

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного
господарства та природокористування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та
гідравлічних машин

01-06-96М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни
«Котельні установки промислових підприємств»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика»
спеціальності 144 «Теплоенергетика»
галузі знань 14 «Електрична інженерія»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІЕАВГ
Протокол № 6 від 20.02.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з навчальної дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Куба В. В. – Рівне : НУВГП, 2024. – 20 с.

Укладач: Куба В. В., старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Відповідальний за випуск: Рябенко О. А., д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Керівник групи забезпечення
спеціальності 144 «Теплоенергетика»

Костюк О. П

© В. В. Куба, 2024

© НУВГП, 2024

Зміст

Вступ	3
Розділ 1	3
Розділ 2	15
Література	20

Вступ

Дисципліна «Котельні установки промислових підприємств» є базовою для студентів спеціальності «Теплоенергетика». Для закріплення теоретичного курсу передбачається виконання курсового проекту.

Мета вивчення дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» - отримання знань з проектування, експлуатації та налагодження котельних агрегатів, принципів розрахунку окремих елементів і котельного агрегату загалом.

Розділ 1. ПАЛИВО, ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТИ ЗГОРЯННЯ

1.1. ПЕРЕРАХУВАННЯ СКЛАДУ ТА ТЕПЛОТИ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА НА ЗАДАНІ ЗНАЧЕННЯ W^p і A^p

У додатку VI [2] наведені розрахункові характеристики основного твердого, рідкого і газоподібного енергетичного палива країни. Зазначені в таблицях значення не можна розглядати як постійні й твердо встановлені нормативи. Це деякі середні числа, що характеризують паливо, склад і якість якого змінюються у залежності від місця, часу й способу видобутку. Вміст вологи у твердому паливі й мазуті залежить не тільки від родовища, виду й сорту палива, але також і від способу зберігання й транспортування, пори року, кліматичних умов, способу розігріву мазуту при зливі та інших факторів, і може піддаватися значним змінам. Зольність твердого палива також залежить від цілого ряду факторів, як, наприклад, способу видобутку й обробки палива (просівання та збагачення), способу та тривалості зберігання та ін.

У ряді випадків вміст вологи й золи у твердому паливі й мазуті може значно відрізнятися від середніх табличних значень. Тому взяті з таблиць розрахункові характеристики твердого і рідкого палива у деяких випадках доводиться перераховувати на задані значення вологості й зольності, відмінні від табличних. Перерахування табличного елементарного складу робочої маси

палива з вологістю $W_{табл}^p$ та з зольністю $A_{табл}^p$ на робочу масу із заданими значеннями W^p і A^p виконують за формулами:

$$C^P = C_{табл}^P \frac{100 - W^P - A^P}{100 - W_{табл}^P - A_{табл}^P}, \quad (1.1)$$

$$H^P = H_{табл}^P \frac{100 - W^P - A^P}{100 - W_{табл}^P - A_{табл}^P}. \quad (1.2)$$

Правильність перерахування складу палива перевіряють підсумовуванням всіх складових елементарного складу. Величина допустимої похибки не повинна перевищувати 0,5%.

Наведені характеристики палива A^n , W^n (% кг/МДж) визначають за формулами:

а) приведена зольність

$$A^n = 10^3 A^P / Q_H^P; \quad (1.3)$$

б) приведена вологість

$$W^n = 10^3 W^P / Q_H^P. \quad (1.4)$$

Перерахування табличного значення нижчої теплоти згоряння, кДж/кг (кДж/м³), на робочу масу із заданими значеннями W^P і A^P проводять за формулою:

$$Q_H^P = (Q_{н.табл}^P + 25W_{табл}^P) \cdot \frac{100 - W^P - A^P}{100 - W_{табл}^P - A_{табл}^P} - 25W^P. \quad (1.5)$$

При спалюванні суміші двох твердих або рідких палив, заданої масовими частками g' і g'' , теплоту згоряння 1 кг суміші (кДж/кг) підраховують за формулою:

$$Q_H^P = Q_H^{P'} g' + Q_H^{P''} g''. \quad (1.6)$$

При спалюванні суміші твердого або рідкого палива з газоподібним розрахунок ведеться на 1 кг твердого або рідкого палива з врахуванням кількості газу x (м³), що приходить на 1 кг палива. У цьому випадку умовну теплоту згоряння суміші палив (кДж/кг) визначають за формулою:

$$Q_H^P = Q_H^{P'} + x Q_H^{P''}, \quad (1.7)$$

де $Q_H^{P'}$ і $Q_H^{P''}$ - відповідно нижча теплота згоряння твердого або рідкого палива (кДж/кг) і газу (кДж/м³).

