



Національний університет

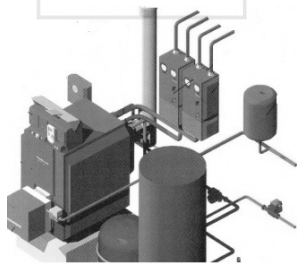
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водовідведення, теплогазопостачання та вентиляції

056 – 309

Методичні вказівки

до практичних занять, виконання розрахунково-графічної роботи
та самостійної роботи з дисципліни "Теплогенеруючі установки"
для студентів напряму підготовки 6.060101 "Будівництво"
професійного спрямування "Теплогазопостачання та вентиляція"
всіх форм навчання



Рекомендовано до друку
методичною комісією напряму
підготовки 6.060101 "Будівництво"
Протокол № 4 від 28 грудня 2012 року

Рівне – 2013



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Методичні вказівки до практичних занять, виконання розрахунково-графічної роботи та самостійної роботи із дисципліни "Теплогенеруючі установки" для студентів напряму підготовки 6.060101 "Будівництво" професійного спрямування "Теплогазопостачання та вентиляція" всіх форм навчання/ В.М.Щербаков, М.М.Басюк - Рівне: НУВГП, 2013. - 28 с.

Упорядники: В.М.Щербаков, канд. техн. наук, доцент,
М.М.Басюк, асистент.

Відповідальний за випуск М.М. Гіроль, доктор техн. наук, проф.,
завідувач кафедри водовідведення, теплогазопостачання та
вентиляції.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

© Щербаков В.М.
Басюк М. М., 2013
© НУВГП, 2013



ВСТУП

Теоретичне викладення дисципліни “Теплогенеруючі установки” неодмінно повинне супроводжуватись виконанням практичних робіт, які не тільки сприяють поглибленому засвоєнню теоретичного матеріалу, але й практичному оволодінню навичками до самостійного виконання розрахунків та проектних рішень.

Теплова енергія - необхідна умова для життєдіяльності людини та створення сприятливих умов його побуту. Підвищення надійності та економічності систем тепlopостачання залежить від роботи теплогенеруючих установок та раціонально спроектованої теплової схеми котельні.

Для виконання розрахунково-графічної роботи необхідно зробити розрахунок котельного агрегату з елементами конструктивного розрахунку окремих поверхонь нагріву. Основною метою розрахунку є визначення основних показників роботи котельного агрегату, а також конструктивних параметрів, що забезпечують високу надійність та економічність його експлуатації при заданих умовах.

Завдання на виконання розрахунково-графічної роботи студенти вибирають за додатком 1 згідно номеру залікової книжки.

Результати виконання розрахунково-графічної роботи оформлюються у вигляді пояснювальної записки загальним обсягом 10-20 сторінок на стандартних аркушах паперу формату А4 з титульною сторінкою, завданням, змістом, вступом, основними розділами та списком використаної літератури.

1. Розрахунок об'ємів повітря та продуктів згоряння палива

Теоретичний об'єм повітря для повного згоряння 1 м³ газу визначається за формулою

$$V_{O} = 0,0476 \cdot (0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + 1,5 \cdot H_2S + \sum (m + 0,25 \cdot n) \cdot C_m H_n - O_2), \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (1)$$

де H_2 , CO , H_2S , $C_m H_n$ – склад газоподібного палива, % [2, табл.IV],
 m , n – число атомів вуглецю та водню в хімічній формулі вуглеводів, що входять до складу палива.



Теоретичний об'єм трьохатомних газів визначається за формулою

$$V_{RO_2}^0 = 0,01 \cdot (CO + CO_2 + H_2S + \sum (m \cdot C_m H_n)), \text{ м}^3 / \text{м}^3 \quad (2)$$

Теоретичний об'єм азоту складає:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,008 \cdot N_2, \text{ м}^3 / \text{м}^3 \quad (3)$$

Теоретичний об'єм водяних парів:

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 \cdot (H_2S + H_2 + \sum (0,5 \cdot n \cdot C_m H_n) + 0,124 \cdot d_z) + 0,0161 \cdot V^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3 \quad (4)$$

де d_z – вологовміст палива віднесений до 1 м³ сухого газу, для температури $t=10^\circ\text{C}$, $d=10 \text{ г/м}^3$.

Теоретичний об'єм сухих димових газів складає:

$$V_{cz}^0 = V_{RO_2}^0 + V_{N_2}^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3 \quad (5)$$

Теоретичний об'єм всіх димових газів:

$$V_z^0 = V_{cz}^0 + V_{H_2O}^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3 \quad (6)$$

У реальних топкових камерах для повного і економічного спалювання палива доводиться подавати більше повітря ніж це теоретично необхідно.

Відношення кількості повітря, поданого для спалювання, до теоретично необхідної кількості повітря називається коефіцієнтом надлишку повітря. Для газомазутних теплогенераторів його приймають в межах $\alpha = 1,02 \dots 1,10$.

Розрізняють теоретичний об'єм продуктів згоряння при $\alpha = 1$, та дійсний при $\alpha > 1$.

Збільшення кількості повітря, що подається в топку, в порівнянні з теоретично необхідним, призводить до зростання обсягу продуктів згоряння. При цьому надлишкове повітря в процесі спалювання участі не бере, а об'єм продуктів згоряння збільшується за рахунок двохатомних газів (N_2 , O_2). Теоретичний об'єм трьохатомних газів (V_{RO_2}) залишається незмінним.

Для виконання теплового розрахунку газовий тракт котельного агрегату в залежності від типу котла ділять на ряд самостійних ділянок. Коефіцієнт надлишку повітря для кожної поверхні нагріву



підраховують шляхом додавання до α_m відповідних присосів повітря $\Delta\alpha$, а в результаті такого підсумовування отримуємо – $\Sigma\Delta\alpha$.

Присоси повітря $\Delta\alpha$ для кожного елемента котла приймають за додатком 3.

Середній коефіцієнт надлишку повітря α_{cp} для кожної поверхні нагріву визначають як середнє арифметичне значень коефіцієнтів надлишку повітря α_1 і α_2 відповідно до і після кожного елемента котла.

Результати розрахунку дійсних об'ємів продуктів згоряння по елементам теплогенератора зводять в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок об'ємів продуктів згоряння

Величина	Розрахункова формула	Одиниці вимірювання	Топка	Газохід	Економізер
Коефіцієнт надлишку повітря після поверхні нагріву	$\alpha_i = \alpha_m + \Delta\alpha$	–			
Середній коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$	–			
Дійсний об'єм азоту	$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^0$	$\frac{m^3}{m^3}$			
Дійсний об'єм трьохатомних газів	$V_{RO_2} = V_{RO_2}^0$	$\frac{m^3}{m^3}$			
Дійсний об'єм водяної пари	$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161 (\alpha_{cp} - 1) \cdot V^o$	$\frac{m^3}{m^3}$			
Дійсний об'єм газів	$V_e = V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{RO_2}$	$\frac{m^3}{m^3}$			
Об'ємна частка трьохатомних газів	$r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_e$	–			
Об'ємна частка водяної пари	$r_{H_2O} = V_{H_2O} / V_e$	–			
Сумарна об'ємна частка	$r_n = r_{H_2O} + r_{RO_2}$	–			



2. Розрахунок ентальпій повітря та продуктів згорання палива

Кількість теплоти, яка міститься в повітрі або в продуктах згорання називається ентальпією (тепломісткістю) повітря або продуктів згорання.

