

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового проектування
«РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ КОТЛА»
за курсом «Проектування сучасних котлів та котелень»
для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»
всіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 3 від 12.10.2023

Харків

НТУ «ХПІ»

2024

Методичні вказівки до курсового проектування «Розрахунок теплового балансу котла» за курсом «Проектування сучасних котлів та котелень» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» всіх форм навчання/ уклад.: М. О. Тарасенко, О. М. Тарасенко. – Харків: НТУ «ХП», 2024. – 31 с.

Укладачі: М. О. Тарасенко

О. М. Тарасенко

Рецензент Т. М. Пугачова

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

В даних методичних вказівках викладено методику виконання перевірконого та конструктивного розрахунку промислових котлів, наведені дані, необхідні студентам для виконання курсового та дипломного проекту.

Перевірочний розрахунок виконують для існуючого котла з відомими конструктивними характеристиками. Для заданого навантаження та виду палива визначають температуру теплоносіїв (вода, пара, повітря, димові гази) на межах між поверхнями нагріву, ККД агрегату, витрату палива, витрати і швидкості повітря та продуктів згоряння палива.

Метою конструктивного розрахунку є розробка проекту нового котла на задану продуктивність, параметри пари та вид палива. При цьому визначають розміри топки і площу поверхонь нагріву окремих елементів агрегату, розміри газоходів. Конструктивний розрахунок є необхідним для вибору допоміжного обладнання (вентилятори, димососи, насоси та ін), для проведення аеродинамічного, гідравлічного та розрахунку на міцність елементів котла.

В ряді випадків виконується змішаний конструкторсько-перевірочний розрахунок, коли заново визначаються розміри лише деяких елементів котла, тоді як основні частини типового котла та його загальне компонування, як правило, зберігаються.

Методика теплового розрахунку, основні розрахункові формули, позначення використовуваних у розрахунку величин представлені в посібнику відповідно до нормативного методу теплового розрахунку котельних агрегатів. У довідковій частині посібника розміщені деякі технічні характеристики котлів та їх основних елементів.

Курсовий проект з дисципліни «Проектування сучасних котлів та котельних» складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка має містити: вступ, коротку технічну характеристику котла, вихідні дані, розрахунок об'ємів та ентальпій продуктів згорання, розрахунок теплового балансу, розрахунок топки та інших елементів котла, аеродинамічний розрахунок, висновки, список використаної літератури.

Об'єм розрахунково-пояснювальної записки складає 30 – 40 стор. Графічна частина складається з креслень котла та деяких його вузлів, що розміщуються на 2–3 аркушах формату А1, А2. Розрахунково-пояснювальна записка і креслення мають бути виконані відповідно до діючих стандартів. СТЗВО-ХІІІ-3.01-2021

1. РОЗРАХУНКОВЕ ЗАВДАННЯ

Для виконання теплового розрахунку котла заданого типу вихідними даними є:

1. Тип (найменування серії) котла;
2. Паропродуктивність парового котла D , т/год (кг/с);
3. Тиск пари перед головним паровим засувом $P_{\text{пп}}$, МПа;
4. Температура перегрітої пари $t_{\text{пп}}$, °С;
5. Температура живильної води перед економайзером $t_{\text{жв}}$, °С;
6. Вид палива;
7. Температура повітря на виході з повітропідігрівача $t'_{\text{пов}}$, °С;
8. Спосіб спалювання палива, тип топки;
9. Температура димових газів на виході з котла $t_{\text{від}}$, °С;
10. Продувка у відсотках від паропродуктивності P , %;
11. Наявність та вид низькотемпературних (хвостових) поверхонь нагріву.

Вихідні дані п. 1-8 обов'язково мають бути задані, а інші дані можуть бути не вказані і їх приймають самостійно. Необхідні для розрахунку конструктивні характеристики котла та його елементів вибирають із креслень та технічних умов на заданій котлі, а також з прийнятих самостійно конструктивних співвідношень економайзера, повітронагрівача.

Тепловий розрахунок котла рекомендується вести у такій послідовності. Попередньо обирають тип топкового пристрою, а потім в залежності від виду палива приймають величину температури підігріву повітря та температуру димових газів, що йдуть. Приймаючи величину коефіцієнта надлишку повітря в топці, визначають присоси повітря в газоходах котла. В результаті розрахунку визначають кількість повітря, склад і кількість продуктів горіння палива в газоходах, знаходять значення ентальпії повітря і продуктів горіння в газоходах котла при відповідних значеннях коефіцієнтів надлишку повітря в необхідному інтервалі температур. Потім складають тепловий баланс котла, визначають теплові втрати, ККД котла та витрату палива.

Після цього розраховується температура газів на виході з топки та методами послідовних наближень – температури за конвективними поверхнями нагріву.

Потім визначається розрахункова нев'язка теплового балансу

$$\Delta Q = Q_p^p \cdot \eta_k - [Q_T + Q_{кп} + Q_{шп} + Q_{ве} + Q_{пов.п}] (1 - q_4 / 100). \quad (1)$$

Тут Q_p^p – наявна теплота; η_k – ККД котла; Q_T – кількість тепла, сприйнята променевосприймаючими поверхнями топки, котельними пучками $Q_{кп}$, пароперегрівачем $Q_{шп}$, економайзером $Q_{ве}$, повітропідігрівачем $Q_{пов.п}$.

При правильному виконанні розрахунку величина нев'язки ΔQ не повинна перевищувати 0,5 % від значення Q_p^p .

2. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВА.

В якості джерела теплоти в котлах промислових підприємств застосовуються різні природні та штучні палива у твердому, рідкому та газоподібному стані.

Теплотворна здатність твердого палива коливається в досить широких межах, що пояснюється суттєвою відмінністю складу робочої маси палива. Для спалювання в котлах використовують різні види вугілля, торф, деревина та інше (Кам'яне вугілля $Q_n^p = 18 \div 26$ МДж/кг, антрацити $Q_n^p = 24 \div 28$ МДж/кг, буре вугілля $Q_n^p = 10 \div 16$ МДж/кг, торф $Q_n^p = 8 \div 10$ МДж/кг, дрова та пелети $Q_n^p = 15 \div 18$ МДж/кг).

В якості газоподібного палива використовуються горючі гази різного походження. Природний газ має менші відмінності у складі, тому в середньому теплотворна здатність природного газу становить $Q_n^c = 32 \div 37$ МДж/м³. Склад та теплотворна здатність штучного газу істотно залежить від способу отримання, наприклад: коксовий газ ($H_2 \sim 55$ %, $CO \sim 10$ %, $CH_4 \sim 20$ %) має $Q_n^c = 15 \div 17$ МДж/м³, доменний газ (N_2 до 70 %, $H_2 \sim 5$ %, $CO \sim 25$ %) $Q_n^c = 3 \div 4$ МДж/м³.

Рідким паливом в котлах є мазут. Теплотворна здатність мазуту становить $Q_n^p = 38 \div 43$ МДж/кг.

