,03 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Пароперегрівач:

$$V_z = 1,04 + 2,01 + (1,3 - 1) \cdot 9,71 + 2,01 + 0,0161 \cdot (1,3 - 1) \cdot 9,71 = 8,02 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Водяний економайзер:

$$V_z = 1,04 + 2,01 + (1,32 - 1) \cdot 9,71 + 2,01 + 0,0161 \cdot (1,32 - 1) \cdot 9,71 = 8,22 \frac{M^3}{M^3}$$

Повітропідігрівач:

$$V_z = 1,04 + 2,01 + (1,4 - 1) \cdot 9,71 + 2,01 + 0,0161 \cdot (1,4 - 1) \cdot 9,71 = 9,01 \frac{M^3}{M^3}$$

9. Визначити об'ємні долі трьохатомних газів та водяних парів, а також сумарну об'ємну долю по формулам:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_z} \quad (2.11)$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_z} \quad (2.12)$$

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O} \quad (2.13)$$

$$\text{Топка: } r_{RO_2} = \frac{1,04}{6,05} = 0,17; \quad r_{H_2O} = \frac{2,01}{6,05} = 0,33; \quad r_n = 0,17 + 0,33 = 0,5.$$

$$\text{I конвективний пучок: } r_{RO_2} = \frac{1,04}{6,34} = 0,16; \quad r_{H_2O} = \frac{2,01}{6,34} = 0,32;$$

$$r_n = 0,16 + 0,32 = 0,48.$$

$$\text{II конвективний пучок: } r_{RO_2} = \frac{1,04}{7,03} = 0,15; \quad r_{H_2O} = \frac{2,01}{7,03} = 0,29;$$

$$r_n = 0,15 + 0,29 = 0,44.$$

$$\text{Пароперегрівач: } r_{RO_2} = \frac{1,04}{8,02} = 0,13; \quad r_{H_2O} = \frac{2,01}{8,02} = 0,25; \quad r_n = 0,13 + 0,25 = 0,38.$$

$$\text{Водяний економайзер: } r_{RO_2} = \frac{1,04}{8,22} = 0,13; \quad r_{H_2O} = \frac{2,01}{8,22} = 0,24; \quad r_n = 0,13 + 0,24 = 0,37$$

Повітропідігрівач: $r_{RO_2} = \frac{1,04}{9,01} = 0,12$; $r_{H_2O} = \frac{2,01}{9,01} = 0,22$; $r_n = 0,12 + 0,22 = 0,34$.

Результати розрахунків дійсних об'ємів продуктів згорання по газоходам котлоагрегату зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Об'єм продуктів згорання, об'ємні долі трьохатомних газів

№ з/п	Величина	Теоретичні об'єми: $V^0 = 9,71 \text{ м}^3 / \text{м}^3$; $V_{N_2}^0 = 7,68 \text{ м}^3 / \text{м}^3$; $V_{RO_2}^0 = 1,04 \text{ м}^3 / \text{м}^3$; $V_{H_2O}^0 = 2,01 \text{ м}^3 / \text{м}^3$					
		газоходи					
		Топка	I конвективний пучок	II конвективний пучок	Пароперегрівач	Водяний економайзер	Повітропідігрівач
1	Розрахункові значення присосів повітря при номінальному навантаженні	-	0,05	0,1	0,03	0,08	0,06
2	Коефіцієнт надлишку повітря після поверхні нагрівання	1,1	1,15	1,25	1,28	1,36	1,42
3	Середній коефіцієнт надлишку повітря в газоході поверхні нагрівання	1,1	1,13	1,2	1,3	1,32	1,4
4	Надлишкова кількість повітря, $\text{м}^3/\text{м}^3$	0,97	1,26	1,94	2,91	3,1	3,9
5	Дійсний об'єм водяних парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$	2,03	2,03	2,04	2,06	2,06	2,07
6	Дійсний сумарний об'єм продуктів згорання, $\text{м}^3/\text{м}^3$	6,05	6,34	7,03	8,02	8,22	9,01
7	Об'ємна доля трьохатомних газів	0,17	0,16	0,15	0,13	0,13	0,12
8	Об'ємна доля водяної пари	0,33	0,32	0,29	0,25	0,24	0,22
9	Сумарна об'ємна доля	0,5	0,38	0,44	0,38	0,37	0,34

2.3. Розрахунок ентальпії повітря і продуктів згорання

Кількість теплоти, яке міститься в повітрі або продуктах згорання називають тепловмістом (енральпією) повітря або продуктів згорання. При виконанні розрахунків прийнято ентальпію повітря і продуктів згорання відносити до 1 м^3 (при нормальних умовах) газоподібного палива.