При виконанні розрахунків прийнято ентальпію повітря та продуктів згорання відносити до 1 м^3 (при нормальних умовах) газоподібного палива.

Для камери згорання (топки) при камерному спалюванні природного газу ентальпія продуктів згорання визначається в діапазоні температур $800 - 2000^\circ\text{C}$, конвективних поверхонь $200 - 1000^\circ\text{C}$, для економайзера $100 - 400^\circ\text{C}$.

Розрахункова ентальпія продуктів згорання (для кожної температури з даного діапазону) визначається за формулою

$$I_z = I_z^0 + (\alpha_{cp} - 1) \cdot I_n^0, \text{ кДж/м}^3, \quad (7)$$

де I_n^0 та I_z^0 – відповідно ентальпія повітря та газів віднесені до 1 м^3 палива [2, табл. XIV].

Результати розрахунку заносимо в табл. 2

Таблиця 2

Розрахунок ентальпій повітря та продуктів згорання

T $^\circ\text{C}$	$I_z^0,$ кДж/м^3	$I_n^0,$ кДж/м^3	$I_z = I_z^0 + (\alpha_{cp} - 1) \cdot I_n^0, \text{кДж/м}^3$		
			Топка, α_m	Газохід, α_z	Економайзер, α_e
$t_{х.п}$					
100					
200					
....
1900					
2000					

За результатами розрахунків будується графік залежності ентальпії від температури, приклад наведений на рис. 1.

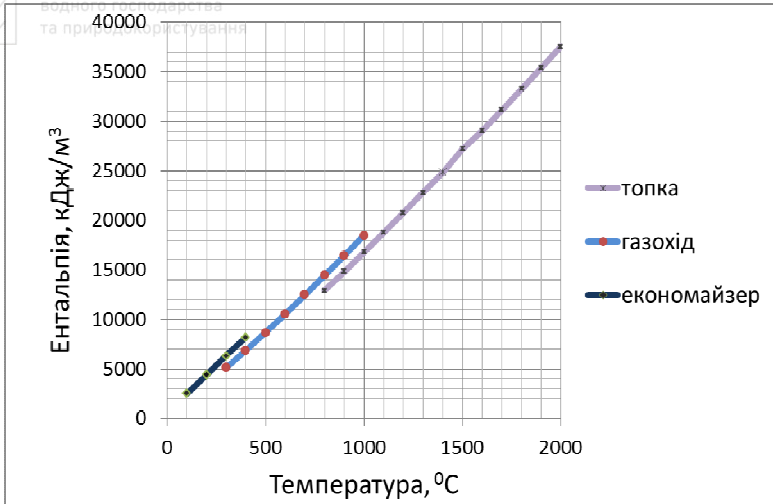


Рис. 1 Графік залежності ентальпії від температури по окремим елементам теплогенератора

3. Тепловий баланс теплогенератора

Тепловий баланс – це сума корисно використаної теплоти в котлі та теплових втрат.

Загальне рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_P^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{кДж} / \text{м}^3 \quad (8)$$

Q_P^P – кількість теплоти, що вноситься в котел (питома теплота згорання 1 м^3 палива), $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Q_1 – теплота, що корисно використовується, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Q_2 – втрати тепла із відхідними димовими газами, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Q_3 – втрати теплоти від хімічної неповноти згорання палива, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Q_4 – втрати теплоти від механічної неповноти згорання, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Q_5 – втрати теплоти в навколишнє середовища від зовнішнього охолодження парогенератора, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Q_6 – втрати теплоти з фізичною теплотою шлака, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

Сталі теплового балансу можна виразити у відносних величинах:



$$q_i = \frac{Q_i}{Q_P^P} \cdot 100 \% \quad (9)$$

Тоді рівняння теплового балансу набуде вигляду:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (10)$$

де q_2 – відносна втрата тепла з відхідними газами

$$q_2 = (I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{x.n.}) \cdot (100 - q_4) / Q_P^P \quad (11)$$

де α_{yx} – коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах за останньою поверхнею нагріву;

I_{yx} – ентальпія відхідних газів, кДж/м³

$I_{x.n.}$ – ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря, що надходить в котел, $I_{x.n.} = 39,8 \cdot V_o$, кДж/м³;

q_3 – розрахункові втрати тепла від хімічної неповноти згорання палива, для газу і мазуту приймається $q_3 = 0,5$ або за характеристикою топки;

q_4 – відносні втрати тепла з механічним недопалом, для газу $q_4 = 0$;

q_5 – втрати теплоти від зовнішнього огородження теплогенератора, додаток 4;

q_6 – втрати тепла зі шлаками, для газу $q_6 = 0$.

Коефіцієнт корисної дії теплогенеруючої установки:

$$\eta = q_1 = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6, \% \quad (12)$$

Визначаємо коефіцієнт збереження тепла:

$$\varphi = 1 - q_5 / (q_5 + \eta) \quad (13)$$

Визначаємо витрату палива:

$$B = \frac{D \cdot (i_n - i_{ж.в.}) + D_{np} \cdot (i_{кин} - i_{ж.в.})}{Q_P^P \cdot \eta} \cdot 100, \text{ м}^3 / \text{с} \quad (14)$$

де D – продуктивність теплогенератора, кг/с;

i_n – питома ентальпія пари у відхідному колекторі парогенератора, визначається [2, табл. XXIII] в залежності від температури пари на виході із парового котла, кДж/кг;

$i_{ж.в.}$ – питома ентальпія живильної води:

$$i_{ж.в.} = t_{ж.в.} \cdot 4,19, \text{ кДж} / \text{кг} \quad (15)$$

D_{np} – втрати води на продувку парогенератора



$$D_{np} = \frac{\rho \cdot D}{100}, \text{ кг / с} \quad (16)$$

ρ – відсоток продуквки, %,

i_{kin} – питома ентальпія води при температурі насичення, кДж/кг,
[2, табл. XXIII].

4. Тепловий розрахунок топки

При тепловому розрахунку топки приймаємо припущення, що теплообмін відбувається переважно випромінюванням, а конвекція складає відносно малу величину.

Перевірочний розрахунок топки проводиться в такій послідовності:

1. Попередньо задаються температурою продуктів згоряння на виході з топкової камери [1, табл. П2], для промислових парових котлів дану температуру рекомендується приймати при спалюванні газу – 950 ... 1000 ° С, мазуту - 1000 ... 1050 ° С, а для водогрійних котлів 950 ... 1150 ° С.

2. За допомогою діаграми $I - T$ (рис. 1), для прийнятої температури продуктів згоряння на виході з топки визначається ентальпія.