Для заданого складу нижча теплота згоряння твердих та рідких палив може бути визначена за формулою, кДж/кг:

$$Q_n^p = 339C^p + 1025H^p - 108,5(O^p - S^p) - 25W^p. \quad (2)$$

Нижча теплота згоряння газоподібного палива, кДж/м³ :

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 126\text{CO} + 358\text{CH}_4 + 638\text{C}_2\text{H}_6 + 913\text{C}_3\text{H}_8 + \\ + 1187\text{C}_4\text{H}_{10} + 1460\text{C}_5\text{H}_{12} + 108\text{H}_2. \quad (3)$$

Склад і основні характеристики деяких видів палива наведені у додатку табл. Д.1, Д.2 .

3. ВИБІР ТИПУ ТОПКИ

Вибір типу топкового пристрою визначається паропродуктивністю і конструкцією котла, фізико-хімічними властивостями палива та його золи.

В котлах малої та середньої паропродуктивності застосовуються шарові та камерні топки.

Вибір типу топки проводиться у випадках, коли топка типового чи існуючого агрегату не відповідає умовам завдання проектування.

Шарові топки доцільно використовувати в агрегатах паропродуктивністю $D < 35$ т/год при спалюванні вугілля з виходом летючих на горючу масу $V^{\text{r}} > 20$ % та з вмістом дрібних часток 0 – 6 мм не більше 60 %, сортованих антрацитів, кускового торфу, сланцю, деревинних та твердих побутових відходів.

Не рекомендується застосовувати шарові топки для спалювання антрацитового штибу, худого кам'яного вугілля, високоволого бурого вугілля $W^{\text{r}} > 3,4$ та фрезерного торфу, оскільки вони не забезпечують надійне та економічне спалювання палива.

Для спалювання кам'яного і бурого вугілля на агрегатах паропродуктивністю $D > 6,5$ т/год рекомендуються топки з пневмомеханічними закидувачами та ланцюговими решітками зворотного ходу, для спалювання антрацитів марок АС і АМ – топки з ланцюговими решітками прямого ходу. При $D < 6.5$ т/год рекомендується використовувати топки з пневмомеханічними закидувачами та нерухомими решітками з перекидними колосниками.

Кам'яне та буре вугілля в котлах з паропродуктивністю 10 т/год можна також спалювати в шарових топках з низьконапірними пневматичними закидувачами і ланцюговими решітками прямого ходу.

В табл. Д.4 наведено рекомендовані типи шарових топок в залежності від виду палива, що спалюється, і паропродуктивності агрегату та дані їх характеристики, необхідні для складання теплового балансу котла і визначення витрати палива. До цих характеристик належать: $d_{\text{т}}$ – коефіцієнт

надлишку повітря на виході з топки; q_3 і q_4 – втрати теплоти від хімічного та механічного недопалу; $a_{\text{вин}}$ – частка золи палива, що виноситься з димовими газами; $q_R = B \cdot Q_n^p / F$ – допустима теплова напруга площі дзеркала горіння, кВт/м²; $q_v = B \cdot Q_n^p / V$ – допустима теплова напруга об'єму топки кВт/м³.

Камерні топки при спалюванні твердих пилоподібних палив приймаються в котлах $D > 25$ т/год, а для спалювання рідких і газоподібних палив в агрегатах будь-якої продуктивності. В табл. Д.5-8 наведено основні характеристики камерних топок в залежності від виду палива та частка золи, що виноситься з димовими газами.

Ефективність роботи котла значною мірою визначається правильним вибором температури підігріву повітря, що надходить у топку, і температури димових газів на виході з котла. Їхні значення приймаються з урахуванням заданого виду палива, типу топки, компоновання хвостових поверхонь нагріву котла. Рекомендовані значення температури газів для котлів в залежності від виду палива та їх паропроductивності вказані в табл. Д.9.

Як впливає з табл. Д.9, при спалюванні високовологих або високосірчистих палив необхідно приймати вищу температуру димових газів, що йдуть, для уникнення корозії низькотемпературних поверхонь нагріву агрегату (тут $W'' = 100 \cdot W^p / Q_n^p$ – наведена вологість палива).

Температура гарячого повітря, що подається в топку, слід обирати, виходячи з наведених у табл. Д.10 рекомендацій та особливостей компоновання економайзера та повітропідігрівача.

Якщо застосовується одноступінчасте компоновання повітропідігрівача, то температура повітря приймається не більше 260 – 300 °С, а при використанні двоступінчастого повітропідігрівача 350 – 420 °С.

Температура повітря на вході в повітропідігрівач $t'_{\text{пов}}$ зазвичай дорівнює температурі повітря в приміщенні котельні, тобто 25 – 30 °С.

4. ВИБІР КОЕФІЦІЄНТА НАДЛИШКУ ТА ПРИСОСІВ ПОВІТРЯ У ГАЗОХОДАХ КОТЛА

Для визначення дійсних об'ємів продуктів згоряння палива в окремих елементах котла необхідно визначити значення коефіцієнтів надлишку повітря в газоходах.

Коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки α''_t приймається в залежності від типу топкового пристрою та виду палива, що спалюється. Дані

представлені в табл.Д.4-8 на основі узагальнення дослідних даних експлуатації агрегатів.

Значення коефіцієнтів надлишку повітря в газоходах котла збільшується внаслідок присосів зовнішнього повітря через нещільність обмурівки. Величина присосів повітря в топках та окремих газоходах котлів, що працюють під розрядженням, наведені в табл. Д.3.

Значення розрахункового коефіцієнта надлишку повітря в окремих ділянках газоходу котла визначають підсумовуванням коефіцієнта надлишку повітря в топці з присосами повітря в газоходах, розташованих між топкою і ділянкою, що розглядається:

$$\alpha_i = \alpha''_t + \sum \Delta\alpha_i, \quad (4)$$

де α_i – розрахунковий коефіцієнт надлишку повітря в розглядаємому елементі котла;

$\sum \Delta\alpha_i$ – сума присосів повітря в газоходах, розташованих між топкою та ділянкою газоходу, що розглядаються.

5. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

Об'єми, ентальпії повітря та продуктів згоряння палива визначають у розрахунку на 1 кг твердого та рідкого палива або на 1 м³ газоподібного палива. Склад твердого або рідкого палива у формулах виражений у відсотках за масою, а газоподібного – за об'ємом.

Теоретична кількість повітря, необхідна для повного згоряння твердого та рідкого палива, при надлишку повітря $\alpha = 1$, м³/кг:

$$V_{\text{пов}}^0 = 0,0889C^p + 0,2667H^p + 0,0333(S^p - O^p). \quad (5)$$

Теоретичні об'єми продуктів згоряння, отримані при повному згорянні палива при $\alpha = 1$.