Розрахунок ентальпій продуктів згорання проводиться при дійсних коефіцієнтах надлишку повітря після кожної поверхні нагріву (значення коефіцієнта надлишку повітря після поверхні нагріву беруться з таблиці 2.2). Розрахунок слід проводити для всього можливого діапазону температур після поверхонь нагріву, так як ці температури невідомі.

В подальших розрахунках при користуванні значеннями ентальпії допускається лінійна інтерполяція в інтервалі температур 100 К. Тому при розрахунках ентальпії інтервал температур не повинен бути більше 100 К.

Визначення ентальпії повітря і продуктів згорання виконується в такій послідовності:

1. Визначаємо ентальпію теоретичного об'єму повітря для всього вибраного діапазону температур для газу, кДж/м³

$$I_{\text{г}}^0 = V^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{г}} \quad (2.14)$$

де $(c\vartheta)_{\text{г}}$ - ентальпія 1 м³ повітря, кДж/м³ (таблиця 3.4 [1]);

2. Визначаємо ентальпію теоретичного об'єму продуктів згорання для всього вибраного діапазону температур, кДж/м³

$$I_{\text{з}}^0 = V_{\text{RO}_2} \cdot (c\vartheta)_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 \cdot (c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}} \quad (2.15)$$

де $(c\vartheta)_{\text{RO}_2}$, $(c\vartheta)_{\text{N}_2}$, $(c\vartheta)_{\text{H}_2\text{O}}$ - відповідно ентальпія 1 м³ трьохатомних газів, теоретичного об'єму азоту, теоретичного об'єму водяних парів (табл. 3.4 [1]);

3. Визначаємо ентальпію надлишкової кількості повітря для всього вибраного діапазону температур, кДж/м³

$$I_{\text{изб.}}^0 = (\alpha - 1) \cdot I_{\text{г}}^0 \quad (2.16)$$

4. Визначаємо ентальпію продуктів згоряння при коефіцієнту надлишку повітря α , кДж/м³

$$I = I_{\epsilon}^0 + I_{изб.}^{\epsilon} + I_{зл} \quad (2.17)$$

де $I_{зл}$ - ентальпія золи, враховується тільки при $\alpha_{ун} A^n > 1,4^{кг} \cdot 10^2 / МДж$.

Результати розрахунків ентальпії продуктів згоряння по газоходах зводять у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Ентальпія продуктів згоряння $I = f(\vartheta)$, кДж/м³

Поверхня нагріву	Температура після поверхні нагріву, °С	I_{ϵ}^0 , кДж/м ³	I_{ϵ}^0 , кДж/м ³	$I_{изб.}^0$, кДж/м ³	I , кДж/м ³
Топкова камера $\alpha_t = 1,1$	2000	29848,54	35803,39	2984,85	38788,24
	1900	28217,26	33817,96	2821,73	36639,69
	1800	26585,98	31814,37	2658,60	34472,97
	1700	24993,54	29842,54	2499,35	32341,89
	1600	23410,81	27885,39	2341,08	30226,47
	1500	21818,37	25934,77	2181,84	28116,61
	1400	20225,93	24021,58	2022,59	26044,17
	1300	18633,49	22087,04	1863,35	23950,39
	1200	17089,60	20196,10	1708,96	21905,06
	1100	15536,00	18350,92	1553,60	19904,52
	1000	13982,40	16511,30	1398,24	17909,54
	900	12477,35	14685,53	1247,74	15933,27
	800	11011,14	12888,04	1101,11	13989,15
І конвективний пучок $\alpha_{1кп} = 1,15$	700	9535,22	11126,47	1430,28	12556,75
	600	8078,72	9414,82	1211,81	10626,63
	500	6661,06	7755,81	999,16	8754,97
	400	5272,53	6122,28	790,88	6913,16
	300	3922,84	4534,32	588,43	5122,75
	200	2592,57	2990,89	388,89	3379,78
ІІ конвективний пучок $\alpha_{2кп} = 1,25$	700	9535,22	11126,47	2383,81	13510,28
	600	8078,72	9414,82	2019,68	11434,50
	500	6661,06	7755,81	1665,27	9421,08
	400	5272,53	6122,28	1318,13	7440,41
	300	3922,84	4534,32	980,71	5515,03
	200	2592,57	2990,89	648,14	3639,03
Пароперегрівач $\alpha_{пе} = 1,28$	1000	13982,40	16511,30	3915,07	20426,37
	900	12477,35	14685,53	3493,66	18179,19

