

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З ДИСЦИПЛІНИ «КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»

(для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей)

Частина 1.

Паливо, топки та котельні установки ТЕС

Покровськ-2017

Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей / укл. О.М. Любименко. – Покровськ : ДонНТУ, 2016 . – 40 с.

У методичних вказівках наведені визначення основних фізичних понять і величин, досліджуваних у курсі, коротко роз'яснена сутність описуваних ними явищ, розглянуто принцип дії, побудову та методи розрахунку котлоагрегатів, конструкції топкових пристроїв та теплообмінних поверхонь котла. В посібнику наведено завдання для практичних занять та самостійної роботи, приклади розв'язування основних типів задач, які розраховуються на практичних заняттях. Наведено довідкові дані.

Методичні вказівки можуть бути використані студентами денної та заочної форми навчання технічних спеціальностей .

Укладачі: Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доцент кафедри електричної інженерії.

Рецензент: Власенко М.М. доц., к.т.н., доцент кафедри електричної інженерії.

Відповідальний за випуск: Колларов О.Ю., завідувач кафедри електричної інженерії.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ, протокол № 7 від 10.01.2017р.

Розглянуто на засіданні кафедри електричної інженерії, протокол № 7 від 13.12. 2016 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. Паливо. Загальна характеристика палива класифікація твердих, рідких, газоподібних палив. Склад палива. Визначення елементарного складу твердого і рідкого палива. Визначення елементарного складу газоподібного палива. Теплота згоряння палива. Теплота згоряння умовного палива.	5
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. Горіння палива і газові розрахунки	12
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. Спалювання газоподібного палива.....	16
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. Спалювання рідкого і твердого палива	21
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. Пилоприготування.....	21
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. Класифікація топкових процесів.....	22
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7. Класифікація топок для спалювання палив	24
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. Тепловий баланс котельного агрегату.....	26
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	34
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	36
ДОДАТОК А. Співвідношення між одиницями систем МКГСС і СІ, а також між тепловими одиницями	

ВСТУП

Даний навчальний посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки «Теплоенергетика». Посібник підготовлений відповідно до навчальної програми дисципліни «Котельні установки промислових підприємств».

Студенти повинні не тільки розуміти фізику процесів, що відбуваються під час роботи котельних установок, але й вміти застосовувати набуті знання для розв'язання практичних завдань, насамперед, пов'язаних з експлуатацією теплотехнічного обладнання. Під час роботи котельних установок змінюються такі режимні параметри, як характеристики палива і продуктів згоряння; умови спалювання палива і теплообміну в топці та конвективних елементах. Усе це безпосередньо впливає на економічність і надійність експлуатації котлоагрегатів. Тому метою проведення практичних занять є здобуття студентами навичок розрахунково-теоретичного аналізу впливу різних факторів на теплотехнічні показники парових котлів. До кожної теми наведені необхідні розрахункові залежності та пояснення до їх застосування, а також довідковий матеріал. Викладений матеріал дозволить готуватись до лекційних та практичних занять, лабораторних робіт та курсового проектування. Значна кількість прикладів із розв'язанням та завдань дозволить якісно організувати самостійну роботу студентів. Для зручності роботи студента в посібнику зосереджена достатня кількість довідкового матеріалу. Завдання розроблені таким чином, щоб студенти мали змогу проаналізувати вплив різних факторів на теплотехнічні показники котлів. Виконання завдань буде сприяти більш глибокому розумінню процесів, що протікають у котлах, отже і підвищенню рівня підготовки майбутніх інженерів-теплоенергетиків.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- загальну схему котельної установки та конструкції парових і водогрійних котлів та окремих елементів;
- матеріальний та тепловий баланс котельної установки;
- методи підготовки палива до спалювання і водопідготовку;
- топкові процеси та їх пристрої, класифікацію, конструкції, підбір, розрахунки;
- основи та правила безпечної експлуатації котлів, при умовах енергозбереження.

вміти:

- складати теплові схеми котлів і визначати їх параметри;
- виконувати тепловий розрахунок котла та проводити розрахунково-теоретичне дослідження роботи котла в цілому та окремих елементів;
- знаходити шляхи підвищення економічності і надійності роботи котлів і допоміжного обладнання.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ПАЛИВО, ТОПКИ ТА КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ ТЕС

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. *Паливо. Загальна характеристика палива. Класифікація твердих, рідких, газоподібних палив. Склад палива. Визначення елементарного складу твердого і рідкого палива. Визначення елементарного складу газоподібного палива. Теплота згоряння палива. Теплота згоряння умовного палива.*

Зараз головним джерелом отримання енергії для побутових і технологічних потреб є паливо.

Паливом є речовина, що виділяє за певних умов велику кількість теплової енергії, яку залежно від технічних і економічних показників використовують у різних галузях народного господарства. У теплоенергетичних установках теплова енергія, що виділяється з палива, використовується для отримання робочого тіла – водної пари або гарячої води, які використовуються далі в технологічних і опалювальних установках, а також для виробництва електричної енергії.

Енергетичне паливо - це горючі речовини, які навмисно спалюють, щоб отримати значні кількості теплоти. Загальна класифікація за агрегатним станом (в табл.1.1) [1]:

Таблиця 1.1 - Загальна класифікація палива за агрегатним станом

<i>Природні</i>		
Тверде	Рідке	Газове
Деревина, торф, буре вугілля, кам'яне вугілля, антрацит	Нафта	Природний газ
<i>Штучні</i>		
Брикети, кокс	Моторні палива	Генераторний газ
<i>Відходи</i>		
Відходи вуглецю	Мазут	Доменний та коксовий газ

До складу палива входять горючі (вуглець C , водень H , горюча сірка S) та негорючі (кисень O , азот N , вологість W , зола A) елементи. Склад палива може бути заданий робочою, сухою, горючою й аналітичними масами складників у відсотках на 1 кг маси палива.

Види початкової маси палива:

1) *Робоча* - та, що надходить в котельню (Робочим є паливо, яке потрапляє до споживача (у котельню і т.д.). Відповідно маса речовин (у відсотках), з яких складається робоче паливо є робочою),

$$C^p + H^p + S^p + O^p + N^p + W^p + A^p = 100\% \quad (1.1)$$

2) Аналітична - в умовах лабораторії,

$$C^a + H^a + S^a + O^a + N^a + W^a + A^a = 100\% \quad (W^a < W^p) \quad (1.2)$$

3) Суха ($W^p = 0$), - маса палива, у якому повністю відсутня вологість, є сухою та відображається рівнянням (у відсотках)

$$C^c + H^c + S^c + O^c + N^c + A^c = 100\% \quad (1.3)$$

4) Горюча ($W^p = 0$, $A^p = 0$), - умовна маса палива, у якій відсутні вологість, зола та сульфатна сірка, відображається рівнянням (у відсотках)

$$C^g + H^g + S^g + O^g + N^g = 100\% \quad (1.4)$$

Для довільного елемента справедливо $X^p < X^a < X^c < X^g$

В багатьох випадках вміст води і золи у твердому або рідкому паливі змінюється у широких межах, тому потрібен перерахунок на задані значення вологості і зольності, що відрізняються від табличних. Для цього використовуються коефіцієнти перерахунку елементного складу однієї маси палива на іншу [2] наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. - Перевідні коефіцієнти для перерахунку складу палива

Вихідна маса	Шукана маса		
	Робоча	Суха	Горюча
Робоча	1	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p - A^p}$
Суха	$\frac{100 - W^p}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^c}$
Горюча	$\frac{100 - W^p - A^p}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	1

$$\text{При зміні табличного складу: } \frac{X}{X_{\text{табл}}} = \frac{100 - W^p - A^p}{100 - W^p_{\text{табл}} - A^p_{\text{табл}}} \quad (1.5)$$

Приклад:

1) коефіцієнт перерахунку з горючої маси на робочу: $K_{г-р} = (100 - A_p - W_p)/100$

$$H^p = 2\% \quad W^p = 50\% \quad H^c = ? \quad H^c = \frac{H^p \cdot 100}{100 - W^p} = 4\%$$

Теплотою згоряння палива є кількість тепла, що виділяється при повному згорянні одиниці маси (1кг твердого або рідкого палива) або об'єму (1м³ газоподібного палива). Прийняті такі одиниці вимірювання теплоти згоряння: кДж/кг (кДж/м³) або МДж/кг (МДж/м³). Теплота згоряння палива є найважливішою характеристикою робочої маси палива. Розрізняють вищу та нижчу теплоту згоряння.