Теоретичний об'єм азоту, м³/кг:

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,008N^p. \quad (6)$$

Об'єм трьохтомних газів, м³/кг:

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^p + 0,375S^p). \quad (7)$$

Теоретичний об'єм водяної пари, м³/кг:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,111\text{H}^p + 0,0124\text{W}^p + 0,0161\text{V}^0. \quad (8)$$

Теоретична кількість повітря, необхідна для повного згорання газоподібного палива, при надлишку повітря $\alpha = 1$, м³/м³:

$$V_{\text{пов}}^0 = 0,0476 (0,5 \cdot (\text{CO} + \text{H}_2) + 1,5\text{H}_2\text{S} + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2). \quad (9)$$

Теоретичний об'єм азоту, м³/м³:

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79\text{V}^0 + 0,01\text{N}_2 \quad (10)$$

Об'єм трьохтомних газів, м³/м³:

$$V_{\text{RO}_2}^0 = 0,01(\sum m\text{C}_m\text{H}_n + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S}) \quad (11)$$

Теоретичний об'єм водяної пари, м³/м³:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01(\sum \frac{n}{2} \text{C}_m\text{H}_n + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + 1,61\text{V}^0 + 1,24); \quad (12)$$

В реальних умовах організації процесу горіння неможливо довести паливо до повного згорання при подачі в топкову камеру теоретично необхідної кількості повітря $V_{\text{пов}}^0$. Тому кількість повітря, що дійсно подається в топку дещо вищий за теоретично необхідний. Відношення дійсної кількості повітря $V_{\text{пов}}$ до теоретично необхідному $V_{\text{пов}}^0$ називають коефіцієнтом надлишку повітря α .

Дійсна кількість продуктів згорання твердих, рідких та газоподібних палив в газоходах котла при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha > 1$ відрізняються від теоретичних об'ємів на величину об'єму повітря та водяної пари, що надходять у котел з надлишковим повітрям. Об'єм трьохатомних $V_{\text{RO}_2}^0$ газів залежить від величини коефіцієнта надлишку повітря.

Дійсна кількість повітря визначається добутком коефіцієнта надлишку повітря α та теоретичної кількості повітря $V_{\text{пов}}^0$, м³/кг або м³/м³:

$$V_{\text{пов}} = \alpha V_{\text{пов}}^0, \quad (13)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря вибирається з табл.Д.4-8 залежно від виду палива та способу спалювання.

Дійсні кількості продуктів згоряння при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha > 1$ визначаються наступним чином.

Дійсний об'єм водяних парів, $\text{м}^3/\text{м}^3$ або $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 (\alpha - 1) V_{\text{пов}}^0. \quad (14)$$

Дійсний об'єм азоту, $\text{м}^3/\text{м}^3$ або $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2}^0 + (\alpha - 1) V_{\text{пов}}^0. \quad (15)$$

Об'єм трьохатомних газів не залежить від значення коефіцієнта надлишку повітря α .

Дійсний об'єм димових газів, $\text{м}^3/\text{м}^3$ або $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_{\Gamma} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (16)$$

Об'ємні долі трьохатомних газів і водяних парів, дорівнюють парціальним тиском газів при тиску 0,1 МПа.

Об'ємна доля трьохатомних газів:

$$r_{\text{RO}_2} = V_{\text{RO}_2} / V_{\Gamma}. \quad (17)$$

Об'ємна доля водяних парів:

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\Gamma}. \quad (18)$$

Об'ємна доля трьохатомних газів та водяних парів:

$$r_{\Pi} = r_{\text{RO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (19)$$

При спалюванні твердого палива концентрація золи в продуктах згоряння розраховується за формулою, $\text{г}/\text{кг}$:

$$\mu = \frac{10A^p a_{\text{вин}}}{V_{\Gamma}}, \quad (20)$$

де $a_{\text{вин}}$ – доля золи палива, що виноситься газами.

Результати розрахунків щодо визначення об'ємів повітря та продуктів згоряння, об'ємних долей трьохатомних газів та концентрації золи зводиться у табл. 1. Послідовність і кількість розрахункових учасок має відповідати обраній компоновці поверхонь нагріву в котлі, що розраховується. При

компонуванні хвостових поверхонь «в розсічку» кожна ступінь економайзера і повітропідігрівача розраховують окремо.

Таблиця 1 – Характеристика продуктів згорання у поверхнях нагріву котла

Величина	Топка, фестон	Ділянки конвективних поверхонь нагріву				
		$\alpha_{\text{пп}}$	$\alpha_{\text{кп}}$	$\alpha_{\text{вс}}$	$\alpha_{\text{пов.п}}$	$\alpha_{\text{від}}$
Коефіцієнт надлишку повітря в газоході, α	$\alpha_{\text{т}}$					
$V_{\text{RO}_2}, \text{ м}^3/\text{м}^3 (\text{м}^3/\text{кг})$						
$V_{\text{N}_2}, \text{ м}^3/\text{м}^3 (\text{м}^3/\text{кг})$						
$V_{\text{H}_2\text{O}}, \text{ м}^3/\text{м}^3 (\text{м}^3/\text{кг})$						
$V_{\text{Г}}, \text{ м}^3/\text{м}^3 (\text{м}^3/\text{кг})$						
r_{RO_2}						
$r_{\text{H}_2\text{O}}$						
$r_{\text{п}}$						
μ						

6. ЕНТАЛЬПІЯ ПОВІТРЯ ТА ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ

Після розрахунку кількості повітря та продуктів згорання палива необхідно визначити їхню ентальпію.

Ентальпію теоретичного об'єму повітря, при $\alpha = 1$ і температурі $t_{\text{пов}}$, розраховують за формулою, кДж/м³:

$$I_{\text{пов}}^{\circ} = V_{\text{пов}}^{\circ} (ct)_{\text{пов}}, \quad (21)$$

де $(ct)_{\text{пов}}$ – питома ентальпія повітря (табл. 2).

Ентальпію теоретичного об'єму димових газів, при $\alpha = 1$ і температурі $t_{\text{Г}}$, розраховують за формулою, кДж/м³ або кДж/кг:

$$I_{\text{Г}}^{\circ} = V_{\text{RO}_2} (ct)_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^{\circ} (ct)_{\text{N}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}^{\circ} (ct)_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (22)$$

де $(ct)_{\text{RO}_2}$, $(ct)_{\text{N}_2}$, $(ct)_{\text{H}_2\text{O}}$ – питомі ентальпії трьохатомних газів, азоту та водяних парів, їх значення наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення питомої ентальпії повітря, димових газів та золи

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Питома ентальпія, кДж/м^3				Питома ентальпія, золи $(ct)_{\text{зол}}$ кДж/кг
	$(ct)_{\text{пов}}$	$(ct)_{\text{RO}_2}$	$(ct)_{\text{N}_2}$	$(ct)_{\text{H}_2\text{O}}$	
30	39				
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	978	1461	946	1147	662
800	1130	1704	1093	1335	768
900	1281	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	4146	2640
2200	3399	5387	3290	4399	2760

Питому теплоємність трьохтомних газів вважають рівною теплоємності двоокису вуглецю.