3. Обчислюються коефіцієнти та параметри топкової камери:

- коефіцієнти забруднення і теплової ефективності екранів;
- ефективна товщина випромінюючого шару;
- поглинальна здатність газів і водяних парів;
- коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами і частинками сажі;
- ступінь чорноти частин факелу, що світиться і не світиться;
- видиму теплову напругу топкового об'єму;
- ефективну ступінь чорноти факела і ступінь чорноти топки;
- корисне тепловиділення в топці;
- теоретична (адіабатична) температура горіння, яку могли б мати продукти згоряння, якби в топці був відсутній теплообмін з екранними поверхнями обміну;
- середня сумарна теплоємність продуктів згоряння;
- параметр M , який залежить від відносного положення максимуму температури полум'я по висоті топки: для котлів ДКВР, КВ-ГМ, ДЕ [1, табл. П1 і П2].



4. Обчислюється дійсна температура димових топкових газів на виході з топки (п. 32, табл. 3).

5. Отримана температура на виході з топки порівнюється з температурою, яка була прийнята раніше. Якщо розбіжність між отриманою дійсною температурою на виході з топки (п. 32, табл.3) і раніше прийнятої (п.8, табл. 3) на виході з топки не перевищить ± 50 °С, то розрахунок вважається закінченим. В іншому випадку задаються новим, уточненим значенням температури на виході з топки, і весь розрахунок повторюється.

Розрахунок зводиться в табл. 3.

Таблиця 3

Тепловий розрахунок топки

№ п/п	Параметри і розмірність	Позначення	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Розрахунок
1	2	3	4	5
1.	Об'єм топки, м ³	V_m	[1, табл. П1]	
2.	Проміньопоглинаюча (радіаційна) поверхня нагріву	H_n	[1, табл. П1]	
3.	Поверхня стін, м ²	F_{cm}	[1, табл. П1]	
4.	Коефіцієнт забрудненості екранів	ξ	0,65–для газу	
5.	Коефіцієнт теплової ефективності екранів	ψ_{cp}	$\frac{H_{Д} \cdot \xi}{F_{СТ}}$	
6.	Ефективна товщина випромінюючого шару, м	S	$\frac{3,6 \cdot V_T}{F_{СТ}}$	
7.	Абсолютний тиск в топці, 10 ⁵ Па	p	Приймається $p=1$	
8.	Температура топкових газів на виході з топки, °С	T''_m	Задається самостійно	
9.	Ентальпія газів на виході з топки, кДж/м ³	I''_m	За I-T діаграмою, відносно T''_m	
10.	Об'ємна доля водяних парів	r_{H_2O}	Табл.1	
11.	Об'ємна доля трьохатомних газів і водяних парів	r_n	Табл.1	
12.	Сумарна поглинаюча здатність трьохатомних газів і водяних парів, м ³ Па 10 ⁵	$p_n S$	$p r_n S$	
13.	Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами, 1/ (м ³ Па 10 ⁵)	K_r	додаток 5	

1	2	3	4	5
14.	Коефіцієнт послаблення променів для негорючої частини полум'я, $1/(м \cdot Па \cdot 10^5)$	K_{nc}	$K_r r_n$	
15.	Сила поглинання потоків	KpS	$K_r r_n p \cdot S = K_{nc} p \cdot S$	
16.	Ступінь чорноти топкового середовища для не яскравого полум'я	α_{nc}	додаток 6 або за формулою $1 - e^{-K_{HC} \cdot P \cdot S}$	
17.	Відношення вмісту вуглекислого газу і водню в робочій масі палива	$\frac{C^p}{H^p}$	$0,12 \cdot \sum \left(\frac{m}{n} \cdot C_m \cdot H_n \right)$	
18.	Коефіцієнт послаблення променів частинками сажі	K_c	$0,03 \cdot (2 - \alpha_T) \cdot \frac{C^p}{H^p} \cdot \left(1,6 \cdot \frac{T_T + 273}{1000} - 0,5 \right)$	
19.	Коефіцієнт послаблення променів для палаючого полум'я	K_{cv}	$K_{HC} + K_C$	
20.	Сила поглинання потоку для палаючого полум'я	$K_p S$	$K_{CB} \cdot p \cdot S$	
21.	Ступінь чорноти топкового середовища для яскравого полум'я	α_{cv}	додаток 6 або за формулою $1 - e^{-K_{CB} \cdot P \cdot S}$	
22.	Видиме теплове напруження топкового об'єму, кВт/м ³	q_v	$B_p \cdot Q_H^p / V_T$	
23.	Коефіцієнт заповнення полум'ям топкового об'єму	m	додаток 8	
24.	Ефективний ступінь чорноти факелу	α_ϕ	$m \cdot \alpha_{CB} + (1 - m) \cdot \alpha_{HC}$	
25.	Ступінь чорноти топки	α_m	$\frac{\alpha_\phi}{\alpha_\phi + (1 - \alpha_\phi) \cdot \psi_{CP}}$	
26.	Теплота яка вноситься в топку з повітрям	Q_v	$Q_B = 39,8 \cdot \alpha_T \cdot V^0$	
27.	Корисне тепловиділення в топці, кДж/м ³	Q_m	$Q_p^p \cdot \left(1 - \frac{q_3}{100} \right) + Q_B$	
28.	Теоретична (адіабатна) температура горіння, °С	T_a	По I - T діаграми згідно Q_m	
29.	Середня сумарна теплоємність топкових газів, кДж/м ³ К	c_p	$\frac{Q_m - I_m^*}{T_a - T_m^*}$	
30.	Параметр топки, М.	M	[1, табл. ПІ і ПІ2].	
31.	Тепловиділення в топці на 1 м ² стін, Вт/м ²	$\frac{B_p \cdot Q_T}{F_{CT}}$	$(B_p \cdot Q_T) / F_{CT}$	

1	2	3	4	5
32.	Дійсна температура газів на виході з топки, °С	$T_{m.д.}$	Додаток 7 або за формулою: $T_a + 273 \cdot \left(\frac{5.67 \cdot \psi_{CP} \cdot F_{CP} \cdot \alpha_m \cdot (T_a + 273)^3}{10^{11} \cdot \varphi \cdot B_p \cdot C_p} \right)^{0.6} - 273$	
33.	Дійсна ентальпія на виході з топки, кДж/м ³	$I_{m.д.}$	За I-T діаграмою згідно $T_{m.д.}$.	
34.	Теплота, що передається випромінюванням в топці, кДж/м ³	$Q_{в}$	$\varphi \cdot (Q_m - I_{m.д.})$	

5. Розрахунок конвективних поверхонь теплогенератора

Поверхні нагріву розміщені в газоходах котла сприймають теплоту, що передається в основному конвекцією. До таких поверхонь відносять: у парових котлах – кип'ятільні труби, труби пароперегрівача та водяного економайзера, а у водогрійних котлах - труби Фестона та конвективного пучка шахти.

Продукти згоряння, проходячи по газовому тракту котла, передають теплоту зовнішній поверхні труб за рахунок конвекції і випромінювання, потім ця ж кількість теплоти проходить через металеву стінку, після чого теплота від внутрішньої поверхні труб передається воді і пару.

Ефективність роботи конвективних поверхонь нагріву залежить від інтенсивності теплопередачі – передачі теплоти від продуктів згоряння до води і пару через розділювальну стінку.

При розрахунку використовуються рівняння теплопередачі і рівняння теплового балансу, а розрахунок виконується для 1 кг рідкого палива або 1 м³ газу при нормальних умовах. Для парового котельного агрегату розрахунок виконується для кожного (або загального) газоходу, а в водогрійному котлі – спочатку для труб фестона, а потім для конвективного пучка шахти.