Поверхня нагріву	Температура після поверхні нагріву, °C	I_{θ}^0 , кДж/м ³	I_{γ}^0 , кДж/м ³	$I_{изб.}^0$, кДж/м ³	I , кДж/м ³
	800	11011,14	12888,04	3083,12	15971,16
	700	9535,22	11126,47	2669,86	13796,33
	600	8078,72	9414,82	2262,04	11676,86
	500	6661,06	7755,81	1865,10	9620,91
	400	5272,53	6122,28	1476,31	7598,59
	300	3922,84	4534,32	1098,40	5632,72
	200	2592,57	2990,89	725,92	3716,81
Водяний економайзер $\alpha_{\text{ЭК}} = 1,36$	400	5272,53	6122,28	1898,11	8020,39
	300	3922,84	4534,32	1412,22	5946,54
	200	2592,57	2990,89	933,33	3924,22
	100	1291,43	1478,71	464,91	1943,62
Повітропідігрівач $\alpha_{\text{ВП}} = 1,42$	200	2592,57	2990,89	1088,88	4079,77
	100	1291,43	1478,71	542,40	2021,11

Дані таблиці 2.3 дозволяють в наступних розрахунках за температурою продуктів згорання визначити їх ентальпію

$$I_x = \frac{I_{\theta} - I_{\gamma}}{100} (t_{изб} - t_{\gamma}) + I_{\gamma} \quad (2.18)$$

або навпаки, за ентальпією продуктів згорання – їх температуру:

$$t_x = t_{\gamma} + \frac{I_{изб} - I_{\gamma}}{I_{\theta} - I_{\gamma}} \cdot 100 \quad (2.19)$$

де I_{θ} , I_{γ} – ентальпії, які відповідають більшій та меншій температурам проміжку температур, який шукаємо, наведені в таблиці 2.3. $t_{изб}$ – температура для якої розраховується ентальпія, °C; t_{γ} – температура, яка відповідає меншій ентальпії проміжку, який шукаємо, °C; $I_{изб}$ – ентальпія, за значеннями якої визначається температура.

3. РОЗРАХУНКОВИЙ ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ТА ВИТРАТА ПАЛИВА

3.1. Розрахунок втрат теплоти

При роботі парового котла вся теплота, що поступила в нього, витрачається на виробництво корисної теплоти, що міститься в парі, і на покриття різних втрат теплоти. Сумарна кількість теплоти, що потрапила в котел, називають наявною теплотою Q_p^p . Між теплотою, що поступила в котел, і тою що його покинула, повинна існувати рівність. Теплота, що покинула котел, являє собою суму корисної теплоти та втрат теплоти, пов'язаних з технологічним процесом виробітку пари. Отже, тепловий баланс котла для 1 м³ газу при нормальних умовах має вигляд:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (3.1)$$

де Q_p^p - наявна теплота, кДж/м³; Q_1 - корисна теплота, яка знаходиться в парі, кДж/м³; Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6 - втрати теплоти з димовими газами, від хімічної неповноти згорання, від механічної неповноти згорання, від зовнішнього охолодження, від фізичної теплоти, що знаходиться в шлаках, плюс втрати на охолодження панелей і балок, не включених у циркуляційний контур котла, кДж/м³.