Вища теплота згоряння (Q_v^p) - та, яка виділяється при повному згорянні 1кг твердого або рідкого палива або 1 м³ газоподібного палива за умови, що водна пара, яка утворюється при згорянні, конденсується та повертається як теплота конденсації (використовується в конденсаційних котлах).

$$Q_v^p = 339 \cdot C^p + 1030 \cdot H^p + 109 \cdot (S - O)^p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} - \text{формула Менделєєва.} \quad (1.6)$$

Нижча теплота згоряння (Q_n^p) та, яка виділяється при повному згорянні 1 кг твердого або рідкого палива або 1 м³ газоподібного палива, але теплота конденсації при цьому не враховується (використовується у звичайних парових і водонагрівальних котлах, де продукти згоряння не охолоджуються до температури конденсації парів).

$$Q_n^p = Q_v^p - Q_{\text{конд}}^{\text{H}_2\text{O}}; Q_{\text{конд}}^{\text{H}_2\text{O}} = r \cdot G_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (1.7)$$

де r – прихована теплота пароутворення $= 2500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, а

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^c = \frac{W^p}{100} + 9 \frac{H^p}{100} = 4\%, \frac{\text{кг H}_2\text{O}}{\text{кг палива}}, \quad (1.8)$$

Перерахунок :

$$Q_n^p = Q_v^p - 25 \cdot (W^p + 9 \cdot H^p), \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} - \text{на робочу масу палива;}$$

$$Q_n^c = Q_v^c - 225 \cdot H^c - \text{на суху масу палива;}$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{г}} = Q_{\text{в}}^{\text{г}} - 225 \cdot H^{\text{г}} - \text{на горючу масу палива};$$

$$\text{При зміні вологості: } Q_{\text{н}2}^{\text{п}} = (Q_{\text{н}1}^{\text{п}} + 25 \cdot W_1^{\text{п}}) \cdot \frac{100 - W_2^{\text{п}}}{W_1^{\text{п}}} - 25 \cdot W_2^{\text{п}}, \quad (1.9)$$

$$\text{При зміні зольності: } Q_{\text{н}2}^{\text{п}} = Q_{\text{н}1}^{\text{п}} \cdot \frac{100 - A_2^{\text{п}}}{100 - A_1^{\text{п}}}, \quad (1.10)$$

У практичних розрахунках частіше користуються нижчою теплотою згоряння палива. Співвідношення вищої та нижчої теплоти згоряння:

$$Q_{\text{в}}^{\text{п}} - Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 224 H^{\text{п}} + 25 W^{\text{п}}, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \quad (1.11)$$

Нижчу теплоту згоряння твердого та рідкого палива визначають за формулою:

$$Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 338 C^{\text{п}} + 1025 H^{\text{п}} - 108,5 (O^{\text{п}} - S^{\text{п}}) - 25 W^{\text{п}}, \text{ кДж/кг} \quad (1.12)$$

Для газоподібного палива нижчу теплоту згоряння визначають за формулою:

$$Q_{\text{н}}^{\text{г}} = 0,108 H_2 + 0,126 CO + 0,234 H_2 S + 0,358 CH_4 + 0,638 C_2 H_6 + 0,913 C_3 H_8 + 1,187 C_4 H_{10} + 1,461 C_5 H_{12} + 0,591 C_2 H_4 + 0,86 C_3 H_6 + 1,135 C_4 H_8, \text{ МДж/м}^3. \quad (1.13)$$

Для складання норм витрат, порівняння теплової цінності різних видів палива користуються поняттям «умовне паливо».

Умовне паливо – це таке паливо, яке має постійну теплоту згоряння, що дорівнює 29,308 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Поняття умовного палива потрібне для розрахунків при заміні одного виду палива іншим. Перерахунок витрат натурального палива на умовне здійснюється за допомогою теплового еквівалента палива:

$$B_y = B_p \cdot E, \text{ кг} \quad (1.14)$$

де B_y та B_p – витрати відповідно умовного та робочого палива, кг.

E - тепловий еквівалент палива, кг у.п./кг, який визначається як частка від ділення теплоти згоряння натурального палива на теплоту згоряння умовного палива:

$$E = \frac{Q_n^p}{29,308}, \text{ якщо } Q_n^p \text{ в МДж/кг,} \quad (1.15)$$

$$E = \frac{Q_n^p}{7000}, \text{ якщо } Q_n^p \text{ в ккал/кг.} \quad (1.16)$$

За допомогою вище наведеного теоретичного матеріалу можна розв'язати наступні задачі.

Приклад розв'язання задач

Задача 1

Дано: елементарний склад палива (вид палива - буре вугілля), що містить:

W^p , %	A^c , %	C^r , %	H^r , %	S^r , %	N^r , %	O^r , %
15	11	79,8	5,7	1,1	3,0	10,4

Завдання: Перерахувати елементарний склад палива із заданою горючої і сухої маси на робочу і перевірити суму складових.

Допустима помилка не повинна перевищувати $\pm 0,02\%$.

Розв'язання

1. Перерахунок складу палива з однієї маси на іншу проводиться за допомогою множників, наведених у таблиці 2:

2. Зольність на робочу масу.

$$A^p = k_{c-p} \cdot A^c = \frac{100 - W^p}{100} \cdot A^c = \frac{100 - 15}{100} \cdot 11 = 9,35\%.$$

3. Визначимо коефіцієнт переходу.

$$k_{r-p} = \frac{100 - (W^p + A^p)}{100} = \frac{100 - (15 + 9,35)}{100} = 0,7565$$

4. Вуглець на робочу масу.

$$C^p = k_{r-p} \cdot C^r = 0,7565 \cdot C^r = 0,7565 \cdot 79,8 = 60,37\%.$$

5. Водень на робочу масу.

$$H^p = k_{r-p} \cdot H^r = 0,7565 \cdot H^r = 0,7565 \cdot 5,7 = 4,31\%.$$

6. Азот на робочу масу.

$$N^P = k_{Г-Р} \cdot N^Г = 0,7565 \cdot N^Г = 0,7565 \cdot 3,0 = 2,27\%.$$

7. Сірка на робочу масу.

$$S^P = k_{Г-Р} \cdot S^Г = 0,7565 \cdot S^Г = 0,7565 \cdot 1,1 = 0,83\%.$$

8. Кисень на робочу масу.

$$O^P = k_{Г-Р} \cdot O^Г = 0,7565 \cdot O^Г = 0,7565 \cdot 10,4 = 7,87\%.$$

9. Перевірка.

$$W^P + A^P + C^P + H^P + S^P + N^P + O^P = 15 + 9,35 + 60,37 + 4,31 + 2,27 + 0,83 + 7,87 = 100\%.$$

Задача 2

Дано: елементарний склад палива з задачі 1. Теплота згоряння палива на горючу масу = 30310 кДж / кг.

Визначити: теплоту згоряння палива на робочу масу перерахунком і за формулою Менделєєва.

Розв'язання

Використовуючи множник $k_{Г-Р} = 0,7565$ із задачі 1.

$$Q_H^P = Q_H^Г \cdot k_{Г-Р} = Q_H^Г \frac{100 - (W^P + A^P)}{100} = 30310 \frac{100 - (15 + 9,35)}{100} = 22930 \text{ КДж/кг.}$$

Використовує формулу Менделєєва.

$$Q_P^P = Q_H^Г \frac{100 - W^P - A^P}{100} - 25,12 W^P = 30310 \frac{100 - 15 - 9,35}{100} - 25,1 \cdot 15 = 23306 \text{ КДж/кг.}$$

У подальших розрахунках використовувати величину теплоти згоряння палива на робочу масу Q_P^P за формулою Менделєєва, так як вона більш точна і перевірена експериментальним шляхом.

Завдання для практичної роботи:

1. Паливо задано елементарним складом горючої маси. Визначити коефіцієнт перерахунку на робочу масу, якщо відомі величини: $A^Г = 18,2\%$ та $W^Г = 32\%$.

Відповідь: $K = 0,498$.

2. Визначити коефіцієнт перерахунку зольності з сухої маси на робочу, якщо задані такі величини: $A^r = 13,5 \%$ та $W^r = 9,2 \%$.

Відповідь: $K = 0,908$.

3. Визначити робочий склад палива за відомим складом горючої маси: $C = 80,0 \%$; $H = 5,6 \%$; $O = 5,1 \%$; $N = 1,2 \%$; $S_t = 8,1 \%$; $A = 27,5 \%$ та $W^r = 4 \%$.

Відповідь: $C^p = 55,68 \%$; $H^p = 3,9 \%$; $O^p = 3,55 \%$; $N^p = 0,83 \%$; $S^p = 5,64 \%$ та $A^p = 26,4 \%$.

4. Визначити нижчу теплоту згоряння робочої маси палива за заданим елементарним складом палива: $C^r = 45,5 \%$; $H^r = 3,1 \%$; $O^r = 8,4 \%$; $N^r = 0,8 \%$; $S_t^r = 3,7 \%$; $A^r = 13,5 \%$; $W^r = 25 \%$.

Відповідь: $Q_{H_n}^p = 17422$ кДж/кг.

5. Визначити нижчу теплоту згоряння палива та вищу теплоту робочої маси, якщо відомий такий елементарний склад палива: $C^r = 60,8 \%$; $H^r = 4,3 \%$; $O^r = 11,5 \%$; $N^r = 0,9 \%$; $S_t^r = 0,5 \%$; $A^r = 10 \%$; $W^r = 12 \%$.

Відповідь: $Q_{H_n}^p = 23,5$ МДж/кг, $Q_{B_n}^p = 24,7$ МДж/кг.

6. На електростанції за рік витратили $2,0 \cdot 10^9$ кг натурального палива з нижчою теплотою згоряння робочої маси $Q_{H_n}^p = 16750$ кДж/кг. Визначити річні витрати умовного палива на електростанції.

Відповідь: $B_y = 1,144 \cdot 10^9$ кг у.п.