Розрахунок виконують в наступній послідовності:

1. Визначають конструктивні характеристики [1, табл. П1, П2]: площі поверхонь нагріву, живий переріз для проходу газу, крок труб і рядів, діаметр труб та ін.



2. Попередньо задаємося або, при наявності, приймаємо за паспортними характеристиками котла [1, табл. П2] значення температури топкових газів після поверхні нагріву. Якщо таких даних немає, то, згідно з умовами роботи котла, задають довільно значення температур топкових газів.

3. Згідно рівняння теплового балансу, визначають кількість теплоти передане від продуктів згоряння до теплоносія через конвективну поверхню нагріву, а саме: в кипятильному пучку парового котла - Q_k , в трубах фестолах - Q_{ϕ} , в конвективному пучку або шахті водогрійного котла - $Q_{ш}$. Потім обчислюють середню температуру води (для водогрійного котла), середній температурний напір Δt і підраховують середню швидкість продуктів згоряння.

4. За номограмами (додатки 9,10) графо-аналітичним методом визначають коефіцієнт тепловіддачі конвекцією і випромінюванням, після чого обчислюють коефіцієнт теплопередачі і теплосприйняття поверхнею нагріву - Q_m .

5. Якщо отримані з рівняння теплообміну значення теплосприйняття Q_m відрізняються від визначеного за рівнянням балансу Q_b тобто при невязці розрахунку Δ менше 2%, розрахунок поверхні нагріву вважається закінченим, а попередньо задане значення температури на виході з конвективної поверхні нагріву (газоходу, фестони, шахти) і є правильною температурою для розрахунку наступних поверхонь нагріву.

6. При розбіжності значень Q_m і Q_b , тобто при невязці розрахунку Δ більше 2% (що зустрічається найчастіше), задають нове значення температури газів за поверхнею нагріву, причому температуру приймають в більшу сторону при плюсовій (+) невязці і в меншу сторону при мінусовій (-) невязці, і знову повторюють розрахунок.

7. Для прискорення розрахунку можливе використання графо-аналітичного методу, наведеного на рис. 2.

Розрахунок зводиться в табл. 4.



Розрахунок конвективних поверхонь нагріву парових
теплогенераторів

№ п/п	Параметри і розмірності	Позначення	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Розрахунок		
				T_1	T_2	T_3
1	2	3	4	5	6	7
1.	Зовнішній діаметр труб і їх розміщення, м	d_H	[1,табл. П1]			
2.	Поперечний крок труб,м	S_1	[1,табл. П1]			
3.	Відносний поперечний крок труб, м	σ_1	S_1 / d_1			
4.	Повздовжній крок труб	S_2	[1,табл. П1]			
5.	Відносний повздовжній крок труб,м	σ_2	S_2 / d_1			
6.	Число рядів труб по напрямку продуктів згорання	Z	[1,табл. П1]			
7.	Розрахункова поверхня нагріву (конвективна), м ²	H_K	[1,табл. П1]			
8.	Переріз для проходу топкових газів, м ²	F_z	[1,табл. П1]			
9.	Ефективна товщина випромінюючого шару	S	$0,9 \cdot d_H \cdot (1,27 \cdot S_1 \cdot S_2 / d_H^2)$			
10.	Температура газів перед газоходом, °С	T_k'	$T_k' = T_{m,\Delta}$, (табл.3, п.32)			
11.	Ентальпія газів перед газоходом, кДж/м ³	I_k'	$I_k' = I_{m,\Delta}$, (табл.3, п.33)			
12.	Температура топкових газів після газоходу, °С	T_k''	[1,табл. П1]			
13.	Ентальпія газів після газоходу, кДж/м ³	I_k''	За І-Т діаграмою згідно T_k''			
14.	Теплосприйняття поверхні за рівнянням теплового балансу, кДж/м ³	Q_k	$\varphi \cdot (I_k' - I_k'' + \Delta\alpha_z \cdot I_n^0)$			
15.	Середня температура газів в пучку, °С	T_k^{cp}	$0,5 \cdot (T_k' + T_k'')$			
16.	Температура насичення, °С	t_H	[1,табл. П1]			
17.	Температурний напір перед площиною (більший)	Δt_b	$T_k' - t_n$			
18.	Температурний напір перед площиною (менший)	Δt_m	$T_k'' - t_n$			

1	2	3	4	5	6	7
19.	Середній температурний напір, °С	Δt	$(\Delta t_{\delta} - \Delta t_m) / \ln \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} \right)$			
20.	Об'єм топкових газів в газоході, м ³ /м ³	V_g	табл. 1, для газоходу			
21.	Об'ємна доля водяних парів	r_{H_2O}	табл. 1, для газоходу			
22.	Сумарна об'ємна доля трьохатомних газів і водяних парів	r_n	табл. 1, для газоходу			
23.	Середня швидкість газів, м/с	W	$\frac{B_p \cdot V_g \cdot (T_k^{cp} + 273)}{F_g \cdot 273}$			
24.	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцій від газів до труб, Вт/м ² ·К	α_k	$\alpha_K = \alpha_H \cdot c_z \cdot c_s \cdot c_{\phi}$			
25.	Сумарна поглинаюча здатність трьохатомних газів і водяних парів, м·Па·10 ⁵	P_s	$p \cdot r_n \cdot S$			
26.	Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами і водяною парою	K_r	додаток 5 при T_k^{cp}			
27.	Сила поглинання променевого потоку газів	$K_p S$	$K_r \cdot r_n \cdot p \cdot S$			
28.	Ступінь чорноти газового потоку	α	додаток 5			
29.	Температура забруднених стінок труб	t_{cm}	$t_H + 25$			
30.	Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням, Вт/м ² ·К	α_l	$\alpha_H \cdot \alpha \cdot c_{\Gamma}$			
31.	Коефіцієнт теплової ефективності для конвективних поверхонь	ψ_k	0,85 – для газу			
32.	Коефіцієнт теплопередачі в пучку труб	K	$\psi_k \cdot (\alpha_K + \alpha_l)$			
33.	Теплосприймання пучка за р-ням теплопередачі, кДж/м ³	Q_T	$\frac{K \cdot H_K \cdot \Delta t}{B_p \cdot 10^3}$			
34.	Дійсна температура за газоходом	T_g	рис. 4			
35.	Дійсна ентальпія за газоходом	I_g	за табл. 2			