Тепловий баланс котла складається відповідно до встановленого теплового режиму, а втрати теплоти виражаються у відсотках наявної теплоти:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_p^p} \quad (3.2)$$

Втрата теплоти з димовими газами (q_2) зумовлена тим, що температура продуктів згорання, що залишають котел, значно вище температури навколишнього атмосферного повітря. Втрата теплоти з газами, залежить від

виду палива, коефіцієнта надлишку повітря в димових газах, температури цих газів, чистоти зовнішніх і внутрішніх поверхонь нагрівання, температури повітря, що забирається дуттьовим вентилятором.

Втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння (q_3) зумовлена появою в газах горючих газів CO, H₂, CH₄. Втрата теплоти від хімічної неповноти горіння залежить від виду палива та вмісту в ньому летучих речовин, способу спалювання палива та конструкції топки, коефіцієнта надлишку повітря в топці, від рівня та розподілу температури в топковій камері, організації сумішеутворюючих процесів у топці (пальнику та топковій камері).

Втрата теплоти від механічної неповноти горіння (q_4) спостерігається тільки при спалюванні твердого палива і зумовлена наявністю в осередкових залишках твердих горючих часток. Осередкові залишки в основному складаються із золи, що міститься в паливі, і твердих горючих часток, що не вступили в процеси газифікації та горіння. Вважається, що тверді горючі частки являють собою чистий вуглець.

Втрата теплоти від механічної неповноти горіння залежить від виду спалюваного палива, і його фракційного складу, форсування колосникової решітки і топкового об'єму, способу спалювання палива та конструкції топки, коефіцієнта надлишку повітря. При слойовому спалюванні палива втрата (q_4) залежить також від зольності палива, а при факельному спалюванні не залежить.

Втрати теплоти від зовнішнього охолодження (q_5) обумовлена передачею теплоти від обмуровування котла зовнішньому повітрю, що має більш низьку температуру. Втрата теплоти від зовнішнього охолодження залежить від теплопровідності обмуровування, його товщини, поверхні стін, що припадає на одиницю паропродуктивності парового котла.

Втрати (q_6) в вигляді фізичної теплоти шлаків має місце при рідкому шлаковидаленні, а іноді і при сухому, якщо спалюється високо зольне паливо. В деяких конструкціях слойових топок є панелі та балки, які охолоджуються водою, яка не використовується та викидається в каналізацію, що приводить

до втрати теплоти. У сучасних парових котлів панелі і балки, які охолоджуються водою, зазвичай включаються в циркуляційний контур котла. Тому в сучасних агрегатах ці втрати відсутні.

Втрата теплоти з димовими газами визначається за формулою:

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x.g}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_p^p} \quad (3.3)$$

де I_{yx} - ентальпія димових газів, визначається по таблиці 2.3 при відповідних значеннях α_{yx} і вибраній температурі димових газів, кДж/м³; $I_{x.g}^0$ - ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря, визначається при $t_b = 30^\circ\text{C}$, кДж/м³, визначається по формулі (3.4); α_{yx} - коефіцієнт надлишку повітря в димових газах, ухвалюється по таблиці 2.2 у перетині газоходу після останньої поверхні нагрівання; q_4 - втрата теплоти від механічної неповноти горіння (для газу $q_4 = 0\%$).

Ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря при температурі 30°C , кДж/м³:

$$I_{x.g}^0 = 39,8V^0 \quad (3.4)$$

Втрата теплоти від хімічної та механічної неповноти горіння для різних топок та палив приймається з таблиці 4.1-4.4 [1].

Втрата теплоти від зовнішнього охолодження (в %) визначається за формулою:

$$q_5 = q_{5_{ном}} \cdot \frac{D_{ном}}{D} \quad (3.5)$$

де $q_{5_{ном}}$ - втрати тепла від зовнішнього охолодження при номінальному навантаженні парового котла, (визначається по таблиці 4,5 [1]); $D_{ном}$ - номінальне навантаження парового котла, т/год; D - розрахункове навантаження парового котла, т/год.