1.2. ВИБІР КОЕФІЦІЄНТА НАДЛИШКУ ПОВІТРЯ ТА ПРИСМОКІВ У ГАЗОХОДАХ ПАРОГЕНЕРАТОРА

При тепловому розрахунку коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки і присмоктування повітря в окремих елементах парогенератора приймають на основі узагальнених даних експлуатації агрегатів, які наведені в табл. 2-1, 2-2 і 4-1 - 4-5 [2]. Значення розрахункового коефіцієнта надлишку повітря в окремих перерізах газоходу парогенератора визначають сумуванням коефіцієнта надлишку повітря в топці із присмоктуванням повітря в газоходах розташованих між топкою і розглянутим перерізом, тобто:

$$\alpha = \alpha_T + \Sigma \Delta \alpha, \quad (1.8)$$

Таблиця 1.1

Типи млинів	$\Delta \alpha_{nлу}$
Кульові барабанні млини:	
із проміжним бункером при осушуванні гарячим повітрям	0,10
те ж, сумішню повітря й топкових газів	0,12
із прямим вдуванням	0,04
Молоткові млини:	
при роботі під розрідженням	0,04
теж, під тиском гарячого повітря	0
Средньоходові валкові млини при роботі під	0,04
розрідженням	0,2-0,25
млини-вентилятори з підсушуванням	

де α - розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря в розглянутому елементі;

$\Sigma \Delta \alpha$ - сума присмоків повітря у всіх газоходах, розташованих між топкою і розглянутим перерізом газоходу.

1.3. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

Об'єми, ентальпії повітря та продуктів згоряння визначають розрахунком на 1 кг твердого або рідкого палива або на 1 м³ газоподібного палива. Розрахунки виконують без обліку хімічної й механічної неповноти згоряння палива.

Таблиця 1.2

Присмоки повітря в топках і газоходах парогенераторів, що працюють під розрідженням при номінальному навантаженні

Ділянки газового тракту	<i>Δα</i>
1	2
Топки:	
пиловугільні із твердим шлаковидаленням і металевою обмурівкою	0,07
те ж, без металевої обмурівки	0,10
обмурівкою	
пиловугільні з рідким шлаковидаленням і газомазутні з металевою обмурівкою	0,05
те ж, без металевої обмурівки	0,08
циклонні	0,03
Шарові механічні і напівмеханічні	0 10
Шарові ручні	0,30
Газоходи:	
фестона і ширмового пароперегрівача	0
першого конвекційного пучка	0,05
другого і третього конвекційних пучків (на кожний пучок)	0,10
пароперегрівача	0,05
економайзера сталевого одноступеневого	0,08
те ж, двоступеневого (на кожен ступінь)	0,04
економайзера чавунного з обмурівкою	0,10
те ж, без обмурівки	0,20
Повітрянагрівача сталевого трубчатого одноступеневого	0,06
те ж, двоступеневого (на кожен ступінь)	0,03
повітрянагрівача зі скляними трубами	0,10
повітрянагрівача пластинчастого (на кожний ступінь)	0,10
повітрянагрівача регенеративного	0,25
золотловлювача	0,05
Газопроводи від повітрянагрівача до димососа:	
сталеві на кожні 10 м довжини	0,01
те ж, цегельні	0,05

Незначна хімічна неповнота згоряння, що відповідає прийнятим при виконанні теплового розрахунку значенням q_3 , практично не впливає на точність розрахунку. Механічний недопал враховується введенням в розрахунок умовної витрати палива V_p . Теоретично необхідний об'єм повітря при $\alpha = 1$, m^3/kg (m^3/m^3) визначають за формулами:

а) для твердого й рідкого палив:

$$V^0 = 0.0889(C^P + 0.375S_{op+\kappa}^P) + 0.265H^P - 0.0333O^P; \quad (1.9)$$

б) для газоподібного палива:

$$V^0 = 0.0476[0.5CO + 0.5H_2 + 1.5H_2S + \Sigma(m + 0.25n)C_m H_n - O_2], \quad (1.10)$$

де, m і n - числа атомів вуглецю та водню в хімічній формулі вуглеводнів, що входять до складу палива.