7. На складі електростанції створили запас бурого вугілля в кількості 25000 т та антрацитового штибу в кількості 1500 т. Елементарний склад бурого вугілля: $C^r = 34,8 \%$; $H^r = 2,4 \%$; $O^r = 9,4 \%$; $N^r = 0,7 \%$; $S_t^r = 2,5 \%$; $A^r = 18,2 \%$; $W^r = 32 \%$. Елементарний склад антрацитового штибу: $C^r = 71,4 \%$; $H^r = 1,4 \%$; $O^r = 1,4 \%$; $N^r = 0,9 \%$; $S_t^r = 1,5 \%$; $A^r = 16,0 \%$; $W^r = 7,4 \%$. Визначити сумарний запас палива на складі в тоннах умовного палива.

Відповідь: $\sum B_y = 12125$ т.у.п.

8. У котельні за добу спалюється 240 т натурального палива з теплотою згоряння $Q_{H_n}^p = 17200$ кДж/кг. Визначити годинні витрати в тоннах умовного палива.

Відповідь: $B_y = 5,87$ т.у.п./год.

9. Визначити тепловий еквівалент природного газу, який має теплоту згоряння $Q_{H_n}^p = 34000$ кДж/м³.

Відповідь: $E = 1,16$.

10. Визначити тепловий еквівалент генераторного газу з теплотою згоряння $Q_{H_n}^p = 5500$ кДж/м³.

Відповідь: $E = 0,188$.

Література: [1,2,3]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. Горіння палива і газові розрахунки.

Витрата повітря. Коефіцієнт надлишку повітря. Об'єми продуктів згорання. Визначення ентальпії продуктів згорання.

Горіння палива – це хімічний процес з'єднання горючих речовин палива з киснем повітря, який супроводжується інтенсивним виділенням тепла. Горіння палива може бути повним або неповним.

Горіння буде повним, якщо воно здійснюється при достатній кількості окислювача та завершується повним окисленням горючих елементів палива. Газоподібні продукти згорання при цьому складаються переважно з CO_2 , SO_2 , H_2O та N_2 .

При неповному згорянні у продуктах згорання, крім перерахованих сполук, міститься CO .

Теоретична кількість повітря, яке потрібне для згорання 1 кг твердого або рідкого палива за нормальних умов, визначається за формулою

$$L^o = \frac{-2.67 \cdot C^{r+} + 8H^r + S_t^r - O^r}{100 \cdot 0.23}, \text{ кг повітря/кг палива,} \quad (2.1)$$

За нормальних умов густина повітря $\rho_o = 1,293 \text{ кг/м}^3$, тому об'ємні витрати повітря V^o для згорання 1 кг палива визначаються за формулою:

$$V^o = \frac{L^o}{1,293}, \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

Визначити теоретичний об'єм повітря для згорання 1кг твердого або рідкого палива за нормальних умовах можна ще за такою формулою:

$$V^o = 0,089C^r + 0,266H^r + 0,033(S_t^r - O^r), \text{ м}^3 \text{ повітря/кг палива,} \quad (2.3)$$

де C^r , H^r , S_t^r та O^r – елементарний склад палива за робочою масою у відсотках.

У топці не вдається забезпечити ідеального перемішування пального з окислювачем. При подачі V^o (тобто обсягу повітря фактично необхідного для спалювання даної маси палива) відбувається недопал. Для повноти згорання повітря подають з надлишком V_o .

Коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{V_{\partial}}{V^{\circ}} = \frac{V^{\circ} + V_{\partial}}{V^{\circ}} > 1, \quad (2.4)$$

« α » топочної камери залежить від:

- 1) способу спалювання (смолоскипне спалювання твердого палива $\alpha_T = 1,2 \div 1,25$, шарове спалювання $\alpha_T = 1,4 \div 1,7$).
- 2) виду і марки палива (природний газ і мазут $\alpha_T = 1,05 \div 1,1$).
- 3) конструкції пальникового пристрою.

Дійсний об'єм повітря V_{∂} для згоряння палива визначається за формулою:

$$V_{\partial} = \alpha * V^{\circ}, \quad (2.5)$$

Тепловий розрахунок котла базується на розрахунку ентальпії. Для цього визначають ентальпії продуктів згоряння у газоходах за формулою:

$$J_{\Gamma} = J_{\Gamma}^0 + (\alpha - 1) * J_{\text{пов}}^0, \quad (2.6)$$

де J_{Γ} - ентальпія продуктів згоряння на 1 кг або 1 м³ палива при $\alpha > 1$ кДж/кг, (кДж/м³);

J_{Γ}^0 - ентальпія теоретичного об'єму продуктів згоряння, кДж/кг, (кДж/м³);

$J_{\text{пов}}^0$ - ентальпія теоретичного об'єму повітря, кДж/кг (кДж/м³).

Ентальпія газоподібних продуктів згоряння визначається як сума ентальпій окремих складових димових газів

$$J_r = \Sigma(V_r \cdot c_r \cdot g_r) = V_{CO_2} (c_g)_{CO_2} + V_{so_2} (c_g)_{so_2} + V_{N_2} (c_g) + V_{O_2} (c_g)_{O_2} + V_{H_2O} (c_g)_{H_2O}, \quad (2.7)$$

де V_{CO_2} , V_{so_2} - об'єми складових газів, м³/кг, або м³/м³;

(c_g) - питомі ентальпії складових газів, кДж/м³, які визначаються за таблицею 2.1.

Для проміжних значень температури ентальпії знаходяться із застосуванням лінійної інтерполяції.

Таблиця 2.1 – Ентальпії 1 м^3 повітря та 1 м^3 складових продуктів згоряння [3].

Температура, °C	Питомі ентальпії, кДж/м ³				
	Триатомних газів (RO_2)	Азоту	Кисню	Водяних парів	Повітря
100	170	130	132	151	133
200	359	261	268	305	267
300	561	393	408	464	404
400	774	528	553	628	543
500	999	666	701	797	686
600	1226	806	852	970	832
700	1466	949	1008	1151	982
800	1709	1096	1163	1340	1134
900	1957	1247	1323	1529	1285
1000	2209	1398	1482	1730	1440
1100	2465	1550	1642	1932	1600
1200	2726	1701	1806	2138	1760
1300	2986	1856	1970	2352	1919
1400	3251	2016	2133	2566	2083
1500	3515	2171	2301	2789	2247
1600	3780	2331	2469	3011	2411
1700	4049	2490	2637	3238	2574
1800	4317	2650	2805	3469	2738
1900	4586	2814	2978	3700	2906
2000	4859	2973	3150	3939	3074
2100	5132	3137	3318	4175	3242
2200	5405	3301	3494	4414	3410

Приклад розв'язання задач

Задача 1

Дано: в котельній камері парогенератора в пилоподібному стані згоряє буре вугілля марки Б Райчихинського родовища наступного елементарного складу:

$W^p, \%$	$A^p, \%$	$S_{\text{л}}^p, \%$	$C^p, \%$	$H^p, \%$	$N^p, \%$	$O^p, \%$
37,0	9,5	0,2	37,8	2,3	0,5	12,7

Визначити: теоретичну і дійсну кількість повітря, необхідну для спалювання 1 кг палива.
Коефіцієнт надлишку повітря прийнятий рівним $\alpha = 1,2$.

Розв'язання

Теоретична кількість повітря, необхідна для спалювання 1 кг палива.

$$\begin{aligned} V^0 &= 0,0889(C^P + 0,375 S^P) + 0,265 H^P - 0,0333 O^P = \\ &= 0,0899(37,0 + 0,375 \cdot 0,2) + 0,265 \cdot 2,3 - 0,0333 \cdot 12,7 = 3,56 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned}$$

Дійсна кількість повітря, необхідна для спалювання 1 кг палива.

$$V_B = \alpha \cdot V^0 = 1,2 \cdot 3,56 = 4,27 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Відповідь : $V_B = 4,27 \text{ м}^3 / \text{кг}$.

Задача №2

Дано: в топці котла спалюється буре вугілля Райчихинського родовища; в той же час за даними газового аналізу встановлено, що в продуктах повного згоряння виявилось $V_{CO_2} + V_{SO_2} = V_{RO_2} = 11,0\%$, надлишкового кисню $O_2 = 4,0\%$ і $CO = 2,0\%$.

Визначити: коефіцієнт надлишку повітря α при повному і неповному згорянні палива.

Розв'язання

Коефіцієнт надлишку повітря при повному згорянні палива:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{4}{100 - (11 + 4)}} = 1,215.$$

Коефіцієнт надлишку повітря при неповному згорянні палива:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5 \cdot CO}{100 - (RO_2 + O_2 + CO)}} = \frac{21}{21 - 79 \frac{4 - 0,5 \cdot 2}{100 - (11 + 4 + 2)}} = 1,141.$$

Відповідь. $\alpha = 1,141$

Завдання для практичної роботи:

1. Визначити об'єм і ентальпію продуктів згоряння на виході з топки, а також теоретичну та дійсну кількість повітря, яке потрібно подати для згоряння 1 м^3 природного газу такого складу: $CO_2 = 0,2\%$; $CH_4 = 97,9\%$; $N_2 = 1,8\%$; $C_2H_4 = 0,1\%$. Вологовміст газу $d_e = 0$. Коефі-

цієнт надлишку повітря $\alpha = 1,1$. Температура газів на виході з топки 1000°C .