Втрата в вигляді фізичної теплоти шлаків та втрата від охолодження балок і панелей топки, не включених в циркуляційний контур котла, визначається за формулою, %:

$$q_6 = q_{6_{шл}} + q_{6_{охл}} \quad (3.6)$$

при цьому:

$$q_{6_{шл}} = \frac{\alpha_{шл} \cdot A^p \cdot (c\vartheta)_{зл}}{Q_p} \quad (3.7)$$

$$q_{6_{охл}} = \frac{116,6 \cdot H_{охл}}{Q_k} \quad (3.8)$$

де $\alpha_{шл}$ – доля золи в паливі, яка перейшла в шлак $\alpha_{шл} = 1 - \alpha_{ун}$; $(c\vartheta)_{зл}$ – ентальпія золи, кДж/кг, знаходиться по таблиці 3.4 [1], для температури золи 600°C при сухому шлакозоловидаленні; $H_{охл}$ – променеприймаюча поверхня балок і панелей, м² (для панелей до розрахунку приймається тільки бокова, направлена в топку поверхня); Q_k – корисна потужність парового котла.

3.2. Розрахунок ККД та витрати палива

Коефіцієнтом корисної дії (ККД) парового котла називають відношення корисної теплоти до наявної теплоти. Не вся корисна теплота, вироблена агрегатом, направляється до споживача. Частина виробленої теплоти у вигляді пари та електричної енергії витрачається на власні потреби. Так, наприклад, на власні потреби витрачається пара для приводу живильних насосів, на

обдування поверхонь нагрівання і т.д., а електрична енергія - для приводу димососа, вентилятора, живильників палива, млинів системи пилеприготування і т.д. Під витратою на власні потреби розуміють витрату всіх видів енергії, витраченої на виробництво пари. Тому розрізняють ККД агрегату брутто і нетто. Якщо ККД агрегату визначається по виробленій теплоті, то його називають брутто, а якщо по відпущеній теплоті - нетто.

ККД брутто котельного агрегату (%) можна визначити за рівнянням прямого балансу:

$$\eta_{бр} = \frac{Q_{нз}}{Q_p^p \cdot B_{нз}} \cdot 100 \quad (3.9)$$

де $Q_{пг}$ – корисна потужність парового котла, кВт; $B_{пг}$ – витрата палива паровим котлом, м³/с; Q_p^p - наявна теплота, кДж/м³.

ККД парового котла за рівнянням зворотного балансу (%)

$$\eta_{бр} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (3.10)$$

При тепловому розрахунку парового котла тепловий баланс складає для визначення ККД брутто та розрахункової витрати палива.

Розрахунок рекомендується проводити в наступній послідовності:

1. Визначаємо наявну теплоту, кДж/м³

$$Q_p^p = Q_n^c + Q_{в.вн} \quad (3.11)$$

де Q_n^c - нижча теплота згорання сухої маси газу, кДж/м³ (визначається з таблиці 2.2 [1]); $Q_{в.вн}$ – теплота, яка внесена в котел повітрям при підігріві його зовні котла відібраним паром, відпрацьованим паром або іншим теплоносієм в калорифері, який встановлений перед повітряпідігрівачем, кДж/м³.

В разі попереднього підігріву повітря в калорифері теплота, внесена повітрям розраховується за формулою, кДж/м³:

$$Q_{\text{в.вн}} = \beta' \cdot (I_{\text{вн}}^0 - I_{\text{хв}}^0) \quad (3.12)$$

де $I_{\text{вн}}^0$ - ентальпія теоретичного об'єму повітря при вході в повітропідігрівач після попереднього підігріву в калорифері, визначається за температурою повітря після калорифера $t'_{\text{вн}}$ лінійною інтерполяцією значень $I_{\text{в}}^0$ з таблиці 2.3.

$$\beta = \alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha_{\text{вн}} \quad (3.13)$$

де $\Delta\alpha_T$, $\Delta\alpha_{\text{пл}}$, $\Delta\alpha_{\text{вн}}$ - присос повітря в топку, систему пилеприготування та повітропідігрівач, приймаються по таблицях 3.1 та 4.7 [1].