Теоретичні об'єми продуктів згоряння при $\alpha = 1$ у випадку твердих і рідких палив, $\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$), обчислюють за формулами:

а) об'єм трьохатомних газів

$$V_{RO_2} = 1.866 \frac{C^P + 0.375S_{op+\kappa}^P}{100}; \quad (1.11)$$

б) об'єм двохатомних газів (теоретичний об'єм азоту)

$$V_{N_2}^0 = 0.79V_B^0 + 0.008N^P; \quad (1.12)$$

в) об'єм водяної пари

$$V_{H_2O}^0 = 0.111H^P + 0.0124W^P + 0.0161V^0. \quad (1.13)$$

Відповідні формули для випадку газоподібного палива ($\text{м}^3/\text{м}^3$) мають вигляд:

$$V_{R_2O}^0 = 0.01(CO_2 + CO + H_2S + \Sigma m C_m H_n); \quad (1.14)$$

$$V_{H_2O}^0 = 0.01(H_2S + H_2 + \Sigma 0.5n C_m H_n + 0.124d_{e.mil}) + 0.0161V^0; \quad (1.15)$$

де $d_{e.mil}$ - вологовміст палива, віднесене до 1 м^3 сухого газу ($\text{г}/\text{м}^3$); при $t_{e.mil} = 10^\circ \text{C}$ можна вважати, що $d_{e.mil} = 10 \text{ г}/\text{м}^3$.

Об'єм повітря при $\alpha > 1$, $\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$), буде

$$V = \alpha V^0 \quad (1.16)$$

Таблиця 1.3

Характеристика продуктів згоряння на поверхнях нагріву

Величина	Одиниця	Топка фестон	Ділянки конвекційних поверхонь нагріву				
Розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря в газозоді V_{R_2O}	- м ³ /кг (м ³ /м ³)						
$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0$	м ³ /кг (м ³ /м ³)						
$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0.0161(\alpha - 1)V^0$	м ³ /кг (м ³ /м ³)						
$V_{\Gamma} = V_{R_2O} + V_{R_2} + V_{H_2O}$	м ³ /кг (м ³ /м ³)						
$r_{RO_2} = V_{RO_2} + V_{\Gamma}$	-						
$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{\Gamma}$	-						
$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	-						
$\mu = 10A^p a_{YH} / V_{\Gamma}$	г/м ³						
$103A^p aY_{YH} / Q_H^p$	% кг/МДж						

Об'єми продуктів згоряння твердих, рідких і газоподібних палив при $\alpha > 1$ відрізняються від теоретичних на величину об'ємів повітря та водяних парів, що поступає в парогенератор з надлишковим повітрям. Оскільки присмоктування повітря не містять трьохатомних газів, то об'єм цих газів V_{RO_2} , від коефіцієнта надлишку повітря не залежить, у всіх газозодах залишається постійним і рівний теоретичному. Об'єм двоатомних газів і водяної пари, м³/кг (м³/м³), визначають за формулами:

$$V_{R_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0, \quad (1.18)$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0.0161(\alpha - 1)V^0. \quad (1.19)$$

Загальний об'єм димових газів при $\alpha > 1$, м³/кг (м³/м³), буде

$$V_{\Gamma} = V_{R_2O} + V_{R_2} + V_{H_2O}. \quad (1.20)$$

Об'ємні доли трьохатомних газів рівні парціальному тиску газів при загальному тиску 0,1 МПа, підраховують за формулами:

$$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_{\Gamma}, \quad (1.21)$$

$$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{\Gamma}, \quad (1.22)$$

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}. \quad (1.23)$$

При спалюванні твердих палив концентрацію золи в димових газах (г/м^3) визначають за формулою:

$$\mu = 10A^p a_{yH} / V_{\Gamma}, \quad (1.24)$$

де a_{yH} - частка золи палива, що виноситься газами (її значення приведені в табл.4 - 1 ÷ 4 - 4).

Розрахунки по визначенню об'ємів повітря і продуктів згорання об'ємних часток трьохатомних газів і концентрації золи зводять в табл. 1.3. У таблиці послідовність і кількість розрахункових ділянок конвекційних поверхонь повинні відповідати компоновці поверхонь нагріву в парогенераторі, що розраховується.