Відповідь: $V^o = 9,37 \text{ м}^3 \text{ повітря/ м}^3 \text{ газу}$; $V_o = 10,31 \text{ м}^3 \text{ повітря/ м}^3 \text{ газу}$; $V_{\Gamma} = 11,464 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $I_{\Gamma} = 17,54 \cdot 10^3 \text{ кДж/ (м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$.

2. Визначити теоретично потрібну кількість повітря для згоряння 1 м^3 газу, склад якого такий: $\text{CO}_2 = 0,1 \%$; $\text{CH}_4 = 97,9 \%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,5 \%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,2 \%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1 \%$; $\text{N}_2 = 1,3 \%$.

Відповідь: $V^o = 9,5 \text{ м}^3 \text{ повітря/ м}^3 \text{ газу}$.

3. Визначити теоретично потрібну та дійсну кількість повітря для згоряння антрациту такого елементарного складу: $W^r = 5 \%$; $A^r = 13,3 \%$; $S_t^r = 1,7 \%$; $C^r = 76,4 \%$; $H^r = 1,5 \%$; $N^r = 0,8 \%$; $O^r = 1,3 \%$. Коефіцієнт $\alpha = 1,2$. Відповідь: $V^o = 7,2 \text{ м}^3/\text{кг}$; $V_o = 8,65 \text{ м}^3/\text{кг}$.

4. Визначити теоретичну кількість повітря, яка потрібна для згоряння палива такого елементарного складу: $W^r = 13 \%$; $A^r = 10,4 \%$; $S_t^r = 0,6 \%$; $C^r = 67,9 \%$; $H^r = 4,8 \%$; $N^r = 1,9 \%$; $O^r = 1,4 \%$.

Відповідь: $V^o = 7,29 \text{ м}^3/\text{кг}$.

5. Теоретично потрібна кількість повітря для згоряння 1 кг палива за нормальних умов дорівнює $V^o = 9,35 \text{ м}^3/\text{кг}$. Визначити дійсний об'єм повітря при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1,15$ та температурі повітря 25°C .

Відповідь: $V_o^t = 11,73 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Література: [3-5]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. Спалювання газоподібного палива.

Принцип організації спалювання газоподібного палива. Спалювання газоподібного палива в топках.

Ефективність використання палива визначається трьома основними факторами:

1. Повнотою згоряння палива в котельній камері.
2. Глибиною охолодження продуктів згоряння в поверхнях нагріву.
3. Зниженням супроводжують процес горіння втрат тепла в навколишнє середовище.

Для газоподібного палива теоретичний об'єм повітря для згоряння 1 м^3 сухого газу ($\text{м}^3 \text{ повітря/ м}^3 \text{ газу}$) визначається за формулою:

$$V^o = 0,0478 [0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2 + 1,5\text{H}_2\text{S} + 2\text{CH}_4 + \sum (m + n/4) \cdot \text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2] , \quad (3.1)$$

де CO , H_2 і т.д. – вміст окремих газів у газоподібному паливі у відсотках;

m – кількість атомів вуглецю;

n – кількість атомів водню.

Для газоподібного палива нижчу теплоту згоряння визначають за формулою

$$Q^{\Gamma}_{\text{н}} = 0,108H_2 + 0,126CO + 0,234H_2S + 0,358CH_4 + 0,638C_2H_6 + 0,913C_3H_8 + 1,187C_4H_{10} + 1,461C_5H_{12} + 0,591C_2H_4 + 0,86C_3H_6 + 1,135C_4H_8, \text{ МДж/м}^3. \quad (3.2)$$

Розрахунок спалювання газоподібного палива

Особливості:

1. Розрахунки ведуть на 1 м^3 ,
2. Склад в об'ємних відсотках:
- 3.

паливо:

$$(CO_2 + H_2 + H_2S + CH_4 + C_mH_n) + (N_2 + CO_2 + O_2) = 100\%, \quad (3.3)$$

повітря:

$$O_2 (21\%) + N_2 (79\%) = 100\%, \quad (3.4)$$

продукти сгорання:

$$(CO_2 + H_2O + SO_2) + (CO + H_2 + CH_4) + N_2 + O_2 = 100\%, \quad (3.5)$$

Елементарні реакції горіння:

1. $2CO_2 + O_2 = 2CO$ => потрібно $V_{O_2}^{CO} = 0,5 \frac{CO}{100}$, отримуємо $V_{CO_2}^{CO} = \frac{CO}{100}$;

2. $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ => потрібно $V_{O_2}^H = 0,5 \frac{H_2}{100}$, отримуємо $V_{H_2O}^H = \frac{H_2}{100}$;

3. $2H_2S + 3O_2 = 2SO_2 + 2H_2O$ => потрібно $V_{O_2}^{H_2S} = 1,5 \frac{H_2S}{100}$, отримує-

мо $V_{SO_2}^{H_2S} = \frac{H_2S}{100}$, $V_{H_2O}^{H_2S} = \frac{H_2S}{100}$;

4. $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$ => потрібно $V_{O_2}^{CH_4} = 2 \frac{CH_4}{100}$, отримуємо $V_{CO_2}^{CH_4} = \frac{CH_4}{100}$,

$V_{H_2O}^{CH_4} = 2 \frac{CH_4}{100}$;

$$5. \text{ C}_m\text{H}_n \text{ потрібно } V_{\text{O}_2}^{\text{C}_m\text{H}_n} = \sum \left(m + \frac{n}{4}\right) \frac{\text{C}_m\text{H}_n}{100}, \quad \text{отримуємо } V_{\text{CO}_2}^{\text{C}_m\text{H}_n} = \sum m \frac{\text{C}_m\text{H}_n}{100},$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{C}_m\text{H}_n} = \sum \frac{n}{2} \frac{\text{C}_m\text{H}_n}{100};$$

Теоретичесні витрати кисню(м³/м³);:

$$V_{\text{O}_2} = V_{\text{O}_2}^{\text{CO}} + V_{\text{O}_2}^{\text{H}_2} + V_{\text{O}_2}^{\text{H}_2\text{S}} + V_{\text{O}_2}^{\text{C}_m\text{H}_n} - V_{\text{O}_2}^{\text{топл}}; \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (3.6)$$

або

$$V^0 = V_{\text{O}_2} \frac{100}{21} = 0,0476 (0,5\text{CO}_2 + 0,5\text{H}_2 + 1,5\text{H}_2\text{S} + \frac{\text{H}_2}{100} + \sum (m + \frac{n}{4})\text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2^{\text{топл}}), \quad (3.7)$$

Приклад розв'язання задач

Задача 1

Визначити об'єми повітря і димових газів при спалюванні природного газу з елементарним складом: $\text{CH}_4^{\text{P}} = 85,8 \%$; $\text{C}_2\text{H}_6^{\text{P}} = 0,2 \%$; $\text{C}_3\text{H}_8^{\text{P}} = 0,1\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10}^{\text{P}} = 0,1 \%$; $\text{CO}_2^{\text{P}} = 0,1 \%$; $\text{N}_2^{\text{P}} = 13,7 \%$. Коефіцієнт надлишку повітря прийняти рівним 1,18.

Розв'язання

Перевіримо суму складових на робочу масу палива:

$$85,8+0,2+0,1+0,1+13,7=100 \%$$

Теоретична повітря, м³/м³

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[\left(1 + \frac{4}{4}\right) \cdot 85,8 + \left(2 + \frac{6}{4}\right) \cdot 0,2 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0,1 + \left(4 + \frac{10}{4}\right) \cdot 0,1 \right] = 8,26.$$

Теоретичні об'єми складових газів, м³/м³

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01 \cdot (0,1 + 1 \cdot 85,8 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1) = 0,870,$$

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot 8,26 + 0,01 \cdot 13,7 = 6,66,$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot \left(\frac{4}{2} \cdot 85,8 + \frac{6}{2} \cdot 0,2 + \frac{8}{2} \cdot 0,1 + \frac{10}{2} \cdot 0,1 + 0,124 \cdot 12 \right) + 0,0161 \cdot 8,26 = 1,88.$$

Дійсні об'єми двоатомних газів та водяної пари, м³/м³

$$V_{N_2} = 6,66 + (1,18 - 1) \cdot 8,26 = 8,15;$$

$$V_{H_2O} = 1,88 + 0,0161 \cdot (1,18 - 1) \cdot 8,26 = 1,90$$

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

$$V_r = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O} = 0,870 + 8,15 + 1,90 = 10,92.$$

Відповідь : $V_r = 10,92 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Задача 2

Температура димових газів на виході з топки котла складає 950°C , а коефіцієнт надлишку повітря – 1,12. Визначити ентальпію димових газів, якщо спалюється природний газ за умовою попереднього прикладу.

Розв'язання

З попереднього прикладу об'єму повітря і складових димових газів:

$$V^0 = 8,26 \text{ м}^3/\text{м}^3; V_{RO_2} = 0,870 \text{ м}^3/\text{м}^3; V_{N_2}^0 = 6,66 \text{ м}^3/\text{м}^3; V_{H_2O}^0 = 1,88 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

З таблиці 3 для температури 950°C визначимо питомі ентальпії, $\text{кДж}/\text{м}^3$:

$$(c\theta)_{\text{пов}} = 1359 \text{ кДж}/\text{м}^3; (c\theta)_{RO_2} = 2077 \text{ кДж}/\text{м}^3,$$

$$(c\theta)_{N_2} = 1319 \text{ кДж}/\text{м}^3; (c\theta)_{H_2O} = 1634 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Ентальпія димових газів, розраховуємо за формулою $\text{кДж}/\text{м}^3$

$$J_r = 0,87 \cdot 2077 + 6,66 \cdot 1319 + 1,88 \cdot 1634 + (1,12 - 1) \cdot 8,26 \cdot 1359 = 15010 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Відповідь : $15010 \text{ кДж}/\text{м}^3$.