Результати розрахунків щодо визначення ентальпії, теоретичного об'єму повітря та продуктів згоряння, для зручності подальших розрахунків заносяться до табл. 3

Таблиця 3 – Значення ентальпії $I_{\text{пов}}^0$ та $I_{\text{г}}^0$ в залежності від температури

Темпе- ратура $t, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{пов}}^0 = V_{\text{пов}}^0 (ct)_{\text{пов}}$	$I_{\text{RO2}} = V_{\text{RO2}} (ct)_{\text{RO2}}$	$I_{\text{N2}}^0 = V_{\text{N2}}^0 (ct)_{\text{N2}}$	$I_{\text{H2O}}^0 = V_{\text{H2O}}^0 (ct)_{\text{H2O}}$	$I_{\text{г}}^0 = I_{\text{RO2}} + I_{\text{N2}}^0 + I_{\text{H2O}}$
100					
200					
300					
.....					
2200					

Якщо наведена величина винесення золи з топки при спалюванні твердого палива $10^3 \cdot A^p \cdot a_{\text{вин}} / Q_{\text{н}}^p \geq 1,5 \%$ кг/МДж, то до ентальпії димових газів слід додати ентальпію золи, що визначається за формулою, кДж/кг:

$$I_{\text{зол}} = (ct)_{\text{зол}} A^p a_{\text{вин}} / 100. \quad (23)$$

Потім проводять розрахунок ентальпії продуктів згоряння для різних ділянок газоходу котла при відповідних значеннях коефіцієнта надлишку повітря та температурах, кДж/м³ або кДж/кг:

$$I_{\text{г}} = I_{\text{г}}^0 + (\alpha - 1) I_{\text{пов}}^0 + I_{\text{зол}}. \quad (24)$$

Результати розрахунків зводять до табл. 4. Кількість розрахункових ділянок газового тракту має відповідати схемі заданого котла.

За даними табл. будують графік залежності ентальпії продуктів згоряння палива $I_{\text{г}}$ від температури (рис. 1). $I-t$ діаграма дозволяє оперативного знаходити значення ентальпії продуктів згоряння, а також при відомому значенні ентальпії визначити значення температури газу.

Таблиця 4 – Ентальпія продуктів згорання в газоходах, кДж/м³ або кДж/кг

Температура $t, ^\circ\text{C}$,	$I_{\text{пов}}^0$	$I_{\text{Г}}^0$	$I_{\text{зол}}$	Ділянки газового тракту котла та коефіцієнти надлишку повітря					
				$\alpha_{\text{Г}}$	$\alpha_{\text{шп}}$	$\alpha_{\text{кп}}$	$\alpha_{\text{ве}}$	$\alpha_{\text{пов.п}}$	$\alpha_{\text{від}}$
				$I_{\text{Г}}$	$I_{\text{Г}}$	$I_{\text{Г}}$	$I_{\text{Г}}$	$I_{\text{Г}}$	$I_{\text{Г}}$
100									
200									
300									
.....									
2200									

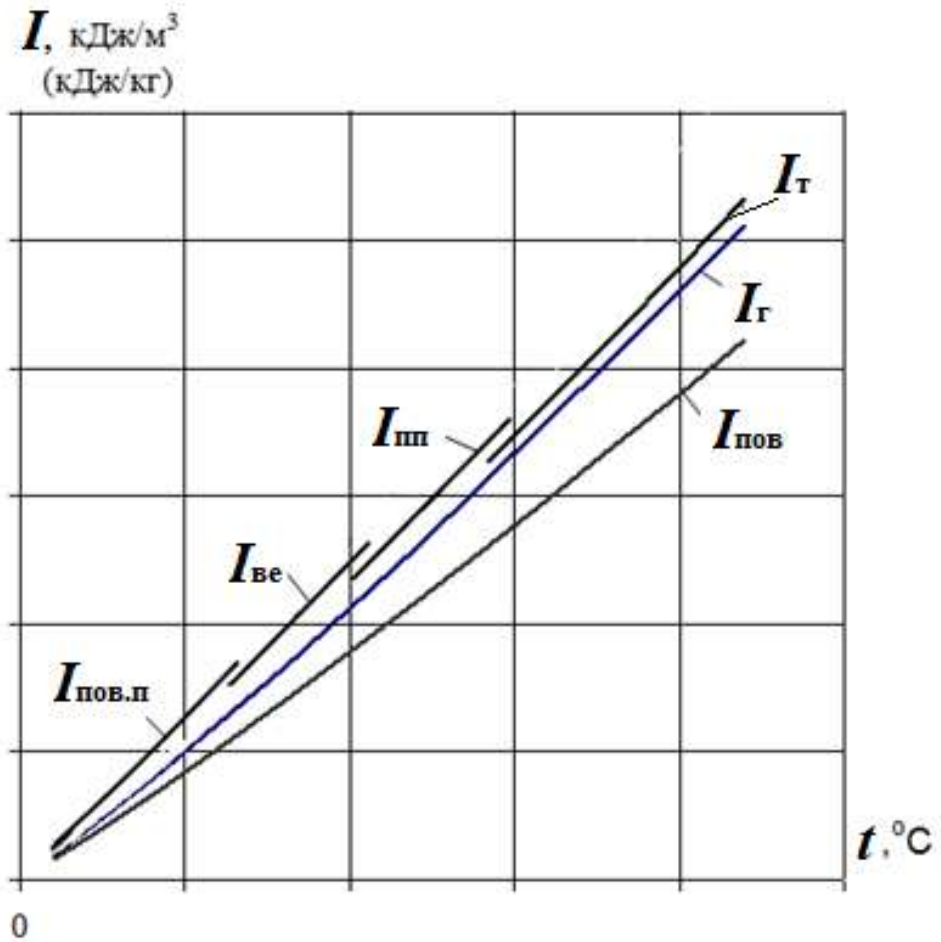


Рисунок 1 – $I - t$ діаграма продуктів згорання

7. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС КОТЛА

Складення теплового балансу полягає у встановленні рівності між кількістю теплоти, що поступила в котел, що називається наявною теплотою Q_p^p та сумою корисно використаної теплоти Q_1 і теплових втрат Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 і Q_6 . На основі теплового балансу розраховують ККД котла і необхідну витрату палива.

Тепловий баланс складається на 1 кг твердих і рідких палив або на 1 м³ газоподібних палив.

Загальне рівняння теплового балансу має такий вигляд :

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (25)$$

де Q_1 – корисно використане тепло;

Q_2 – теплові втрати з відхідними газами;

Q_3 – теплові втрати через хімічну неповноту згоряння;

Q_4 – теплові втрати через механічну неповноту згоряння;

Q_5 – теплові втрати через зовнішнє охолодження;

Q_6 – теплові втрати з фізичним теплом шлаку.

Наявну теплоту, віднесену до 1 кг твердого або рідкого палива, визначаємо за формулою, кДж/кг:

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{з.пов} + Q_{ф.п} + Q_{ф.пар}, \quad (26)$$

де Q_n^p – нижча теплота згоряння робочої маси твердого та рідкого палива, кДж/кг;

$Q_{з.пов}$ – теплота, що вноситься в котел повітрям при підігріві його поза котлом, кДж/м³ або кДж/кг;

$Q_{ф.п}$ – фізичне тепло палива, кДж/м³ або кДж/кг.