Для пароперегрівача з пароохолоджувачем, встановленим «в розтин», розраховують дві ділянки: до пароохолоджувача та після нього. При компонуванні хвостових поверхонь "у розтин" кожну ступінь економайзера та повітрянагрівача розраховують окремо.

1.4. ЕНТАЛЬПІЇ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ

Ентальпії теоретичного об'єму повітря та продуктів згорання, віднесені до 1 кг або 1 м^3 палива, що спалюється, при температурі ϑ °С, кДж/кг (кДж/м³), розраховують за формулою:

$$I_B = V^0 (Ct)_B, \quad (1.25)$$

$$I_{\Gamma} = V_{RO_2} (c\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2}^0 (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O}^0 (c\vartheta)_{H_2O}, \quad (1.26)$$

де $(ct)_B$, $(c\vartheta)_{RO_2}$, $(c\vartheta)_{N_2}$, $(c\vartheta)_{H_2O}$ - питомі ентальпії повітря, трьохатомних газів, азоту й водяної пари відповідно, кДж/м³.

Питомі ентальпії повітря та продуктів згорання приведені в табл. 1.4. Питому ентальпію сухих трьохатомних газів $(c\vartheta)_{RO_2}$, вважають рівною питомій ентальпії двоокису вуглецю $(c\vartheta)_{CO_2}$.

Розрахунки по визначенню ентальпій теоретичного об'єму повітря та продуктів згорання палива приведені у табл. 1.5.

Ентальпію продуктів згорання на 1 кг або 1 м^3 палива при $\alpha > 1$, кДж/кг (кДж/м³), визначають за формулою:

$$I_{\Gamma} = I_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1)I_B. \quad (1.27)$$

Якщо наведена величина винесення золи з топки $\frac{A_P a_{yH}}{Q_H^P} \cdot 10^3 > 1,5\%$ кг/МДж, то до ентальпії димових газів варто додати ентальпію золи (кДж/кг), що визначається за формулою:

$$I_{3Л} = (c\mathcal{G})_{3Л} A_P a_{yH} / 100, \quad (1.28)$$

де $(c\mathcal{G})_{3Л}$ - питома ентальпія золи, значення якої наведені в табл. 1.4.

Розрахунки по визначенню ентальпії продуктів згоряння палива при різних температурах газів у різних газоводах зводять у табл. 1.6. У таблиці зазначені межі зміни температур, при яких підраховують ентальпію на різних ділянках газового тракту. Біля величини I записують величину ΔI - різниця двох сусідніх по вертикалі значень I при одному значенні α . Значеннями ΔI користуються при визначенні розрахункових значень ентальпії або температур газів методом лінійної інтерполяції.

Таблиця 1.4

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$(ct)_B$	$(c\mathcal{G})_{CO_2}$	$(c\mathcal{G})_{N_2}$	$(c\mathcal{G})_{H_2O}$	$(c\mathcal{G})_{3Л}$ кДж/кг
	кДж/м ³				
100	132	169	130	151	81
200	266	357	260	304	169
300	403	559	392	463	264
400	542	772	527	626	360
500	684	996	664	794	458
600	830	1222	804	967	561
700	979	1461	946	1147	663
800	1158	1704	1093	1335	768
900	1280	1951	1243	1524	874
1000	1436	2202	1394	1725	984
1100	1595	2457	1545	1926	1096
1200	1754	2717	1695	2131	1206
1300	1931	2976	1850	2344	1360
1400	2076	3240	2009	2558	1571
1500	2239	3504	2164	2779	1758
1600	2403	3767	2323	3001	1830
1700	2566	4035	2482	3227	2066
1800	2729	4303	2642	3458	2184
1900	2897	4571	2805	3688	2385
2000	3064	4843	2964	3926	2512
2100	3239	5115	3127	4161	2640
2200	3399	5387	3290	4399	2760

Ентальпії повітря, газів і золи

Таблиця 1.5

Ентальпії теоретичного об'єму повітря та продуктів згоряння палива, кДж/кг (кДж/м³)

Температура °C	$V^0 = \dots M^3$	$V_{RO_2} = \dots M^3$	$V_{N_2}^0 = \dots M^3$	$V_{H_2O}^0 = \dots M^3$	$I_{\Gamma}^0 = I_{RO_2} +$ $+ I_{N_2}^0 = I_{H_2O}^0$
	$I_{\Gamma} = V^0 (ct)_B$	$I_{RO_2} = V_{RO_2} (c\mathcal{G})_{RO_2}$	$I_{N_2}^0 = V_{N_2} (c\mathcal{G})_{N_2}$	$I_{H_2O}^0 = V_{H_2O}^0 (c\mathcal{G})_{H_2O}$	
0					
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
900					
1000					
1100					
1200					
1400					
1600					
1800					
2000					
2200					