При розрахунках котла ДЕ-25-14 нами не планується використання підігріву повітря в спеціальних калориферах, а отже $Q_p^p = Q_n^c = 36590 \text{ кДж/м}^3$.

2. Визначити витрату теплоти з димовими газами по формулі (3.3).

$$q_2 = \frac{(20211 - 1,42 \cdot 386,5) \cdot (100 - 0)}{36590} = 4,02\%$$

$$I_{\text{х.в}}^0 = 39,8 \cdot 9,71 = 386,5 \text{ кДж/м}^3$$

3. Визначити втрату теплоти від хімічної неповноти згорання. Значення цих втрат для різних видів палива і топків наведені в таблицях 4.1-4.4 [1].

$$q_3 = 0,5\%$$

4. Визначити втрату теплоти від зовнішнього охолодження по формулі (3.5).

$$q_5 = 1,25 \cdot \frac{25}{25} = 1,25\%$$

5. Визначити корисну потужність парового котла (кВт) за формулою

$$Q_{ne} = D_{ne} \cdot (i_{n,n} - i_{n,g}) + D_{n,n} (i_{n,n} - i_{n,g}) + 0,01 \cdot \rho \cdot (D_{ne} + D_{n,n}) \cdot (i_{кин} - i_{n,g}) \quad (3.14)$$

де D_{ne} - витрата виробленої перегрітої пари, кг/с, $D_{ne} = 25m / 300 = 6,94 \text{ кг/с}$;
 $D_{n,n}$ - витрата виробленої насиченої пари, кг/с, $D_{n,n} = 6,94 \cdot 0,03 = 0,21 \text{ кг/с}$; $i_{n,n}$, $i_{n,g}$,
 $i_{кин}$, $i_{кин}$ - ентальпія перегрітої пари, живильної води на виході в економайзер, насиченої пари та киплячої води в барабані котла, кДж/кг; ρ – безперервна продувка котла, %, враховується тільки при $P \geq 2\%$.

Ентальпія живильної води на виході в економайзер, кДж/кг

$$i_{n,g} = c_g \cdot t_{пв} \quad (3.15)$$

де $t_{пв}$ – температура живильної води, °C, $t_{пв} = 110$ °C; c_g – теплоємність води, $c_g = 4,19$ кДж/(кг·°C).

$$i_{n,g} = 4,19 \cdot 110 = 460,9 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{ne} = 6,94 \cdot (2902 - 460,9) + 0,21 \cdot (2789,2 - 460,9) + 0,01 \cdot 3 \cdot (6,94 + 0,21) \cdot (826,06 - 460,9) = 17508,5 \text{ кВт}$$

6. Визначити витрату теплоти в вигляді фізичної теплоти шлаків та втрату від охолодження балок і панелей топки не включених в циркуляційний контур котла, по формулі (3.6)

$$q_{\text{ввл}} = 0\%; \quad q_{\text{бохл}} = \frac{116,6 \cdot 60,46}{175085} = 0,4\%;$$

$$q_6 = 0 + 0,4 = 0,4\%$$

7. Визначити ККД парового котла за рівнянням зворотного балансу (%)

$$\eta_{\text{бп}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (3.16)$$

$$\eta_{\text{бп}} = 100 - (4,02 + 0,5 + 0 + 1,25 + 0,4) = 93,8\%$$

8. Розраховуємо витрату палива ($\text{м}^3/\text{с}$), яке подається в топку парового котла, із рівняння прямого теплового балансу

$$B_{\text{нз}} = \frac{Q_{\text{нз}}}{Q_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{бп}}} \cdot 100 \quad (3.17)$$

$$B_{\text{нз}} = \frac{175085}{36590 \cdot 93,8} \cdot 100 = 0,51 \text{ м}^3/\text{с}$$

9. Визначити розрахункову витрату палива, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$B_{\text{п}} = B_{\text{нз}} \quad (3.18)$$

$$B_{\text{п}} = 0,51 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахункова витрата палива вноситься у всі наступні формули, за якими підраховується сумарний об'єм продуктів згорання та кількості теплоти.