Завдання для практичної роботи:

1. Визначити дійсну кількість повітря для згоряння 1 м^3 газу, якщо коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,1$, а теоретично потрібна кількість повітря $V^o = 9,51\text{ м}^3/\text{м}^3$.

Відповідь: $V_d = 10,461\text{ м}^3/\text{м}^3$.

2. Визначити теоретично потрібну кількість повітря для згоряння 1 м^3 газу такого складу: $\text{CO}_2 = 0,3\%$; $\text{O}_2 = 0,2\%$; $\text{CH}_4 = 89,9\%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,1\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,9\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,4\%$; $\text{N}_2 = 5,2\%$.

Відповідь: $V^o = 9,44\text{ м}^3/\text{м}^3$.

3. Визначити дійсну кількість повітря для згоряння 1 м^3 газу такого складу: $\text{CH}_4 = 92,2\%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,8\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1\%$; $\text{N}_2 = 6,9\%$. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,1$.

Відповідь: $V_d = 9,88\text{ м}^3/\text{м}^3$.

4. Визначити дійсну кількість повітря для згоряння 1 м^3 газу, якщо відомі: $V^o = 9,0\text{ м}^3/\text{м}^3$ та $\alpha = 1,15$.

Відповідь: $V_d = 10,35\text{ м}^3/\text{м}^3$.

5. Визначити об'єм сухих газів та об'єм водяних парів при згорянні палива такого елементарного складу: $W^r = 26\%$; $A^r = 17\%$; $S_t^r = 0,6\%$; $C^r = 41,9\%$; $H^r = 2,7\%$; $N^r = 0,5\%$; $O^r = 11,3\%$. Коефіцієнт надлишку повітря прийняти рівний $\alpha = 1,25$.

Відповідь: $V_{C.G.} = 5,056\text{ м}^3/\text{кг}$; $V_{H_2O} = 0,692\text{ м}^3/\text{кг}$.

6. Визначити об'єм сухих газів та об'єм водяних парів при $\alpha = 1$ для палива, яке має такий елементарний склад: $W^r = 37\%$; $A^r = 9,5\%$; $S_t^r = 0,2\%$; $C^r = 37,8\%$; $H^r = 2,3\%$; $N^r = 0,5\%$; $O^r = 12,7\%$.

Відповідь: $V_{C.G.}^o = 3,523\text{ м}^3/\text{кг}$; $V_{H_2O}^o = 0,77\text{ м}^3/\text{кг}$.

7. Визначити теплоту згоряння сухого природного газу такого елементарного складу: $\text{C}_2\text{H}_6 = 4,5\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 1,7\%$; $\text{H}_2\text{S} = 1,0\%$; $\text{CH}_4 = 76,7\%$; $\text{CO}_2 = 0,2\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,8\%$; $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,6\%$; $\text{N}_2 = 14,5\%$.

Відповідь: $Q_n^d = 33940\text{ кДж}/\text{м}^3$.

8. Визначити теплоту згоряння сухого газоподібного палива такого об'ємного складу: $\text{CO}_2 = 0,1\%$; $\text{CH}_4 = 97,9\%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,5\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,2\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1\%$; $\text{N}_2 = 1,3\%$.

Відповідь: $Q_n^d = 35,67\text{ МДж}/\text{м}^3$.

Література: [3-6].

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. Спалювання рідкого і твердого палива.

Схеми розпилювання рідкого палива. Мазутні форсунки. Класифікація парових топків. Характеристики процесу горіння твердого палива у щільному шарі. Вибір шарових топків і основи їх розрахунку.

У практичних розрахунках частіше користуються нижчою теплотою згоряння палива. Співвідношення вищої та нижчої теплоти згоряння:

$$Q^p_v - Q^p_n = 224 H^p + 25W^p, \text{ кДж/кг (кДж/м}^3\text{)}, \quad (4.1)$$

Нижчу теплоту згоряння твердого та рідкого палива визначають за формулою:

$$Q^p_n = 338C^p + 1025H^p - 108,5(O^p - S^p_t) - 25W^p, \text{ кДж/кг}, \quad (4.2)$$

Перерахунок кДж в ккал виконують за допомогою Додатка А.

Завдання для практичної роботи:

1. Визначити нижчу теплоту згоряння хвойної деревини, якщо при вологості $W^r = 45\%$ та зольності $A^d = 1\%$ елементарний склад горючої маси характеризується такими величинами: $C^r = 51\%$; $H^r = 6,15\%$; $O^r = 42,25\%$; $N^r = 0,6\%$.

Відповідь: $Q^r_n = 9188 \text{ кДж/кг}$.

2. Визначити нижчу теплоту згоряння робочої маси мазуту такого елементарного складу: $C^r = 85,3\%$; $H^r = 10,2\%$; $(O^r + N^r) = 0,7\%$; $O^r = 0,5\%$; $S^r_t = 0,5\%$; $A^r = 0,3\%$; $W^r = 3\%$.

Відповідь: $Q^r_n = 39211 \text{ кДж/кг}$.

3. Визначити теплоту згоряння сухого генераторного газу, яку отримали з донецького антрацити. Склад газу характеризується такими даними: $H_2 = 13,5\%$; $CO = 27,5\%$; $H_2S = 0,2\%$; $CH_4 = 0,5\%$; $CO_2 = 5,5\%$; $O_2 = 0,2\%$; $N_2 = 52,6\%$.

Відповідь: $Q^d_n = 5150 \text{ кДж/м}^3$.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5. Пилоприготування (не передбачені)

Особливості спалювання твердого палива в пилоподібному стані. Схеми пилоприготування. Сушіння палива. Розмелювання палива. Млини для приготування вугільного пилу. Вибір млинових пристроїв для системи.

Література [4-6]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6. Класифікація топкових процесів.

Класифікація, загальні характеристики і основні показники топок. Способи спалювання твердого палива. Економічність топки.

За призначенням топкове обладнання поділяють на теплове, силове та технологічне. *Теплове топкове обладнання* – це обладнання, у якому здійснюється перетворення хімічної енергії палива на фізичну теплоту високотемпературних газів для подальшого передавання теплоти цих газів крізь поверхні нагріву котла воді або парі.

Вони, у свою чергу, поділяються на шарові, призначені для спалювання твердого палива, та камерні – для спалювання рідкого та газоподібного палива. *Технологічне топкове обладнання* – це обладнання, у якому спалювання палива поєднується з використанням в елементах котла тепла, що виділяється.

Силові топкові обладнання – це обладнання, у якому здійснюється отримання продуктів згоряння не лише з високою температурою, а й з підвищеним тиском.

Топкове обладнання для спалювання твердого палива в шарі поділяється на топки з щільним шаром і топки з киплячим шаром. Колосникова решітка в топці потрібна для підтримки твердого палива.

Площа колосникової решітки, на якій здійснюється спалювання палива, є *активною її частиною*. Цей майданчик є також *дзеркалом горіння*, тому що на ньому здійснюється горіння палива від стадії запалювання до вигорання коксу. Основними тепловими характеристиками шарових топок є теплова напруга дзеркала горіння та теплова напруга топкового об'єму.

Теплова напруга дзеркала горіння, кВт/м^2 , – це та кількість теплоти, яка може виділятися паливом при згорянні на кожному квадратному метрі колосникової решітки за одну годину.

Питома теплова напруга дзеркала горіння, кВт/м^2 , (теплова напруга дзеркала горіння віднесена до площі колосникової решітки) визначається за формулою:

$$q_{\text{дз.г}} = \frac{Q}{R} = \frac{B \cdot Q_n^p}{R}, \quad (6.1)$$

де B – витрати палива, кг/с ;

Q_n^p – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг ;

R – площа колосникової решітки, м^2 .

Теплова напруга топкового об'єму – це кількість теплоти, яка виділяється у топці при спалюванні палива протягом 1 години на кожен 1 м^3 її об'єму.

Питома теплова напруга топкового об'єму (теплова напруга віднесена до об'єму топки) обчислюється за формулою:

$$q_{m.o} = \frac{Q}{V_m} = \frac{B \cdot Q_n^p}{V_m}, \text{ кВт/м}^3, \quad (6.2)$$

де V_m – об'єм топкового простору, м^3 .

За допомогою вищенаведеного теоретичного матеріалу можна розв'язати наступні задачі.

Завдання для практичної роботи:

1. У топці парового котла з шаровим спалюванням палива на ланцюговій решітці витрачається 6500 кг/год палива з нижчою теплотою згоряння $Q_n^p = 10700$ кДж/кг. Визначити активну площу ланцюгової решітки та об'єм топкової камери, якщо допустима теплова напруга дзеркала горіння $q_{д.з.г} = Q/R = 1167$ кВт/м²; напруга топкового простору $q_{т.о} = Q/V_m = 293$ кВт/м³

Відповідь: $R = 16,6 \text{ м}^2$, $V_m = 66 \text{ м}^3$.