Таблиця 1.6

Ентальпії продуктів згорання в газозодах, кДж/кг (кДж/м³)

t, °C	I_n^o	I_z^o	$i_{зм}$	Ділянки газового тракту в газозодах, коефіцієнт надлишку повітря											
				α_m		α_I		α_{II}		α_{III}		α_{n-1}		α_n	
				I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI	I	ΔI
100															
200															
300															
400															
500															
600															
700															
800															
900															

Продовження табл. 1.6

1000																		
1200																		
1400																		
1600																		
1800																		
2000																		
2200																		

- Примітки:
1. Кількість розрахункових ділянок газового тракту повинно відповідати схемі заданого парогенератора
 2. n - остання ділянка газового тракту.
 3. Ентальпії визначаються тільки у визначеному діапазоні температур по газоходах

За даними табл. 1.6 на міліметровому папері будують графік залежності ентальпії продуктів згоряння палива I від температури ϑ , так звану $I\vartheta$ - діаграму (рис. 1.1). При її побудові рекомендуються наступні масштаби: для температури $1\text{ см} = 100^\circ\text{C}$; для ентальпії (при спалюванні торфу й бурих вугінь) $1\text{ см} = 500\text{ кДж/кг}$ і $1\text{ см} = 1000\text{ кДж/кг}$ (при спалюванні іншого палива).

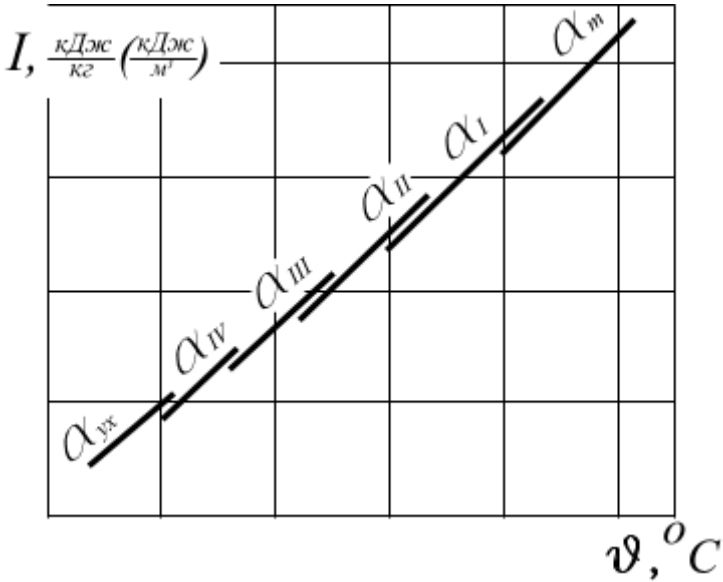


Рис. 1.1. $I\vartheta$ - діаграма продуктів згоряння

Розділ 2. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПАРОГЕНЕРАТОРА

2.1. НАЯВНА ТЕПЛОТА ПАЛИВА

Тепловий баланс парогенератора виражає кількісне співвідношення між теплою, що надійшла в агрегат, названою наявною теплою палива Q_p^p , і сумою корисно використаної теплоти Q_1 і теплових втрат Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 і $Q_{\text{бпл}}$.

Наявну теплоту, віднесено до 1 кг твердого або рідкого палива (кДж/кг), визначають за формулою:

$$Q_p^p = Q_H^p + Q_{B.VH} + i_{TL}, \quad (2.1)$$

а до 1 м³ газоподібного палива (кДж/м³) за формулою:

$$Q_p^p = Q_n^c. \quad (2.2)$$

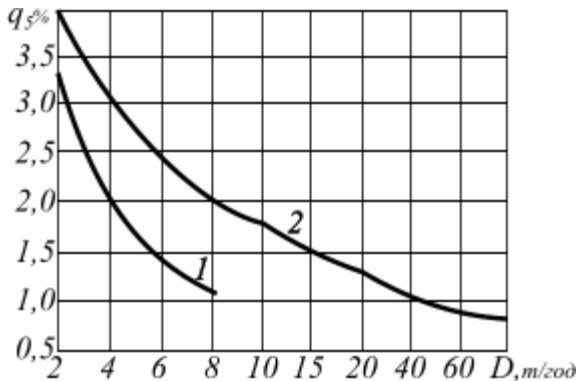


Рис. 2.1. Графік для визначення втрат теплоти від зовнішнього охолодження парогенератора без хвостових поверхонь (1) і із хвостовими поверхнями (2)