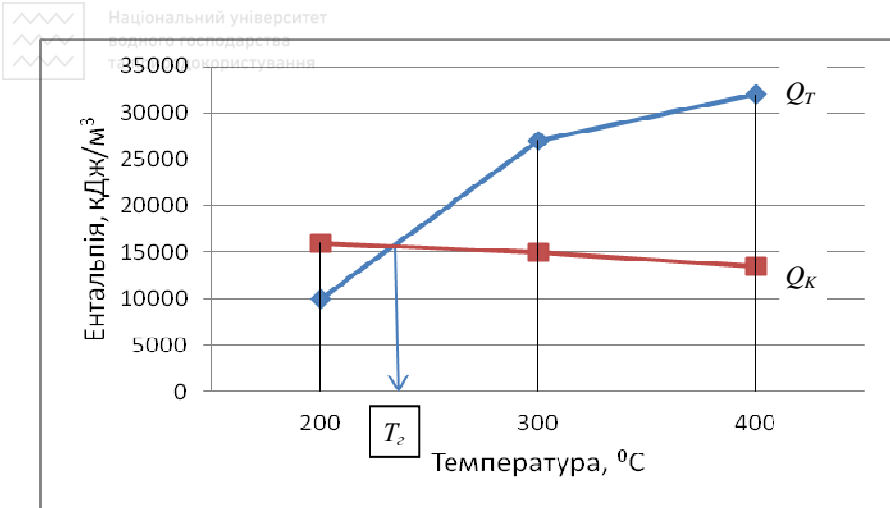


Рис.2 Графік для визначення температури газів на виході з конвективної частини котельної установки

6. Розрахунок водяного економайзера

Водяний економайзер призначений для нагріву живильної чи мережевої води за рахунок теплоти відхідних топочних газів. Найчастіше використовується чавунні економайзери ВПІ, а при великому тиску – сталеві.

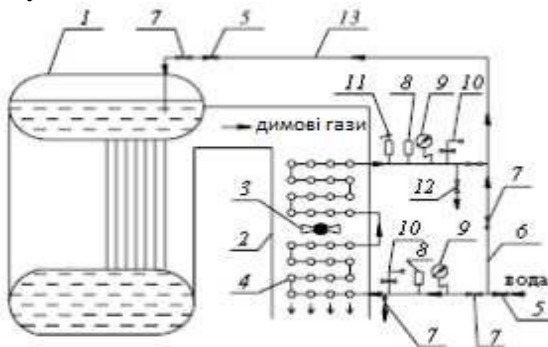


Рис. 3 Схема обв'язки водяного економайзера:

1-верхній барабан парового котла; 2-обмуровка економайзера; 3-обдувочний паровий апарат; 4-чавунні ребристі труби; 5-зворотній клапан; 6-обвідна лінія (байпас); 7-вентилі; 8-термометр; 9-манометр; 10-запобіжний клапан; 11-повітрязабірник; 12-спускна труба; 13-живильна труба.



Розрахунок водяних економайзерів рекомендується проводити в наступній послідовності:

1. Температура та ентальпія продуктів згоряння, відомі з розрахунку газоходу, чисельно рівні температурі і ентальпії продуктів згоряння на вході в водяний економайзер.
2. За рівнянням теплового балансу кількість теплоти, що передається від продуктів згоряння, прирівнюється до кількості теплоти, що сприймається водою в економайзері.
3. З таблиці водяної насиченої пари [2, табл. XXIII], по ентальпії води після економайзера, визначають температуру води на виході з економайзера. Якщо отримана температура води виявиться на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ нижче температури насичення (кипіння води при відповідному тиску), то чавунний економайзер буде працювати в нормальному режимі. У протилежному випадку можливе закипання води в економайзері, що неприпустимо. Для цього необхідно збільшити температуру відхідних топкових газів і тим самим знизити теплосприйняття економайзера.
4. За конструктивними характеристиками економайзера вибирається чавунна труба певної довжини l (в першому наближенні можна вибрати $l=2000$ мм). Кількість труб в горизонтальному ряду економайзера приймається від 3 до 10.

Обчислена в подальшому (п. 18 табл. 5) дійсна швидкість топкових газів W повинна знаходитися в межах від 6 до 9 м/с. Якщо ця умова не виконується, то змінюють довжину труби, прийняту для економайзера раніше.

5. За дійсної швидкості продуктів згоряння в економайзері визначається коефіцієнт теплопередачі (додаток 11).
6. За отриманою поверхнею нагріву економайзера визначається загальне число труб, число рядів і остаточно приймається його конструкція, а саме: труби компонуються так, щоб число горизонтальних рядів труб в блоці було від 4 до 8. Це необхідно для нормальної обдувки (очищення парою) зовнішніх поверхонь нагріву, так як один обдувочний апарат обслуговує тільки чотири ряди горизонтальних труб вгору і стільки ж униз.

Розрахунок чавунного водяного економайзера зводять в табл. 5



Розрахунок водяного економайзера

№ п/п	Найменування параметрів та їх розмірності	Позначення	Розрахункові формули	Розрахунок
1	2	3	4	5
1.	Температура топкових газів на вході в економайзер, °С	T_e	$T_e = T_e,$ (табл. 4, п. 34)	
2.	Ентальпія топкових газів, кДж/м ³	I_e	$I_e = I_e,$ (табл. 4, п. 35)	
3.	Температура відхідних топкових газів, °С	T_{yx}	[1,табл. П1]	
4.	Ентальпія відхідних топкових газів, кДж/м ³	I_{yx}	[1,табл. П1]	
5.	Теплосприйняття водяного економайзера по рівнянню теплового балансу, кДж/м ³	Q_e	$\varphi \cdot (I_e - I_{yx} + \Delta\alpha_e \cdot I_n^0)$	
6.	Ентальпія води на виході з економайзера, кДж/м ³	i_e	$i_{ж.в.} + (Q_e \cdot B_p) / D_{H.П}$	
7.	Температура води на виході з економайзера °С; при умові: $t_e < t_n - 20$	t_e	$t_e \approx \frac{i_e}{4,19}$	
8.	Температурний напір на початку економайзера, °С	Δt_b	$T_e - t_e$	
9.	Температурний напір в кінці економайзера, °С	Δt_m	$T_{yx} - t_{ж.в.}$	
10.	Середній температурний напір в економайзері, °С	Δt	$\frac{\Delta t_b - \Delta t_m}{\ln(\Delta t_b / \Delta t_m)}$	
11.	Довжина труб, м	l	додаток 12	
12.	Поверхня нагріву однієї поребреної труби, м ²	H_{TP}	додаток 12	
13.	Площа живого перерізу для проходження топкових газів однієї поребреної труби, м ²	F_{TP}	додаток 12	
14.	Кількість труб в ряді, шт	z	від 3 до 9	
15.	Загальна площа живого перерізу для проходження топкових газів в економайзері, м ²	F_e	$F_{TP} \cdot z$	
16.	Середня температура топкових газів в економайзері, °С	T_e^{CP}	$0,5 \cdot (T_e + T_{yx})$	

1	2	3	4	5
17.	Об'єм продуктів згоряння в економайзері, м ³ /м ³	V_2	табл.1	
18.	Дійсна (середня) швидкість топкових газів в економайзері, м/с	W	$\frac{B_P \cdot V_{\Gamma} \cdot (T_e^{cp} + 273)}{F_{TK} \cdot 273}$	
19.	Коефіцієнт теплопередачі від газів до води, Вт/м ² ·К	K	$K = K_H \cdot c_T$	
20.	Поверхня нагріву водяного економайзера, м ²	H_e	$\frac{Q_e \cdot B_P \cdot 10^3}{K \cdot \Delta t}$	
21.	Загальна кількість труб водяного економайзера, шт.	n	H_{TK} / H_{TP}	
22.	Число горизонтальних рядів труб економайзера, шт.	m	n / z	
23.	Кількість блоків для обдувки, шт.	f	$m / 4$	
24.	Кількість апаратів для обдувки, шт	χ	$f/2+0,5$ – для непарної, $f/2$ – для парної кількості	

7. Перевірочний розрахунок теплового балансу

Тепловий розрахунок парового або водогрійного котельного агрегату закінчується визначенням відносної похибки неув'язки теплового балансу. При правильно виконаному розрахунку відносна похибка неув'язки не повинна перевищувати 0,5%.