10. Для наступних розрахунків визначається коефіцієнт збереження теплоти:

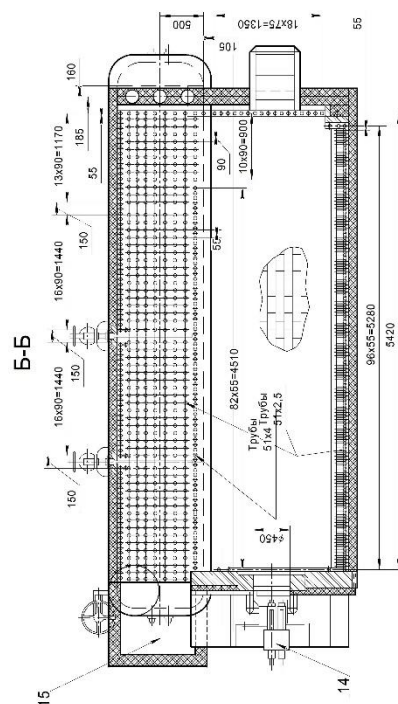
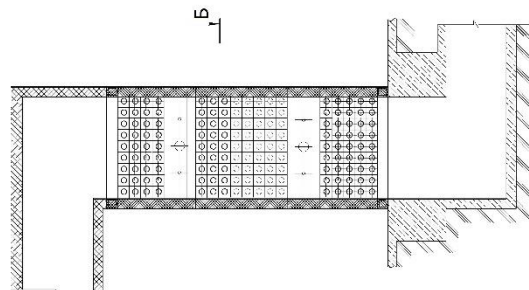
$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{бп}} + q_5} \quad (3.19)$$

$$\varphi = 1 - \frac{1,25}{93,8 + 1,25} = 0,99$$

Отримані данні зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1. Зведена таблиця даних

№ п/п	Показник	Позн.	Значення
1	Наявна теплота, кДж/м ³	Q_p^p	36590
2	Втрата теплоти з димовими газами, %	q_2	4,02
3	Ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря при температурі 30°C, кДж/м ³	$I_{x.6}^0$	386,5
4	Ентальпія димових газів, кДж/м ³	I_{yx}	2021,11
5	Коефіцієнт надлишку повітря в димових газах	$\alpha_{yx} = \alpha_{en}$	1,42
6	Втрата теплоти від хімічної неповноти згорання, %	q_3	0,5
7	Втрата теплоти від механічної неповноти горіння, %	q_4	0
8	Втрата теплоти від зовнішнього охолодження, %	q_5	1,25
9	Втрата в вигляді фізичної теплоти шлаків та втрата від охолодження балок і панелей топки, не включених в циркуляційний контур котла, %	q_6	0,4
10	Витрата виробленої перегрітої пари, кг/с	D_{ne}	6,94
11	Витрата виробленої насиченої пари, кг/с	$D_{n.n}$	0,21
12	Ентальпія перегрітої пари, кДж/кг	i_{nn}	2902
13	Ентальпія живильної води на виході в економайзер, кДж/кг	i_{ne}	460,9
14	Ентальпія насиченої пари, кДж/кг [2]	i_{nn}	2789,2
15	Ентальпія киплячої води в барабані котла, кДж/кг [2]	$i_{куп}$	826,06
16	Корисна потужність парового котла, кВт	Q_{n2}	17508,5
17	ККД парового котла, %	η_{6p}	93,8
18	Витрата палива, м ³ /с	B_{n2}	0,51
19	Розрахункова витрата палива, м ³ /с	B_p	0,51
20	Коефіцієнт збереження теплоти	φ	0,99



10195×5315×6095 mm,
27843 kg.

[illegible]

**ДОДАТОК Б. ТИТУЛЬНИЙ АРКУШ ДО РОЗРАХУНКОВО-
ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Розрахунково-графічна робота

з дисципліни

«Теплоенергетичні установки і системи АПВ»

на тему:

«Тепловий розрахунок парового котла ДЕ-25-14, який працює на
газоподібному паливі»

Здобувача освіти _____ курсу
групи _____
спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

Керівник: _____

ДОДАТОК В. БЛАНК ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Завдання на розрахунково-графічну роботу з дисципліни: «Теплоенергетичні установки і системи АПВ»

Здобувачу освіти _____ курсу денної форми навчання.