Кількість теплоти, внесена повітрям при підігріві його поза парогенератором, кДж/кг (кДж/м³), наприклад у паровому калорифері перед повітрянагрівачем, розраховують за формулою:

$$Q_{в.вн} = \beta' [(I_B^0)' - I_{X.B}^0], \quad (2.3)$$

де $\beta' = \alpha_T'' - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{\text{ПЛУ}} + \Delta\alpha_{\text{ВП}}$ - відношення кількості повітря на вході в повітрянагрівач до теоретично необхідного;

$(I_B^0)'$ і I_{XB}^0 - ентальпії теоретично необхідної кількості повітря після його підігріву в паровому калорифері та холодного повітря, кДж/кг (кДж/м³).

Фізичну теплоту палива $i_{мл}$ (кДж/кг) враховують при паровому підігріві мазуту:

$$i_M = c_M t_M, \quad (2.4)$$

де c_M питома теплоємність мазуту кДж/(кг·К); t_M - температура підігріву мазуту (приймається рівною 120 – 130 °С).

Питому теплоємність мазуту визначають за формулою:

$$c_M = 1.74 + 0,0025 \cdot t_M. \quad (2.5)$$

2.2. СТАЛІ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ

Тепловий баланс складають для сталого теплового стану парогенератора розраховуючи на 1 кг або на 1 м³ палива, що спалюється. Загальне рівняння теплового балансу, кДж/кг (кДж/м³), має вигляд:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{билл}. \quad (2.6)$$

Якщо сталі теплового балансу виразити у відносних величинах (відсотках від наявної теплоти Q_p^p), тобто:

$$q_i = (Q_i / Q_p^p) \cdot 100, \quad (2.7)$$

то рівняння теплового балансу прийме вид:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{билл}. \quad (2.8)$$

При тепловому розрахунку парогенератора корисно використану теплоту Q_1 , (q_1) прямим шляхом визначити не можна, тому що заздалегідь невідома кількість палива B , що спалюється. Тому Q_1 (q_1) знаходять як залишковий член рівняння теплового балансу після визначення всіх втрат теплоти.

Розрахункові втрати теплоти від хімічної й механічної неповноти згоряння палива (q_3 і q_4), виражені у відсотках, приймають із розрахункових характеристик топок (табл. 4-1 ÷ 4-5 [2]), а втрату теплоти від зовнішнього охолодження парогенератора (q_5) визначають за графіком на рис. 2.1.

Втрату теплоти з вихідними газами, знаходять по різниці ентальпій димових газів із парогенератора, і холодного повітря:

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{x.B})(100 - q_4)}{Q_p^P}, \quad (2.9)$$

де I_{yx} - ентальпія вихідних газів, при коефіцієнті надлишку повітря α_{yx} і температурі \mathcal{G}_{yx} , кДж/кг (кДж/м³). Значення I_{yx} знаходять із I- \mathcal{G} таблиці (табл. 1.6) або I- \mathcal{G} діаграми (рис. 1.1); $I_{x.B}^0$ - ентальпія теоретично необхідної кількості холодного повітря, кДж/кг (кДж/м³). Значення $I_{x.B}^0$ наведені в табл. 1.5.

Втрати фізичної теплоти шлаків $q_{\text{шл}}$ приведені у розрахунок для твердих палив при камерному їхньому спалюванні з рідким шлаковидаленням і шаровим спалюванням. При камерному спалюванні із сухим шлаковидаленням $q_{\text{шл}}$ враховують тільки, коли $A^P \geq 2,5 \dots 10^{-3} Q_H^P$.

Втрати фізичної теплоти шлаків розраховують за формулою:

$$q_{\text{шл}} = \frac{a_{\text{шл}} (c\mathcal{G})_{\text{шл}} A^P}{Q_p^P}, \quad (2.10)$$

де $a_{\text{шл}} = I - a_{\text{ун}}$ - частка золи палива в шлаку. Частку золи палива, що виноситься газами ($a_{\text{ун}}$), вибирають з табл. 4-1 ÷ 4-4 [2]; $(c\mathcal{G})_{\text{шл}}$ - питома ентальпія шлаків (її значення приведені в табл. 1.4).