Таблиця 6

Таблиця теплового розрахунку теплогенератора

Величина	Розмірність	Топка	Газохід	Економайзер
1. Температура газів на вході	°С			
2. Температура газів на виході	°С			
3. Теплосприйняття	кДж/м ³			
4. Температура теплоносія на вході	°С			
5. Температура теплоносія на виході	°С			
6. Швидкість газів	м/с			

Перевірка розрахунків здійснюється за формулою:



$$\frac{Q_p^p \cdot \eta}{100} = Q_m + Q_{газ} + Q_e \quad (16)$$

де Q_p^p – корисно використана теплота (теплота згоряння палива),

кДж/м³;

η – ККД котла, %;

Q_m – теплосприйняття в топці, кДж/м³;

$Q_г$ – теплосприйняття в газоході, кДж/м³;

Q_e – теплосприйняття в економайзері, кДж/м³.

Завдання для самостійної роботи

До самостійної роботи студентів входять наступні види робіт:

- опрацювання лекційного матеріалу з кожної теми;
- опрацювання рекомендованої літератури;
- підготовка до практичних робіт;
- підготовка до модульного контролю;
- підготовка до іспиту.

Теми завдань для самостійного опрацювання студентами:

1. Сучасні методи генерації теплоти у великих об'ємах [1, с. 5-12];
2. Котельні установки та системи їх водопостачання; паливо [1, с.141-155, 171-187; 2, с. 18-43];
3. Подача повітря та видалення продуктів горіння [1, с. 81-96];
4. Котельні агрегати малої та середньої потужності, особливості їх роботи [1, с. 97-134; 4, с. 221-315];
5. Димарі: їх робота і розрахунок [4, с. 406-418];
6. Нетрадиційні ТГУ (атомні, сонячні, геотермальні) [1, с. 14-44];
7. Економічні та соціальні основи діяльності та вдосконалення ТГУ, експлуатація ТГУ [1, с. 188-206].

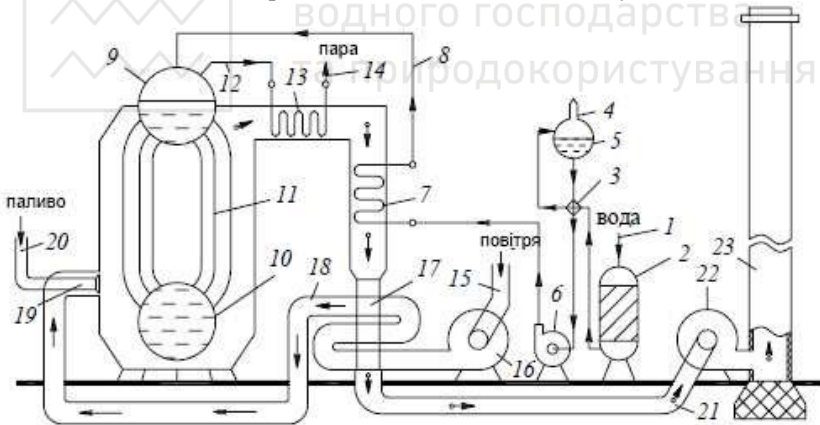


ДОДАТКИ

Додаток 1 Завдання до виконання розрахунково-графічної роботи

Передостання цифра залікової книжки	Тип котла	Процент продукції, ρ, %	Остання цифра залікової книжки	Газ з газопроводу чи родовища	Температура живильної води, $t_{\text{в}}$, °C	Температура холодного повітря, $t_{\text{хп}}$, °C
0	ДЕ-4-14	3	0	Дашава-Київ	90	15
1	ДЕ-6,5-14	9	1	Гоголево-Полтава	95	20
2	ДЕ-10-14	8	2	Угерско-Львів	100	25
3	ДКВР-10-13	7	3	Угерско-Гнездици-Київ	91	30
4	ДКВР-4-13	5	4	Шебелинська-Дніпропетровськ	101	17
5	ДКВР-6,5-13	3	5	Дашава-Київ	100	15
6	ДЕ-4-14	4	6	Гоголево-Полтава	98	14
7	ДЕ-6,5-14	6	7	Угерско-Гнездици-Київ	93	20
8	ДЕ-10-14	7	8	Шебелинська-Дніпропетровськ	90	26
9	ДКВР-10-13	5	9	Саратов-Москва	102	18

Додаток 2 Принципова схема котельної установки



1-водопровід; 2-катіонітовий фільтр; 3-теплообмінник; 4-колонка деаератора; 5-бак деаератора; 6-живильний насос; 7-водяний економайзер; 8-живильна лінія; 9-верхній барабан; 10-нижній барабан; 11-кипятильні трубки; 12-паропровід; 13-пароперегрівник; 14-паропровід перегрітої пари; 15-повітропровід; 16-вентилятор; 17-повітропідігрівач; 18-повітропровід нагрітого повітря; 19-паливник; 20-подача палива; 21-відведення газів; 22-димосмок; 23-димова труба.