Тема: *«Тепловий розрахунок парового котла, який працює на газоподібному паливі»*

Основні початкові дані:

1. Розрахункова паропроодуктивність котла $D = \text{_____ } t/\text{год.}$
2. Основне паливо – газ.
3. Абсолютний тиск пари на виході з пароперегрівача $p = \text{_____ } \text{МПа.}$
4. Температура перегрітої пари $t_{n.n} = \text{_____ } ^\circ\text{C.}$
5. Температура живильної води $t_{n.в} = \text{_____ } ^\circ\text{C.}$
6. Продування прийняти рівною - _____ %.

Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

Аркуш 1. Переріз котлоагрегата.

Термін виконання та подачі на кафедру до «___» _____ 20__ року.

Строк захисту «___» _____ - «___» _____ 20__ року.

Завдання видав керівник роботи:

_____ «___» _____ 20__ р.
П.І.Б. (підпис) Дата

Завдання прийняв здобувач освіти:

_____ «___» _____ 20__ р.
П.І.Б. (підпис) Дата

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горобець В.Г. Теплоенергетичні установки і системи: [Навчальний посібник] Горобець В.Г. – К.: ЦП «Компринт», 2018. – 380 с.
2. Теплоенергетичні установки. Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 208 «Агроінженерія» . Харків. ДБТУ; уклад.: С.О. Поляшенко, О.В. Єсіпов.– Харків: [б. в.], 2023.–109 с.
3. Проектування систем тепlopостачання сільського господарства: Навч. посіб. / Драганов Б.Х. та інш.; за ред. Б.Х. Драганова. – Київ: Техніка, 2003. – 161 С.
4. Прядко М.О., Павелко В.І., Василенко С.М. Теплові мережі: Навчальний посібник / За ред.. Прядка М.О. – К.: Алерта, 2005. -227с.
5. Єнін П.М., Швачко Н.А. Тепlopостачання. (частина 1. Теплові мережі та споруди: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2007.- 244 с.
6. Конструкції елементів пневмоагрегатів [Текст] : навч. пос. / М. Г. Прокопов, С. М. Ванєєв, В. М. Козін, Ю. С. Мерзляков. – Суми : СумДУ, 2020. – 146 с.
7. Арсеньєв, В. М. Кріогенна техніка: основи теорії і розрахунку циклів кріогенних установок [Текст] : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. – Суми : СумДУ, 2021. – 272 с.
8. Козін, В. М. Холодильні технології: основи теорії, приклади і завдання [Текст] : навч. посіб. / В. М. Козін, С. О. Шарапов. – Суми : СумДУ, 2021. – 140 с.
9. Арсеньєв В. М. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему «Розрахунок повітроохолоджувача поверхневого типу» з дисципліни «Проектування холодильних установок» [Текст] : для студ. спец. 142 «Енергетичне машинобудування» за освітньо-професійною програмою «Холодильні машини і установки» денної та заочної форм навчання / В. М. Арсеньєв, О. Ю. Чех, В. М. Козін. – Суми : СумДУ, 2020. – 32 с.

10. Методичні вказівки до практичних занять із дисципліни «Тепломасообмін» [Текст] : для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти зі спец.: 142 «Енергетичне машинобудування» та 144 «Теплоенергетика» заочної форми навчання / В. М. Козін, С. С. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2020. – 90 с.

11. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему «Розрахунок параметрів циклу» двоступеневої парокомпресійної холодильної машини з дисципліни «Теплофізичні основи низькотемпературної техніки» [Електронний ресурс] : для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти за спец. 142 «Енергетичне машинобудування» за освітньо-професійними програмами «Холодильні машини і установки» та «Опалення, вентиляція, кондиціювання повітря та штучний холод» денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. – Суми : СумДУ, 2022. – 39 с.

Чепіжний Андрій Володимирович
Козін Віктор Миколайович
Сіренко Віктор Федорович

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ АПВ

**Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної
роботи**

Суми РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень, 2025р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman
Тираж: 50 примірників Замовлення _____ Умов. друк. арк. 2,1