$Q_{ф.пар}$ – теплота, що вноситься з паром для розпилення мазуту, кДж/кг.

Наявне тепло, віднесене до 1 м³ газоподібного палива, кДж/м³:

$$Q_p^p = Q_n^c + Q_{з.пов} + Q_{ф.п} + Q_{ф.пар}. \quad (27)$$

де Q_n^c – нижча теплота згоряння сухої маси газоподібного палива, кДж/м³.

Теплота, що вноситься в котел повітрям, підігрітим поза котлом, наприклад, в паровому або електричному калорифері, визначається за формулою, кДж/м³ або кДж/кг:

$$Q_{з.пов} = \beta(I_{гв}^o - I_{хв}^o) = \beta V_{пов}^o ((ct)_{г.пов} - (ct)_{х.пов}), \quad (28)$$

$I_{гв}^o, I_{хв}^o$ – ентальпія теоретично необхідної кількості підігрітого та холодного повітря;

$(ct)_{г.пов}, (ct)_{х.пов}$ – питомі ентальпії горячого та холодного повітря, кДж/(м³К) (табл.2).

Фізичне тепло палива $Q_{ф.п}$ визначають за формулою, кДж/м³ або кДж/кг:

$$Q_{ф.п} = c_{п} \cdot t_{п}, \quad (29)$$

де $c_{п}$ – теплоємність палива, кДж/(кгК) або кДж/(м³К);

$t_{п}$ – температура палива, °С.

Фізичне тепло твердого палива зазвичай становить незначну величину і не враховується.

Рідке паливо (мазут) для зниження в'язкості та поліпшення розпилу надходить в топку підігрітим до 80 – 120 °С. Теплоємність мазуту визначається за формулою, кДж/(кг К):

$$c_{п} = 1,74 + 0,0025 t_{п}. \quad (30)$$

При спалюванні газоподібного палива з низькою теплотворною здатністю (доменний газ) $Q_{ф.п}$ враховують лише за умови спеціального його нагрівання до 200 – 300 °С.

Теплота, що вноситься паром в форсунках при паровому розпиленні мазуту залежить, кДж/кг:

$$Q_{ф.пар} = d_{ф.пар} (i_{п} - 2500), \quad (31)$$

де $d_{ф.пар}$ – питома витрата пари на розпилення мазуту, в розрахунках приймають $d_{ф.пар} = 0,3 - 0,4$ кг/кг;

$i_{п}$ – ентальпія пари, кДж/кг. [4]

Якщо підігрів повітря та палива відсутній і пар для розпилення палива не використовується $Q_p^p = Q_n^p(Q_n^c)$.

Схема потоків теплоти котла при встановленому режимі показано на рис. 2.

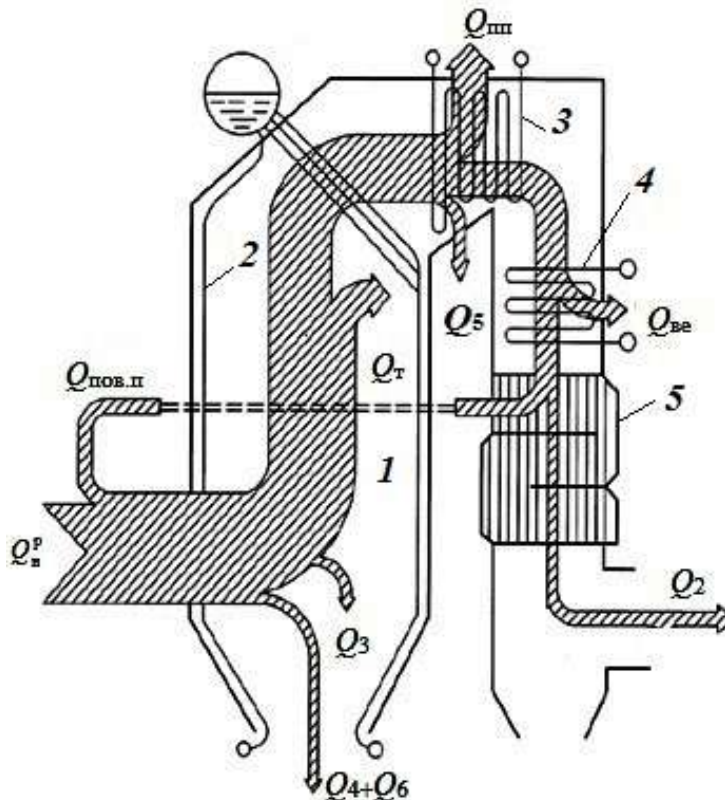


Рисунок 2 – Схема потоків теплоти в котлі:

1 – топкова камера; 2 – випарні поверхні нагріву; 3 – пароперегрівач;
4 – водяний економайзер; 5 – повітропідігрівач.

Якщо складові теплового балансу виразити у відносних величинах (відсотках від наявної теплоти), %:

$$q_i = (Q_i / Q_p^p) 100. \quad (32)$$

Тоді рівняння теплового балансу набуде наступного вигляду:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6. \quad (33)$$

При тепловому розрахунку котла корисно використану теплоту q_1 прямим шляхом не можна визначити. Тому величину q_1 знаходять як залишковий член рівняння теплового балансу після визначення всіх втрат теплоти.

Сумарні втрати теплоти в котлі розраховують за формулою, %:

$$\sum q_{\text{втр}} = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6. \quad (34)$$

Тоді значення ККД котла можна визначити за формулою, %:

$$\eta_k = 100 - \sum q_{\text{втр}}. \quad (35)$$

Отриманий ККД не враховує витрат на власні потреби котла, тому цей ККД називають ККД брутто. Котел, що працює, вимагає витрат пари на власні потреби та електроенергії на привід допоміжного обладнання котла (насоси, вентилятори, димососи та ін). Якщо врахувати витрати на власні потреби то отримаємо ККД нетто, який на 3 – 7 % нижче ККД брутто.

Втрати тепла з відхідними газами з'являються в результаті виходу продуктів згоряння з котла з температурою, яка перевищує температуру навколишнього середовища. Втрата теплоти з відхідними газами визначається як різниця ентальпій продуктів згорання на виході з котла й холодного повітря, %:

$$q_2 = \frac{(I_{\text{від}} - \alpha_{\text{від}} I_{\text{х.пов}}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p}, \quad (36)$$

де $I_{\text{від}}$ – ентальпія відхідних газів при надлишку повітря $\alpha_{\text{від}}$ і температурі $t_{\text{від}}$, кДж/м³ або кДж/кг;

$I_{\text{х.пов}}^0$ – ентальпія теоретично необхідного холодного повітря, кДж/м³ або кДж/кг.

Значення $I_{\text{від}}$ та $I_{\text{х.пов}}^0$ знаходять по $I - t$ діаграмі або табл 2.