2. У топці парового котла спалюється 6000 кг/год палива з нижчою теплотою згоряння $Q_n^p = 21000$ кДж/кг. Визначити питому теплову напругу дзеркала горіння та топкового об'єму, якщо $R = 33,1 \text{ м}^2$, $V_m = 130 \text{ м}^3$.

Відповідь: $q_{д.з.г} = Q/R = 1057$ кВт/м²; $q_{т.о} = Q/V_m = 270$ кВт/м³

3. Визначити, яка кількість палива за годину може бути спалена на колосниковій решітці площею $26,2 \text{ м}^2$, якщо $Q_n^p = 12000$ кДж/кг, а допустим теплова напруга дзеркала горіння $q_{д.з.г} = Q/R = 930$ кВт/м².

Відповідь: $B = 7300$ кг/год.

Література: [5-7]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 7. Класифікація топок для спалювання палив.

Класифікація топок і зольні характеристики процесів. Способи спалювання твердого палива. Топки для спалювання газу і мазуту. Приготування вугільного пилу, особливості його спалювання. Топки з твердим і рідким шлаковидаленням. Циклонні і вихрові топки. Топки з киплячим шаром.

Топочні камери - служать для спалювання палива з метою отримання енергії. До них пред'являються вимоги:

1. розвиток і завершення процесів горіння;
2. забезпечення необхідної паропродуктивності;
3. максимальне шлакоуловлювання;
4. охолодження газів до необхідної температури відхідних газів;
5. широкий діапазон регулювання.

Показники роботи топочної камери:

1. Теплова потужність $Q_T = B \cdot Q_n^p$
2. присос повітря у топці;
3. присос повітря у пилосистемі;
4. q_3 - втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння палива;
5. q_4 - втрати теплоти від механічної неповноти згоряння;

При розрахунках теплообміну випромінюванням у топці насамперед треба визначити адіабатну температуру горіння. Вона знаходиться при надлишку повітря за топкою α_T і ентальпії, що дорівнює корисному тепловиділенню у топці.

Корисне тепловиділення розраховується за залежністю

$$Q_{\partial} = \frac{Q_n^p \cdot (100 - q_3 - q_4)}{100 - q_4} + Q_B + J_r \cdot r, \quad (7.1)$$

де Q_B - теплота, що вноситься повітрям до топки

$$Q_{\partial} = (\alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл}) \cdot J_{Г.нов}^o + (\Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{пл}) J_{х.нов}^o, \quad (7.2)$$

де $\Delta\alpha_T$ - присос повітря у топці;

$\Delta\alpha_{пл}$ - присос повітря у пилосистемі;

$J^0_{Г.пов.х}$ - ентальпії теоретично необхідного об'єму при температурах гарячого і присосаного холодного повітря, кДж/кг; г

$J^0_{х.пов.}$ - ентальпія газів, що відбираються на рециркуляцію;

r - коефіцієнт рециркуляції.

Рециркуляція продуктів згоряння із зниженою температурою до топки призводить до зменшення адіабатної температури. При цьому надлишок повітря після змішування топкових газів з газами рециркуляції буде

$$\alpha_{сум} = \alpha_T + (\alpha_{rc} - \alpha_T) \cdot r, \quad (7.3)$$

де α_{rc} - надлишок повітря у газах, що відбираються на рециркуляцію.

Ентальпія продуктів згоряння після змішування буде

$$J_{Г.сум} = [J^o_{Г} + (\alpha_{сум} - 1) \cdot J^o_{в.} + (1 + r)], \quad (7.4)$$

Завдання для практичної роботи:

1. Визначити адіабатну температуру горіння палива (яке задано викладачем). Умови спалювання палива: топка з твердим шлаковидаленням, температура гарячого повітря вибирається з табл. 7.1, температура холодного повітря приймається $t_{х.пов} = 25^{\circ}\text{C}$. Розрахункові характеристики топки приймаються з довідника [4], присос у пилосистемі прийняти де $\Delta\alpha_T = 0$; у топці $\Delta\alpha_{пл} = 0,05$.
2. Визначити зміну адіабатної температури при введенні газів рециркуляції до ядра горіння у кількості, що відповідає значенням $r = 0,1; 0,15$. Відбір газів на рециркуляцію відбувається за повітропідігрівником при $Q_{від} = 130^{\circ}\text{C}$ і надлишку повітря $\alpha_{від} = 1,39$.

Таблиця 7.1 – Температура гарячого повітря

№ по журналу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T_{Г. пов}, ^{\circ}\text{C}$	200	225	250	275	300	325	375	400	425	450

Примітка. При розв'язанні завдання 1 розраховуються ентальпії продуктів згоряння при α_T в очікуваному діапазоні адіабатної температури ($2000 \dots 2200^{\circ}\text{C}$). Для визначення

адіабатних температур при рециркуляції необхідно побудувати ентальпійну таблицю за залежністю $J_{Г.сум} = [J_{Г}^o + (\alpha_{сум} - 1) \cdot J_{г.}^o + (1 + r)]$, при температурах близьких до очікуваних значень $a_{від}=1,39$.

Література [4, 7-8]

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 8. Тепловий баланс котельного агрегату

Рівняння теплового балансу котельного агрегату. Тепло, що використовується в котельному агрегаті. Витрата палива і ККД котла. Втрати теплоти з відхідними газами. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння. Втрати теплоти від механічної неповноти згоряння. Втрати теплоти в навколишнє середовище. Втрати з фізичною теплою шлаків. Загальне рівняння теплового балансу. Наявна і корисно витрачена теплота. Матеріальний і тепловий баланси котлів. К.к.д. котла і витрата палива. Втрати теплоти і їх визначення. Самоспоживання енергії і поняття к.к.д. бруто і к.к.д. нетто.

Комплекс обладнання, який розташований у спеціальному приміщенні та призначений для отримання теплової енергії у вигляді пари або гарячої води, називається *котельною установкою*.

Тепловий баланс парового котла полягає у встановленні рівенства між кількістю теплоти при спалюванні палива та сумою використаної теплоти з урахуванням теплових втрат. На основі теплового балансу знаходиться ККД котла і витрата палива. Кількість теплоти, що надійшла в котлоагрегат при спалюванні палива, називається *располагаемою? теплотою* Q_p^P .

При сталому режимі роботи котлоагрегату тепловий баланс для одного кг або 1 м^3 палива, що спалюється можна записати так:

$$Q_p^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж/кг}, \quad (8.1)$$

де Q_p^P - розрахована теплота, яка припадає на 1 кг твердого або 1 м^3 газоподібного палива, кДж / кг або кДж / м^3 ;

Q_1 - використана теплота;

Q_2 - втрата теплоти з газами з котла;

Q_3 - втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння палива;

Q_4 - втрати теплоти від механічної неповноти згоряння;

Q_5 - втрати теплоти в навколишнє середовище через зовнішні огороження котла;

Q_6 - втрати теплоти з фізичною теплотою шлаку.

При розрахунках використовується рівняння теплового балансу, виражене у відсотках по відношенню до розполагаємої теплоти, що приймається за 100%, тобто $Q_p^p = 100\%$:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (8.2)$$

$$\text{де } q_1 = \frac{100 \cdot Q_1}{Q_p^p}, \quad q_2 = \frac{100 \cdot Q_2}{Q_p^p}, \quad q_3 = \frac{100 \cdot Q_3}{Q_p^p} \text{ і т. д.}$$

Розглянемо втрати тепла в парогенераторах в табличній формі – табл. 8.1.

Таблиця 8.1. - Втрати тепла в парогенераторах

Найменування втрати	Абсолютні втрати, КДж/кг (КДж/м ³)	Відносна втрата,, % от Q_p^p	Величина втрат, q, %
З димовими газами	Q_2	q_2	4÷7
З хімічним недопалом палива	Q_3	q_3	0÷1,5
З механічним недожогом палива	Q_4	q_4	0,5÷5,0
Від зовнішнього охолодження через обмуровку парогенератора	Q_5	q_5	0,3÷1,0
З фізичним теплом шлаків, що видаляються з топки парогенератора	Q_6	q_6	0÷2,0
Сума теплових втрат	$\Sigma Q_{\text{пот}}$	Σq	6÷12

Питомий показник теплової втрати від хімічного недопалу палива визначається з рівняння:

$$q_3 = 126,4 \cdot V_{CO} + 108 \cdot V_{H_2} + 358,2 \cdot V_{CH_4}, \quad (8.3)$$

де цифри перед обсягами - це зменшені в 100 разів значення теплоти згоряння одного м³ відповідних газів.

Відносна втрата теплоти з механічним недопалом визначається з наступного рівності:

$$q_4 = \alpha_{yH} \cdot A^p \frac{\Gamma_{yH}}{1 - \Gamma_{yH}} \cdot \frac{32,7}{Q_p^p}, \quad (8.4)$$

де $\alpha_{\text{шл}}$ и $\alpha_{\text{ун}}$ – частка золи в шлаку і віднесенні; визначається зважуванням та з золотого балансу $\alpha_{\text{шл}} + \alpha_{\text{ун}} = 1$;

$\Gamma_{\text{шл}}$ и $\Gamma_{\text{ун}}$ – зміст горючих речовин у шлаку і віднесенні, %;

коефіцієнт 32,7 – це теплота згоряння горючих речовин в шлаку;

A^P – зольність робочої маси палива, %.