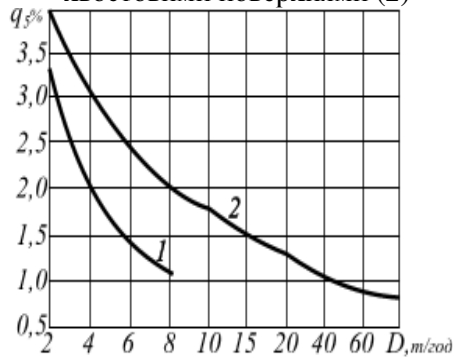


Додаток 3 Присоси повітря по газовому тракту котла

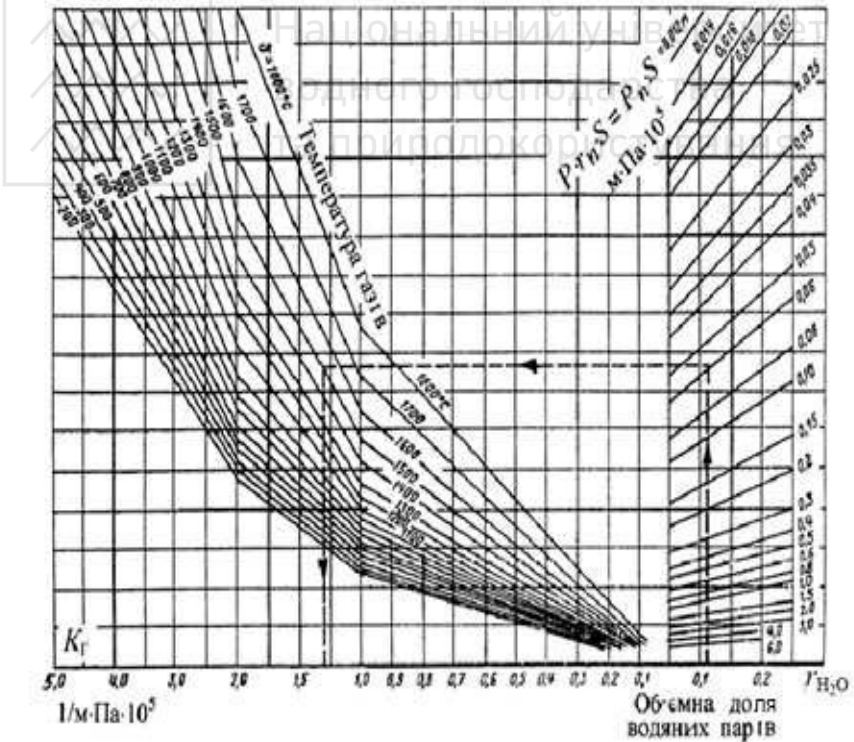
Елементи газового тракту котла		Величина присосу
Топкові камери пиловугільних та газомазутних котлів	Газощільні	0,02
	З металевою обшивкою труб екрану	0,05
	З обмурівкою і металевою обшивкою	0,07
	З обмурівкою і без обшивки	0,10
Газоходи конвективних поверхонь нагріву	Газощільний газохід від топки до повітропідігрівника (Величина присосу розподіляється рівномірно по розташованим в газоході поверхням нагріву)	0,02
	Негазощільні газоходи:	
	Фестон, ширмовий пароперегрівник	0
	Перший котельний пучок для котлів продуктивністю <50 кг/с	0,05
	Другий котельний пучок для котлів продуктивністю >50 кг/с	0,10
	Первинний пароперегрівник	0,03
	Проміжний пароперегрівник	0,03
	Перехідна зона прямооточного котла	0,03
	Економізатор котлів продуктивністю >50 кг/с (кожен ступінь)	0,02
	Економізатор котлів продуктивністю <50 кг/с:	
	- сталевий	0,08
	- чавунний з обшивкою	0,10
- чавунний без обшивки	0,20	
Газоходи за котлом	Сталеві (кожні 10 п. м)	0,01
	Цегляні (кожні 10 п. м)	0,05



Додаток 4 Графік для визначення втрат теплоти від зовнішнього огородження парогенератора без хвостових поверхонь (1) та з хвостовими поверхнями (2)

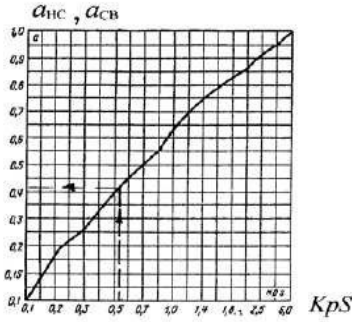


Додаток 5 Коефіцієнт послаблення променів трьохатомними газами

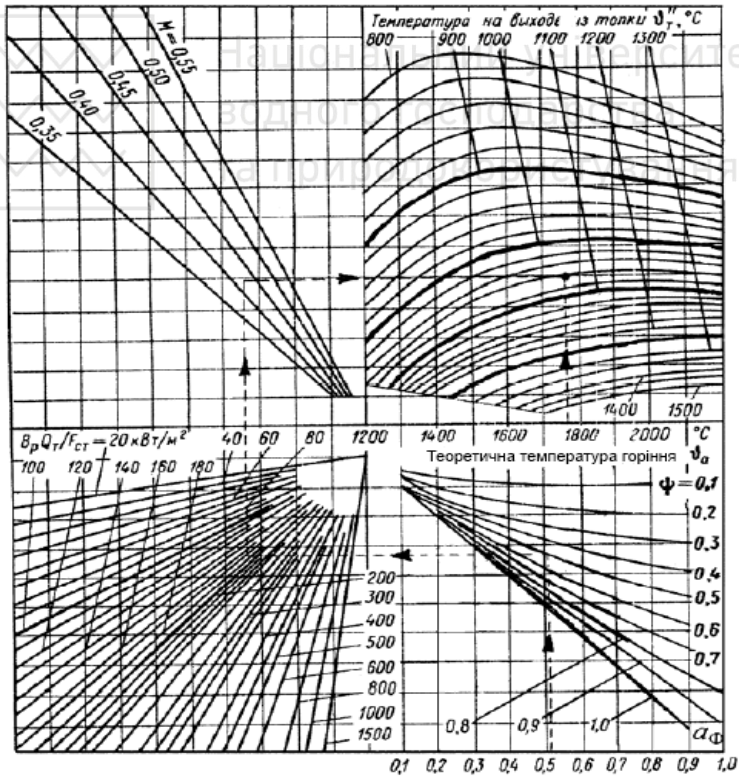




Додаток 6 Ступінь чорноти продуктів згоряння a в залежності від сумарної оптичної товщини середовища $K\rho S$



Додаток 7 Розрахунок дійсної температури топкових газів на виході з топки

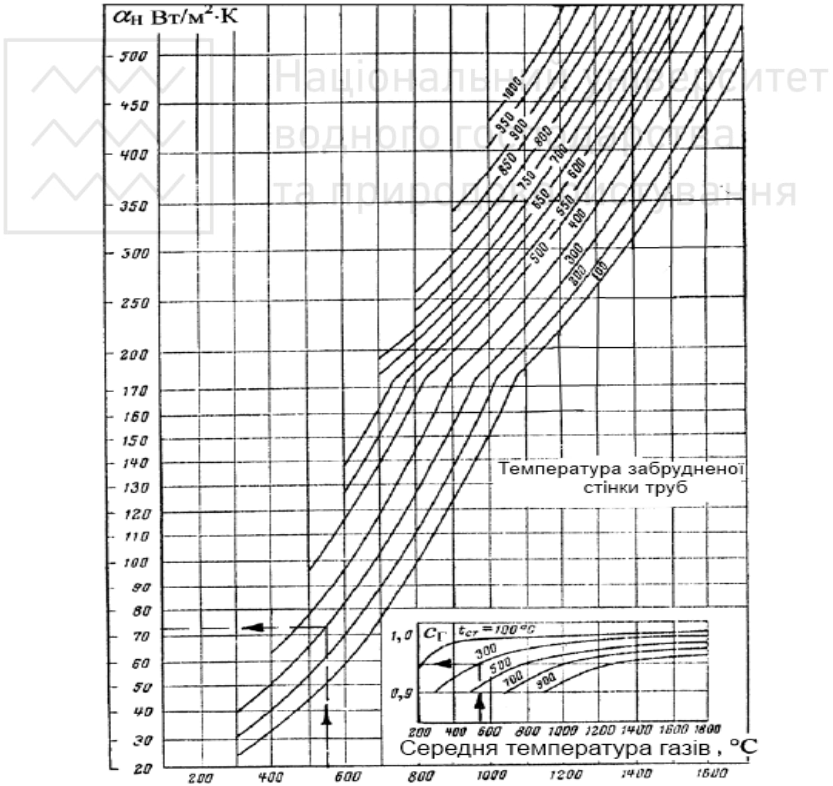




Додаток 8 Значення коефіцієнту m

Значення q_v , кВт/м ²	Газ	Мазут
	m	m
<400	0,10	0,55
400...500	0,15	0,60
500...600	0,20	0,65
600...700	0,25	0,70
700...800	0,30	0,75
800...900	0,35	0,80
900...1000	0,40	0,85
1000...1100	0,45	0,90
1100..1160	0,50	0,95
>1160	0,60	1,0