Втрата теплоти з відхідними газами займає зазвичай основне місце серед теплових втрат котла, складаючи 4 – 12 % наявної теплоти палива. Зниження втрат теплоти з відхідними газами можливе за рахунок зменшення температури $t_{\text{від}}$ та коефіцієнта надлишку повітря у відхідних газах $\alpha_{\text{від}}$.

Втрати теплоти від хімічної q_3 та механічної q_4 неповноти згоряння палива приймають із розрахункових характеристик топок (табл.Д.4-8), а втрату теплоти від зовнішнього охолодження визначають за графіком, представленим на рис. 3.

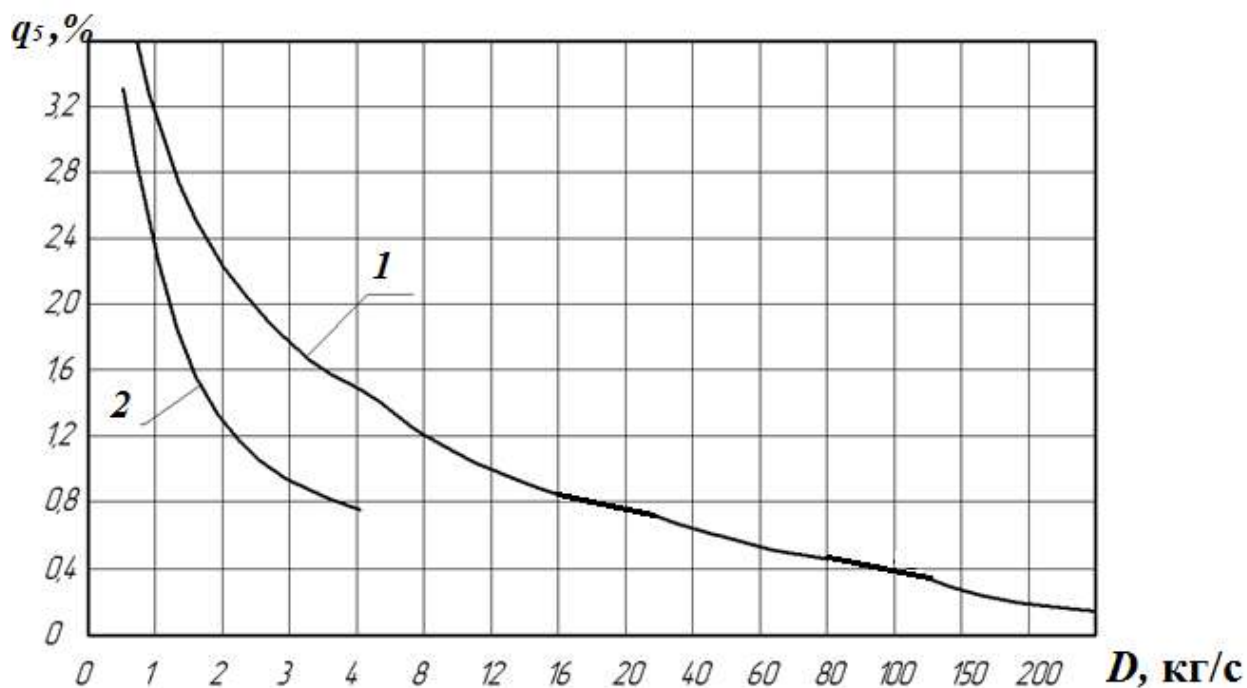


Рисунок 3 – Втрати теплоти від зовнішнього охолодження:

1 – котельний агрегат (із хвостовими поверхнями); 2 – власне котел (без хвостових поверхонь)

Втрати тепла від зовнішнього охолодження по окремих газоходах не розбиваються, а враховуються введенням в формулу для розрахунку кількості тепла, відданої газами, коефіцієнта збереження тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_k + q_5} \quad (37)$$

Величину втрати тепла зі шлаком визначають по формулі, %:

$$q_6 = \frac{A^p a_{\text{шл}} (ct)_{\text{шл}}}{Q_p^p} \quad (38)$$

де $a_{\text{шл}} = (1 - a_{\text{вин}})$ – частка шлаку, що залишається в топковій камері. Частку шлаку, що виноситься димовими газами $a_{\text{вин}}$, приймаємо з табл.Д.4-7.

Температура шлаку приймається рівною: при твердому шлаковидаленні 600 °С, при рідкому шлаковидаленні – по температурі рідкого стану золи t_3 , збільшеної на 100 °С.

Таким чином, визначивши значення всіх складових теплових втрат $\sum q_{\text{втр}}$, знаходять ККД котла (брутто), %:

$$\eta_k = 100 - \sum q_{\text{втр}} \quad (39)$$

В сучасних котлах значення ККД (брутто) складає 83 – 94 %. Більше значення відноситься до котлів, що працюють на газоподібному паливі і менше значення до котлів малої продуктивності при спалюванні палива на найпростіших колосникових решітках.

8. ВИТРАТА ПАЛИВА

Витрата палива, що подається в топку, кг/с або м³/с:

$$B = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_p^p \cdot \eta_k}. \quad (40)$$

Повна кількість тепла $Q_{\text{кор}}$, що корисно використовується в котлі, кВт:

$$Q_{\text{кор}} = D (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}}) + D_{\text{пр}} (i_{\text{кв}} - i_{\text{жв}}), \quad (41)$$

де D – кількість виробленої перегрітої пари, кг/с;

$D_{\text{пр}}$ – витрата води на продувку котла, кг/с;

$i_{\text{жв}}$ – ентальпія живильної води на вході в економайзер, кДж/кг;

$i_{\text{пп}}$, $i_{\text{кв}}$ – ентальпія перегрітої пари та котлової води, кДж / кг.

Значення ентальпії пари та води визначають за таблицями води та водяної пари [4].

Якщо величина продувки $P < 2$ %, то втрати теплоти з продувкою можна не враховувати, кВт:

$$Q_{\text{кор}} = D (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}}). \quad (42)$$

Для розрахунку сумарних об'ємів продуктів згоряння, повітря та тепла, відданого газами в поверхнях нагріву, вводиться розрахункова витрата палива, що обчислюється з урахуванням механічної неповноти згоряння палива за формулою, кг/с або м³/с:

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right). \quad (43)$$

Надалі у всіх розрахунках для визначення сумарних об'ємів газів та кількості тепла підставляється величина B_p .

Розрахунок системи пилоприготування та паливовіддачі проводять з використанням дійсної витрати палива B , а розрахунок тяги та дуття – за розрахунковою витратою палива B_p .