Температуру шлаків при сухому шлаковидаленні приймають рівної 600° С, а при рідкому шлаковидаленні - температурі рідкоплавкого стану золи t_3 плюс 100° С. Значення t_3 наведені в таблиці розрахункових характеристик твердих і рідких палив [2].

Сумарну втрату теплоти в парогенераторі підраховують за формулою:

$$\sum q_{\text{ном}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_{\text{шл}}, \quad (2.11)$$

а к. к. д. парогенератора брутто - за формулою:

$$\eta_{\text{не}} = q_1 = 100 - \sum q_{\text{ном}}. \quad (2.12)$$

Розрахунки по визначенню теплового балансу зводять у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Тепловий баланс парогенератора

Сталі теплового балансу			
Найменування	Позначення	Спосіб визначення	Розрахункове значення
Втрата від хімічної неповноти згорання палива	q_3	По розрахунковим характеристикам топки	
Втрата від механічної неповноти згорання палива	q_4	Те саме	
Втрата від зовнішнього охолодження парогенератора	q_5	За графіком на рис.2.1	
Втрата з вихідними газами	q_2	За формулою (2.9)	
Втрата фізичної теплоти шлаку	$q_{\text{бшл}}$	За формулою (2.10)	
Сумарна втрата	$\Sigma q_{\text{пот}}$	За формулою (2.11)	
к. к. д. парогенератора брутто	$\eta_{\text{пр}} = q_1$	За формулою (2.12)	

2.3. КОЕФІЦІЄНТ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕПЛОТИ

Розбивка втрат теплоти від зовнішнього охолодження парогенератора по окремих його газоходах практично не впливає на результати розрахунку. Тому дану втрату для всіх елементів парогенератора вважають однаковою і визначаються коефіцієнтом збереження теплоти φ , за формулою:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{\text{не}} + q_5} . \quad (2.13)$$

2.4. ВИТРАТА ПАЛИВА

Витрата палива, що подається в топку, кг/с ($\text{м}^3/\text{с}$), розраховують за формулою:

$$B = \frac{D \cdot (i_n - i_{n.e}) + D_{np} \cdot (i_{kin} - i_{n.e})}{Q_p^p \cdot \eta_{n2}} \cdot 100, \quad (2.14)$$

де D - паропродуктивність агрегату, кг/с; i_n - питома ентальпія пари при тиску й температурі у вихідному колекторі парогенератора, кДж/кг (для парогенераторів з перегрівником i_n визначають по табл. VI-8 [2], без перегрівника - по табл. VI-7 [2]); ($i_{n.e}$ - питома ентальпія живильної води, кДж/кг; i_{kin} - питома ентальпія води при температурі насичення, кДж/кг; D_{np} - витрата води на продувку парогенератора (кг/с), причому

$$D_{np} = \frac{p \cdot D}{100}. \quad (2.15)$$

Вираз $D_{np} (i_{kin} - i_{n.e})$ у формулі (3-14) не враховують у випадку, коли продувка парогенератора менше 2%.

Розрахункова витрата палива з врахуванням механічної неповноти його згоряння (кг/с) визначають за формулою:

$$B_p = B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100} \right). \quad (2.16)$$

Надалі у всіх формулах для визначення сумарних об'ємів і кількостей теплоти фігурує величина B_p і тому при підрахунку питомих об'ємів і ентальпій виправлення на механічний недопал палива вносити не потрібно.

Систему пілопідготовки та паливоподачі розраховують по дійсній витраті палива B , а тягу й дугтя - по розрахунковій витраті палива B_p .

ЛІТЕРАТУРА

1. Волощук В. А., Денісов А. К., Трофимчук І. П. Котельні установки промислових підприємств : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 227 с.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под ред. Н. В. Кузнецова, В. В. Митора, И. Е. Дубовского, И. С. Карасиной. Изд. третье, перераб. и доп. Санкт-Петербург : НПО ЦКТИ-ВТИ, СПб, 1998. 256 с.
3. Алабовський О. М., Боженко М. Ф. Проектування котельень промислових підприємств: Курсове проектування з елементами САПР. К. : Вища школа, 1992. 207 с.
6. Тепловой расчет промышленных парогенераторов : учеб. пособие для вузов / под ред. В. И. Частухина. Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1980. 184 с.