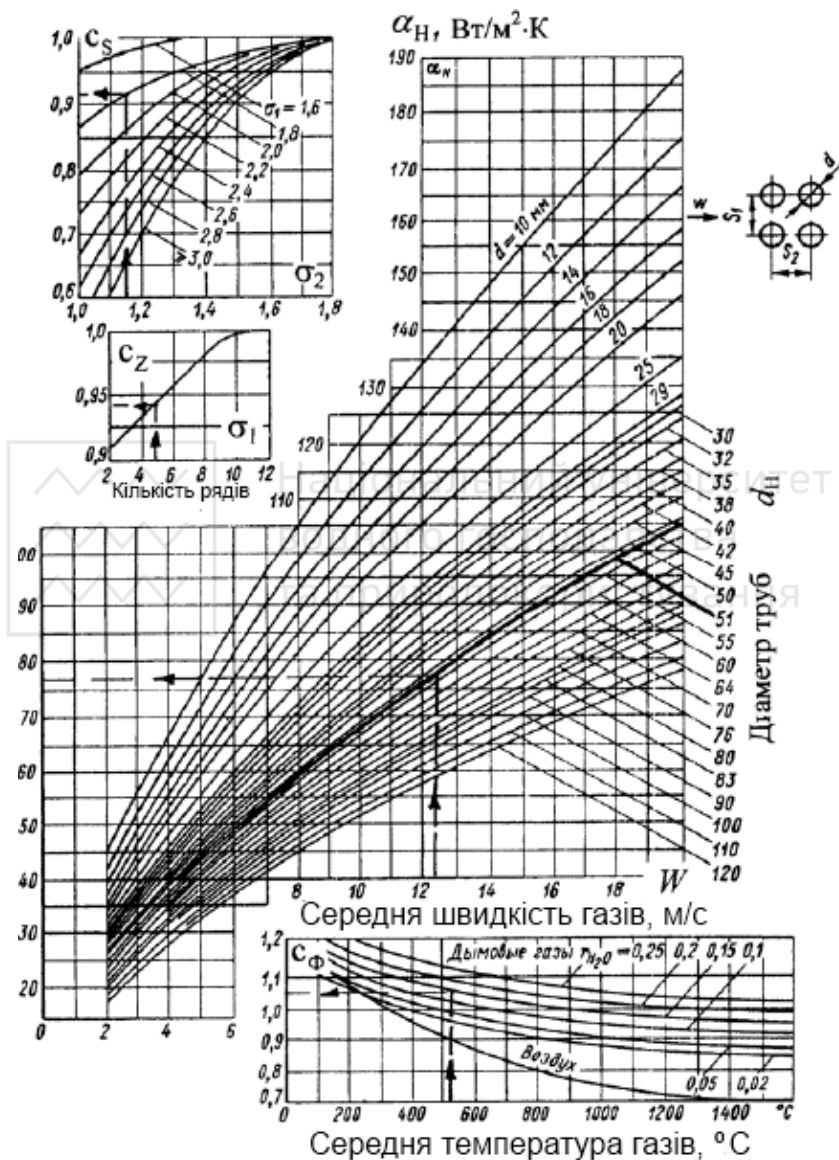
Додаток 9 Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням





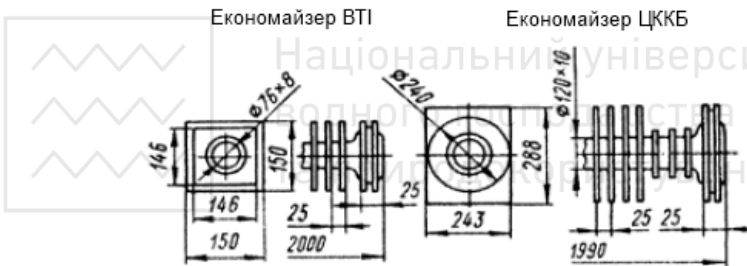
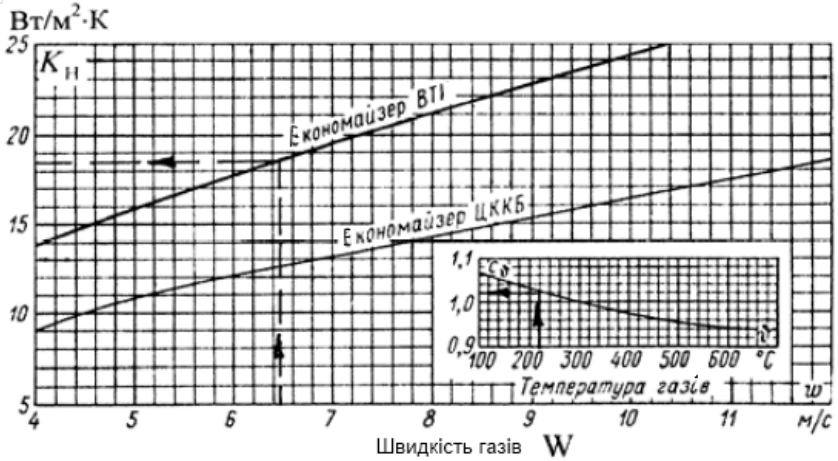
Додаток 10 Коefіцієнт тепловіддачі конвекцією

$$\alpha_K = \alpha_H \cdot C_Z \cdot C_S \cdot C_\Phi$$





Додаток 11 Коефіцієнт теплопередачі чавунних економайзерів



Додаток 12 Конструктивні характеристики труб чавунних економайзерів ВТІ

Характеристика	Довжина труб l , мм			
	1500	2000	2500	3000
Площа поверхні нагріву з газової сторони $H_{тр}$, м ²	2,18	2,95	3,72	4,49
Площа живого перерізу для проходження топкових газів $F_{тр}$, м ²	0,088	0,120	0,152	0,184



ЛІТЕРАТУРА

1. Фокин М.Н. «Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения». Москва 2006, 165 с.
2. «Тепловой расчет котельных агрегатов». Нормативный метод, Санкт-Петербург 1998, 259 с.
3. Шарапов В.И. , Макарова Є.В. «Теплогенерирующие установки» Курсовой проект, Ульяновск 2006, 100 с.
4. Роддатис К.Ф. «Котельные установки». М.: Энергия, 1977, 432 с.
5. СНиП II-35–76. Котельные установки. М.: Стройиздат, 1977, 48 с.
6. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. - Київ: Політехніка, 2003. - 232с.
7. Ткаченко О.О. Високотемпературні процеси та установки: Підручник. - Київ: А.С.К., 2005. - 480с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Розрахунок об'ємів повітря та продуктів згоряння палива.....	3
2. Розрахунок ентальпій повітря та продуктів згоряння палива..	6
3. Тепловий баланс теплогенератора	7
4. Тепловий розрахунок топки.....	9
5. Розрахунок конвективних поверхонь теплогенератора.....	12
6. Розрахунок водяного економайзера	16
7. Перевірочний розрахунок теплового балансу.....	18
Завдання для самостійної роботи.....	19
Додатки.....	21
Література	28