ПИТАННЯ ДО ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

1. Схеми та принцип дії водотрубних котлів.
2. Теплові втрати та ККД котла. Формула для визначення витрати палива.
3. Склад розрахункового палива та продуктів згоряння.
4. Тип компонування котла та перелік поверхонь нагрівання.
5. Види циркуляції пароводяної суміші в котлах.
6. Вибір температури газів, що йдуть.
7. Які чинники впливають на втрати теплоти з відхідними газами?
8. Призначення продувки котла.
9. Як впливають параметри пари на ККД циклу паросилової установки
10. Вихід пари з одиниці (1 кг або 1 м³) використаного палива.
11. Які види палива використовують в котельних агрегатах?
12. Поясніть різницю між ККД брутто і ККД нетто котла.
13. Класифікація котлів за технологічним призначенням.
14. Сепараційні пристрої в котлах та їх призначення.
15. Які види енергоресурсів використовують в котельних агрегатах?
16. Переваги компонування водяного економайзера та повітропідігрівника в розсічку.
17. Які переваги дає використання підігріву повітря в котлах?
18. Механізм передачі тепла в топці та конвективних поверхнях нагріву.
19. Переваги та недоліки рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників.
20. Характеристика водяної пари як енергоносія.

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1 – Розрахункові характеристики твердого та рідкого палива

№ п/п	Тверде паливо						
	C ^p %	H ^p %	N ^p %	O ^p %	S ^p %	A ^p %	W ^p %
1	75,5	5,5	1,6	13,2	4,2	13	18
2	81	5,2	2,5	7,8	3,5	7	19,5
3	89	4,2	1,5	2,2	3,1	17	4,5
4	93,5	2	0,8	2,3	1,4	14	5,8
5	78,5	5,6	2,3	13,2	0,4	9,5	10,5
6	82,4	5,8	2,2	9	0,6	10	8
7	89	4,4	2	3,8	0,8	19	7
8	78,3	5,8	1,7	13,6	0,6	21	11
9	78,9	5,4	1,7	13,3	0,7	13,5	14,5
10	66	5,2	0,8	27,5	0,5	38,5	22,5
11	68,5	5,3	1	20,1	5,1	32	37
12	69,7	5,4	1	21,2	2,7	32	38
13	80	5,7	1,3	9,2	3,8	28	5
14	24,7	2,6	1,1	15,2	0,1	6,3	50
15	68	4,9	1,2	25,4	0,5	27	26
16	59,4	4,3	0,9	5,7	2,5	21,6	5,6
Рідке паливо							
1	83	10,4	0,4	0,3	2,8	0,1	3
2	84,6	11,5	0,3	0,2	0,3	0,1	3
3	83,8	11,2	0,3	0,2	1,4	0,1	3
4	86,5	12,8	0,7	0,4	0,3	0,1	3

Таблиця Д.2 – Розрахункові характеристики газоподібних палив

№ п \ п	CH ₄ %	C ₂ H ₆ %	C ₃ H ₈ %	C ₄ H ₁₀ %	C ₅ H ₁₂ %	N ₂ %	CO ₂ %	H ₂ S %	CO %	H ₂ %
1	91,2	3,9	1,2	0,5	0,1	2,6	0,5			
2	89,4	3,6	2,6	0,9	0,2	3,2	0,1			
3	91,9	2,1	1,3	0,4	0,1	3	1,2			
4	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4			
5	92,8	2,8	0,9	0,4	0,1	2,5	0,5			
6	91,2	3,9	1,2	0,5	0,1	2,6	0,5			
7	89,7	5,2	1,7	0,5	0,1	2,7	0,1			
8	85,8	0,2	0,1	0,1	-	13,7	0,1			
9	98,9	0,3	0,1	0,1	-	0,4	0,2			
10	95,6	0,7	0,4	0,2	0,2	2,8	0,1			
11	98,5	0,2	0,1	-	-	1,0	0,2			
12	81,7	5,3	2,9	0,9	0,3	8,8	0,1			
13	58,0	17,2	7,4	2,0	0,5	13,6	0,8	0,5		
14	42,7	19,6	12,6	5,1	1,3	16,9	1,0	0,8		
15	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,4			
16	0,3					55,0	12,5		27,2	5,0
17	25,5	1,0				4,0	2,4	0,3	7,0	59,8
18	0,3					58,5	10,5		28	2,7
19	22,3	2,7				8,1	2,6	0,4	6,9	57
20	62	0,6	0,4			1	32	2,5		1,5

Таблиця Д.3 – Присоси повітря в топках та газоходах котла

Елементи газового тракту котла		Величина присосів повітря $\Delta\alpha$
Топкові камери пиловугільних та газомазутних котлів	Пиловугільні	0,07
	Газомазутні	0,05
	Газощільні	0,02
Топкові камери шарових топок	Механічні та напівмеханічні	0,1
	Ручні	0,3
Газоходи конвективних поверхонь нагріву	Перший котельний пучок	0,05
	Другий котельний пучок	0,1
	Первинний пароперегрівач	0,03
	Проміжний пароперегрівач	0,03
	Економайзер котлів паропроодуктивністю $D > 50$ кг/с (кожна ступінь)	0,02
	Економайзер котлів паропроодуктивністю $D > 50$ кг/с стальний	0,08
	чавунний з обшивкою	0,1
	чавунний без обшивки	0,2
	Трубчаті повітропідігрівачи: котлів паропроодуктивністю $D > 50$ кг/с (кожна ступінь)	0,03
	котлів паропроодуктивністю $D < 50$ кг/с (кожна ступінь)	0,06
Регенеративні повітропідігрівачи: котлів паропроодуктивністю $D > 50$ кг/с (кожна ступінь)	0,15	
котлів паропроодуктивністю $D < 50$ кг/с (кожна ступінь)	0,2	
Газощільний газохід від топки до повітропідігрівача (величина присосів розподіляється рівномірно по розташованим в газоході поверхням нагріву)	0,02	
Золоуловлювачі	Електрофільтри: котлів паропроодуктивністю $D > 50$ кг/с	0,1
	котлів паропроодуктивністю $D < 50$ кг/с	0,15
	Скрубери	0,05
	Циклонні та батарейні	0,05
Газоходи за котлом	Стальні (кожні 10 м)	0,01
	Цегляні (кожні 10 м)	0,05

Таблиця Д.4 – Рекомендовані типи шарових топок та їх характеристики

Тип топки	Вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря, α_T	Втрати теплоти		Допустимі теплові напруження		Доля золи, що виноситься з газами $a_{\text{вин}}$
			q_3	q_4	q_R кВт/м ²	q_v кВт/м ³	
З нерухомими решітками та ручним закиданням палива	Буре вугілля	1,6	2	6-8	800-930	230-400	0,2
	Кам'яне вугілля	1,5-1,6	2	5-7	930-1050	230-400	0,15
	Антрацити	1,6-1,7	1	8-10	1050	230-400	0,15
З пневмомеханічним закидувачем (ПМЗ) і нерухомими решітками	Буре вугілля	1,4-1,5	0,5-1	5-8	930-1200	230-350	0,12
	Кам'яне вугілля	1,4-1,5	0,5-1	4-7	930-1200	230-350	0,1
	Антрацити	1,6-1,7	0,5-1	10-13	930-1200	230-350	0,15
З пневмомеханічним закидувачем (ПМЗ) і з поворотними колосниками	Буре вугілля	1,5-1,6	0,5-1	3-7	900-1200	290-470	0,2
	Кам'яне вугілля	1,5-1,6	0,5-1	6-12	900-1200	290-470	0,2
	Антрацити	1,6	0,7-1	10-11	900-1200	290-470	0,15
З ПМЗ та ланцюговими решітками прямого ходу	Буре вугілля	1,3-1,4	3	4-5,5	1600	300-450	0,1-0,2
	Кам'яне вугілля	1,3-1,4	1,5	3-6	1200	300-450	0,1-0,2
	Антрацити	1,5-1,6	1	10	900-1200	290-470	0,1
З ПМЗ та ланцюговими решітками зворотного ходу	Буре вугілля	1,3-1,4	0,2	4-6	1400-1700	300-450	0,3-0,5
	Кам'яне вугілля	1,3-1,4	0,2	3-8	1400-1700	300-450	0,08-0,2
Шахтно-ланцюгова	Торф кусковий	1,3	1	2	1700-2200	300-450	-