Втрату теплоти в навколишнє середовище можна виразити наступною формулою:

$$Q_5 = \frac{F_{\text{СТ}}}{B} (\alpha_K + \alpha_L) (t_{\text{СТ}} - t_{\text{ОКР}}), \quad (8.5)$$

де $F_{\text{СТ}}$ – зовнішня поверхня стін котлоагрегату та високотемпературних елементів, м^2 ;

α_K и α_L – коефіцієнти тепловіддачі конвекцією і випромінюванням, $\text{КВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

B – витрата палива на котел, $\text{кг} / \text{с}$;

$t_{\text{СТ}}$ и $t_{\text{ОКР}}$ – середня температура поверхні тепловіддаючим стін кіт-ла і температура навколишнього повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Втрата Q_6 розраховується за такою формулою:

$$Q_6 = \alpha_{\text{шл}} \frac{A^P}{100} c_{\text{шл}} \cdot t_{\text{шл}}, \quad (8.6)$$

де $t_{\text{шл}}$ – температура шлаку, $^{\circ}\text{C}$;

$c_{\text{шл}}$ – теплоємність шлаку, що залежить від температури шлаку, $\text{КДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Наприклад, при температурі шлаку 600°C $c_{\text{шл}} = 0,930 \text{ КДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, при температурі шлаку 1600°C $c_{\text{шл}} = 1,172 \text{ КДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Розрахунок відносної втрати з фізичної теплотою шлаку q_6 (%) можна провести за такою формулою:

$$q_6 = \frac{\alpha_{\text{шл}} \cdot c_{\text{шл}} \cdot t_{\text{шл}} \cdot A^P}{Q_P}, \quad (8.7)$$

В парогенераторах великої потужності частка таких втрат незначна і при розрахунках її часто не враховують.

Повнота використання тепла палива в парогенераторі визначає коефіцієнт корисної дії парогенератора (ККД) брутто. Для сучасних парогенераторів ККД брутто $\eta_{\text{пг}}$ становить 92 ÷ 94%. ККД брутто визначається як відношення корисно використаного в парогенераторі тепла Q_1 до тепла згоряння палива Q_p^p :

$$\eta_{\text{пг}} = \frac{Q_1}{Q_p^p} \cdot 100 = \frac{Q_K}{Q_p^p \cdot B}, \% \quad (8.8)$$

де B – втрати палива, кг/с;

Q_K - теплота, корисно віддана котлом і виражена через теплосприйняття поверхонь нагріву, кДж / с.

Корисно використаним називається кількість тепла, яке отримало робоче тіло (вода, пара) в парогенераторі в розрахунку на 1 кг (або м^3 при спалюванні рідкого палива) твердого палива, що спалюється.

ККД парогенератора брутто можна визначити, методом зворотного балансу:

$$\eta_{\text{пг}} = 100 - \Sigma q_{\text{пот}}, \% \quad (8.9)$$

де: $\Sigma q_{\text{пот}} = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$ – сума теплових витрат, складає 6 ÷ 12%, тому можливі абсолютні помилки при визначенні цих витрат позначаються на значенні ККД парогенератора відносно слабо.

ККД парогенераторів нетто визначається з урахуванням витрат електроенергії і тепла на власні потреби:

$$\eta_{\text{пг}}^H = \eta_{\text{пг}} - q_{\text{сн}}, \% \quad (8.10)$$

де $q_{\text{сн}}$ – сумарні витрати теплоти на власні потреби котлоагрегата, тобто витрата електроенергії на привід допоміжних механізмів (димососів, дуттєвих вентиляторів, різних насосів і т. д.), %.

Витрата палива, що подається в топку котла, складає:

$$B = \frac{Q_K \cdot 100}{Q_p^p \cdot \eta_K^{BP}}, \quad (8.11)$$

Так як частина палива втрачається з механічним недопалом, то при всіх розрахунках обсягів повітря і продуктів згорання, ентальпія використовуються як розрахункова витрата палива B_p , що враховує механічну неповноту згорання

$$B_p = B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \quad (8.12)$$

Приклади розв'язання задач

Задача 1

Визначити втрати теплоти від хімічної неповноти згорання, якщо корисна теплота $31,5 \text{ МДж/м}^3$, втрати теплоти через стіни котла складають 700 кДж/м^3 , втрат від механічної неповноти згорання немає, втрати з відхідними газами 7% . Наявна теплота складає 35 МДж/м^3 .

Розв'язання

Маючи корисну і наявну теплоту, за визначимо ККД котла

$$\eta = Q_1 / Q_H = 31,5 / 35 = 0,9 = 90 \%$$

Втрати теплоти через стіни котла, %

$$q_5 = Q_5 / Q_H = 700 / 3500 = 0,02 = 2 \%$$

За розмірністю величини наявної теплоти можна зрозуміти, що це газове паливо, для якого втрати теплоти із шлаком відсутні. Тоді з рівняння визначимо втрати q_3 , %

$$q_3 = 100 - (\eta_k + q_2 + q_4 + q_5 + q_6) = 100 - (90 + 7 + 0 + 2 + 0) = 1$$

Відповідь: $q_3 = 1$.

Задача 2

Визначити ККД брутто котельного агрегату, що працює на природному газі з $Q^p_H = 33,7 \text{ МДж/м}^3$. Температура відхідних газів 150°C , об'єми повітря і продуктів згорання $V^0 = 9,3 \text{ м}^3 / \text{м}^3$; $V^0_{\text{RO}_2} = 1 \text{ м}^3 / \text{м}^3$; $V^0_{\text{N}_2} = 7,2 \text{ м}^3 / \text{м}^3$; $V^0_{\text{H}_2\text{O}} = 1,9 \text{ м}^3 / \text{м}^3$. Втрати теплоти від хімічної неповноти згорання $0,5 \%$, через стіни котла $1,7 \%$, від механічної неповноти згорання 0% . Коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах $1,3$.

Розв'язання

Оскільки немає даних про підігрів повітря, то наявна теплота,

$$Q_H = Q^p_H = 33700 \cdot \text{кДж/м}^3$$

Для температури відхідних газів 150 °С за таблицею 3 визначаємо питомі ентальпії, кДж/м³

$$(c\theta)_{\text{пов}} = 199; (c\theta)_{\text{RO}_2} = 263; (c\theta)_{\text{N}_2} = 195; (c\theta)_{\text{H}_2\text{O}} = 228.$$

Ентальпія відхідних газів за, кДж/м³:

$$I = 1 \cdot 263 + 7,2 \cdot 195 + 1,9 \cdot 228 + (1,3-1) \cdot 9,3 \cdot 199 = 2655$$

Температуру холодного повітря приймаємо 20 °С, а питому ентальпію 26 кДж/м³, тоді втрати теплоти з відхідними газами за

$$q_2 = \frac{2655 - 1,3 \cdot 9,3 \cdot 26}{33700} \cdot \frac{100 - 0}{100}$$

Оскільки спалюється газове паливо, то втрат із шлаком немає $q_6 = 0$.

Тоді ККД брутто котла за зворотним балансом, %

$$\eta_k = 100 - (6,95 + 0,5 + 0 + 1,7 + 0) = 90,85$$

Відповідь: $\eta_k = 90,85$.

Задача 3

Визначити ККД брутто котельного агрегату за такими вихідними даними: паровидатність 16 т/год; витрата палива 0,34 кг/с; температура перегрітої пари 370 °С; тиск перегрітої пари 2,4 МПа; температура живильної води 104 °С; величина безперервної продувки 3 %; температура підігріву повітря в калориферах 100 °С; теоретичний об'єм повітря 10,2 м³/кг; коефіцієнт $\beta = 1,1$. Температура холодного повітря 20 °С; температура мазуту 100 °С. Котел має парове розпилення. Витрата насиченої пари тиском 5 бар на розпилення мазуту 0,3 кг/кг. Паливо – мазут з $Q^p_H = 38,8$ МДж/кг.

Розв'язання

Визначимо теплоємність мазуту при температурі 100 °С, кДж/(кг·К)

$$c = 738 + 0,0025 t_{\text{пал}} = 1,738 + 0,0025 \cdot 100 = 1,988 \text{ кДж/(кг·К)}$$

Фізична теплота палива :

$$Q_{\text{пал}} = c_{\text{пал}} \cdot t_{\text{пал}} = 1,988 \cdot 100 = 198, \text{ кДж/кг}$$

Питомі ентальпії повітря при температурах 20 °С і 100 °С складають 26 і 132 кДж/м³ відповідно, тоді теплота підігрітого ззовні повітря, кДж/кг:

$$Q_{\text{пов.зов}} = \beta \cdot V^0 (ct_{\text{г.п}} - ct_{\text{х.п.}}) = 1,1 \cdot 10,2 \cdot (132 - 26) = 1189$$

Ентальпія насиченої пари при тиску 5 бар складає 2749 кДж/кг, тоді теплота, що вноситься паром при паровому розпиленні ($Q_{\text{форс}}$), кДж/кг

$$Q_{\text{форс}} = G_{\text{п}} (h_{\text{п}} - 2510) = 0,3 \cdot (2749 - 2510) = 71,7$$

Наявна теплота знаходиться за формулою, кДж/кг

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{н}}^3 + Q_{\text{пал}} + Q_{\text{пов.зов}} + Q_{\text{форс}} = 38800 + 198,8 + 1189 + 71,7 = 40259,5$$

За тиском 2,4 МПа і температурою 370 °С визначаємо ентальпію перегрітої пари $h_{\text{пп}} = 3174$ кДж/кг, за температурою 104 °С – ентальпію живильної води 436 кДж/кг.