Таблиця Д.5 – Розрахункові характеристики камерних топків з твердим шлаковидаленням для котлів продуктивністю $D = 25 - 50$ т/год при спалюванні пилоподібного палива

Вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря α_T	Втрати теплоти				Допустимі теплові напруження q_v , кВт/м ³ , при продуктивності, т/год			Доля золи, що виноситься з газами $a_{вин}$
		q_3	q_4 при продуктивності, т/год			25	35	50	
			25	35	50				
Буре вугілля	1,2	0,5	3	1,5 – 2	1 – 2	250	210	180	0,95
Кам'яне вугілля	1,2	0,5	5	3	2 – 3	220	180	160	
Антрацитовий штиб АШ	1,2	0	7	7	6	180	170	150	
Фрезерний торф	1,2	0,5	3	1,5 – 2	1 – 2	220	180	160	

Таблиця Д.6 – Розрахункові характеристики камерних топків з твердим шлаковидаленням для котельних агрегатів продуктивністю $D > 75$ т/год при спалюванні пилоподібного палива

Вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря α_T	Втрати теплоти		Допустимі теплові напруження топки q_v , кВт/м ³	Доля золи, що виноситься з газами $a_{вин}$
		q_3	q_4		
Буре вугілля	1,2	0	0,5 – 1	160	0,95
Кам'яне вугілля	1,2		1 – 1,5	150	
Антрацитовий штиб АШ	1,2 – 1,25		4 – 6	120	
Бідне вугілля	1,2 – 1,25		2	140	
Фрезерний торф	1,2		0,5 – 1	140	
Відходи вуглезбагачення	1,2		2 – 3	140	

Таблиця Д.7 – Розрахункові характеристики камерних топок з рідким шлаковидаленням при спалюванні пилоподібного палива

Тип топки та вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря, α_T	Втрати теплоти		Допустимі теплові напруження q_v , кВт/м ³	Доля золи, що виноситься з газами $a_{вин}$
		q_3	q_4		
<i><u>Відкриті топки</u></i>					
Буре вугілля	1.15 –1,2	0	0,5	210	0,65– 0,8
Кам'яне вугілля	1.15 –1.2	0	0,5	185	0,8
Бідне вугілля	1,2-1,25	0	1,5	185	0,85
Антрацити	1,2-1,25	0	3 – 4	145	0,9
<i><u>Полувідкриті з пережимом</u></i>					
Буре вугілля	1.15 –1,2	0	0,5	230	0,6 – 0,7
Кам'яне вугілля	1.15 –1.2	0	0,5	200	0,7 – 0,8
Бідне вугілля	1,2-1,25	0	1	200	0,85
Антрацити	1,2-1,25	0	3 – 4	170	0,9

Таблиця Д.8 – Розрахункові характеристики камерних топок для спалювання горючих газів та мазуту

Вид палива	Коефіцієнт надлишку повітря, α_T	Втрати теплоти від хімічного недопалу q_3 , %	Допустимі теплові напруження q_v , кВт/м ³
Мазут	1,04 – 1,08	0,5	290
Природний та коксовий газ	1,05 – 1,1	0,5	350 – 460
Доменний газ	1,08 – 1,15	1,4	230

Таблиця Д.9 – Рекомендовані значення температури відхідних газів для котлів

Вид палива	Паропродуктивність агрегату D , т/год		
	< 10	10 – 20	> 20
Тверде паливо			
$W^п < 1,5$	140 – 160	130 – 150	120 – 140
$1,5 < W^п < 5$	150 – 170	140 – 160	130 – 150
$W^п > 5$	160 – 180	150 – 170	140 – 160
Мазут	160 – 180	140 – 160	130 – 150
Природний газ	150 – 170	130 – 150	120 – 140

Таблиця Д.10 – Рекомендовані значення температури підігріву $t_{пов}$, °С

Вид палива	Паропродуктивність агрегату D , т/год		
	< 10	10 – 20	> 20
<i><u>Шарові топки</u></i>			
Антрацити та бідне вугілля	25 – 30	100 – 150	150 – 200
Кам'яне та буре вугілля	25 – 30	150 – 200	150 – 200
Торф	200 – 210	200 – 250	200 – 250
<i><u>Камерні топки з твердим шлаковидаленням</u></i>			
Антрацити та бідне вугілля			350 – 400
Кам'яне та буре вугілля			350 – 400
Торф	200 – 210	250 – 300	380 – 420
<i><u>Камерні топки з рідким шлаковидаленням</u></i>			
			380 – 420
<i><u>Газомазутні топки</u></i>			
Природний газ та мазут	25 – 30	100 – 150	100 – 150
Доменний газ	25 – 30	150 – 200	150 – 200

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. посібник/ Д. В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Боднар.– Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.
2. Чепурний М. М. Теплові розрахунки парогенераторів / М. М. Чепурний, Д. В. Степанов, Є. С. Корженко.– Вінниця : ВНТУ, 2005. – 154 с.
3. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Пізнання й досвід - шлях до сучасної енергетики / Є. Т. Базеєв, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин [та ін.] ; наук. ред. Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал, С. В. Дубовської. – Київ : Б.в., 2013. – 328 с.
4. Павловський В.Г. Термодинаміка фізико-енергетичних процесів: навч. посібник для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. У 2-х ч.: Ч. 2 / В.Г. Павловський, Г.І. Павловський. – Харків : НТУ «ХП», 2003. – 336 с.
5. Волощук, В.А., Денісов А.К., Трофимчук І.П. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. / В.А. Волощук, А.К. Денісов, І.П. Трофимчук. – Рівне: НУВГП, 2013. – 227 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового проектування

«РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ КОТЛА»

за курсом «Проектування сучасних котлів та котелень»

для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика»

всіх форм навчання

Укладачі: ТАРАСЕНКО Микола Олексійович

ТАРАСЕНКО Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск
Роботу до видання рекомендував

проф. Микола КУНДЕНКО
доц. Лариса ТЮТЮНИК

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 633

Підп. до друку 12 .10. 2023. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,6.

Наклад 50 прим. Зам. №_____. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Самостійне електронне видання