Прийmemo, що тиск в барабані 2,5 МПа, тоді ентальпія котлової води $h_{\text{кв}} = 962$ кДж/кг. Паровидатність котла 16 т/год або 4,44 кг/с.

ККД брутто котла за

$$\eta_{\kappa} = \frac{D \cdot (h_{\text{пп}} - h_{\text{жв}}) + G(h_{\text{кв}} - h_{\text{жв}})}{Q_{\text{н}} \cdot B_{\text{p}}} = \frac{4,44(3174 - 436) + 4,44 \cdot 0,03 \cdot (962 - 436)}{40259,5 \cdot 0,340} = 0,893$$

Відповідь: $\eta_{\kappa} = 0,893$.

Завдання для практичної роботи:

1. Скласти тепловий баланс, підрахувати ККД і витрати палива для котельного агрегата з такими вихідними даними:

- паропродуктивність котла $D_{\text{год}} = 230$ т/год;
- тиск пари в барабані котла $P_{\text{к}} = 10$ кгс/см²;
- температура перегрітої пари $t_{\text{пп}} = 400^{\circ}\text{C}$;
- температура живильної води $t_{\text{жв}} = 115^{\circ}\text{C}$;

Паливо Донецького басейну з теплою згоряння $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 15300$ кДж/кг, спалюється в камерній топці в пиловидному стані. Теоретично потрібна кількість повітря для згоряння 1 кг палива $V_{\text{o}} = 4,15 \text{ м}^3/\text{кг}$. Коефіцієнт надлишку повітря на виході з останнього газоходу котла $\alpha_{\text{відх.г}} = 1,39$. Об'єм газів на виході з останнього газоходу $V_{\text{відх.г}} = 6,06 \text{ м}^3/\text{кг}$. Температура відхідних газів $t_{\text{відх.г}} = 1600$ °C. Середня об'ємна теплоємність продуктів згоряння при $t_{\text{відх.г}}$ складає $c_{\text{відх.г}} = 1,415$ кДж/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$). Температура повітря в котельній 30 °C. Об'ємна теплоємність повітря 1,297 кДж/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$). Утрати тепла від хімічної неповноти згоряння $q_3 = 0,5$ %, втрати тепла від механічного недопалу $q_4 = 2,5$ %, утрати тепла в навколишнє середовище $q_5 = 0,5$ %.

Відповідь: $\eta_{\text{к.а.}} = 89,2\%$, $B_{\text{год}} = 42170$ кг/год.

2. За умовами попередньої задачі визначити, як підвищиться втрата тепла з відхідними газами, якщо температура відхідних газів підвищиться до 200 °C.

Відповідь: $q_2 = 9,5$ % .

3. Визначити сумарні втрати тепла за 1 годину роботи котельного агрегата (паропроductивність $D_{\text{год}} = 640$ т/год) при спалюванні 166 т/год палива з теплою згоряння 13500 кДж/кг, якщо ККД котла дорівнює $\eta_{\text{к.а.}} = 91,2$ % .

Відповідь: $\sum Q_{\text{втр}} = 197,208$ МДж/год.

4. За умовами задачі 4 визначити годинні витрати палива, яке потрібне буде для покриття сумарних теплових втрат котельного агрегата.

Відповідь: $B_{\text{втр}} = 14,608$ т/год.

5. Визначити втрати тепла з відхідними газами за такими даними:

- теплота згоряння палива $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 33000$ кДж/кг;
- об'єм теоретично потрібного повітря $V_{\text{o}} = 9,32 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
- коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{\text{відх.г}} = 1,28$;
- об'єм відхідних газів $V_{\text{відх.г}} = 13,11 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
- температура відхідних газів $t_{\text{відх.г}} = 190$ °C;
- теплоємність відхідних газів при $t_{\text{відх.г}}$ - $c_{\text{відх.г}} = 1,365$ кДж/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$);
- температура повітря $t_{\text{п}} = 30$ °C;
- теплоємність повітря $c_{\text{п}} = 1,297$ кДж/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$).

Відповідь: $q_2 = 9\%$.

6. За проведеним аналізом визначено, що вміст окису вуглецю CO у відхідних газах дорівнює 0,53 %, вміст триатомних газів $\text{RO}_2 = 10,53$ %. Визначити втрати тепла від хімічного недопалу палива, якщо нижча теплота згоряння палива $Q^{\text{P}} = 26000$ кДж/кг, вміст у паливі вуглецю $\text{C}^{\text{P}} = 72,47$ % , сірки $\text{S}^{\text{P}} = 1,54$ %.

Визначити втрати тепла від механічного недопалу, якщо за цими випробуваннями відомі такі величини:

–утрати тепла зі шлаком $Q_{\text{шл4}} = 125$ кДж/кг;

–утрати з провалом палива $Q_{\text{пр4}} = 200$ кДж/кг ;

–утрати з виносом часток палива у газоходи котла $Q_{\text{вин4}} = 150$ кДж/кг;

–теплота згоряння палива $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 25000$ кДж/кг.

Відповідь: $q_4 = 1,9 \%$.

7. Визначити втрати тепла в навколишнє середовище, якщо $q_2 = 6 \%$, $q_3 = 0,5 \%$, $q_4 = 2,0 \%$ та $\eta_{\text{к.а.}} = 90,5 \%$.

Відповідь: $q_5 = 1,0 \%$.

8. Втрати тепла в навколишнє середовище дорівнюють $q_5 = 1,0 \%$, теплота згоряння палива $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 22000$ кДж/кг. Визначити втрати тепла в навколишнє середовище за одну годину праці котла, якщо витрати палива складають $B_{\text{год}} = 10$ т/год.

Відповідь: $Q_{5\text{год}} = 2,2$ ГДж/год.

Література: [4, 8-9]

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Дайте означення поняття котельна установка. З яких елементів вона складається?
2. В залежності від чого класифікуються котельні установки?
3. Як класифікують парогенератори?
4. Які види енергоресурсів використовують в котлоагрегатах?
5. Чим барабанні парогенератори відрізняються від прямоточних?
6. Поясніть призначення та функції барабана парогенератора?
7. Дайте означення понять «паливо», «умовне паливо».
8. Наведіть складові палива та охарактеризуйте їх.
9. Поясніть відмінність складу палива на суху, горючу та робочу масу.
10. Чим відрізняється нижча та вища теплота згорання палива?
11. Поясніть, як визначається теоретична витрата окислювача.
12. Коефіцієнт надлишку повітря, від чого він залежить і як змінюється в газоходах?
13. Наведіть рівняння теплового балансу котла, його призначення та зміст складових.
14. Поясніть, як визначається ККД котла за прямим та зворотним балансом.
15. Поясніть різницю між ККД бруто і ККД нетто котла.
16. Як визначається ККД котла і витрата палива на котел?
17. Поясніть поняття «наявна теплота», її складові і залежності для їх визначення.
18. Поясніть, від чого залежать втрати теплоти з відхідними газами, від хімічної і механічної теплоти згорання.
19. В яких випадках і яким чином визначаються втрати теплоти через стіни котла і втрати із шлаком?
20. Поясніть класифікацію топок котлів.
21. Наведіть основні показники топкових пристроїв.
22. Наведіть основні стадії горіння палива, як визначається час горіння палива?
23. Поясніть особливості шарового спалювання твердого палива.
24. Принципи спалювання газового палива, їх переваги і недоліки.
25. Наведіть особливості спалювання рідкого палива.
26. Різновиди рідкопаливних форсунок. Переваги і недоліки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Эстеркин, Р.И. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование / Р.И. Эстеркин. - Л.: Энергоатомиздат, 1989.– 400 с.
2. Белосельский, Б.С. Энергетическое топливо / Б.С.Белосельский, В.К.Соляков.– М: Энергия, 1980.– 345с.
3. Тепловой расчёт промышленных парогенераторов / [под ред. В.И.Частухина]. - К.: Вища школа, 1980.– 184 с.
4. Роддатис, К.Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К. Ф. Роддатис, А. Н. Полтарецкий. – М.: Энергоатомиздат, 1989.– 488 с.
5. Ерохин, В. Г.Сборник задач по основам теплотехники и гидравлики / В. Г. Ерохин, М. Г. Мананько. - М. : Энергия, 1972.– 224 с.
6. Вергазов,В.С. Устройство и эксплуатация котлов / В.С.Вергазов.–М. : Стройиздат, 1991.–271 с.
7. Делягин, Г.Н. Теплогенерирующие установки / Г. Н. Делягин, В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков. - М.: Стройиздат, 1986.– 559 с.
8. СНиП II-89-80. Котельные установки.– М. : Госстрой СССР, 1980.– 168 с.
9. Тепловой расчет промышленных парогенераторов / [под ред. В.И. Частухина].- К. : Вища школа, 1980.– 184 с.

**Співвідношення між одиницями систем МКГСС і СІ,
а також між тепловими одиницями**

Одиниці тиску

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 98066,5 \text{ Па} = 98,1 \text{ кПа} = 0,981 \text{ МПа} = 0,981 \text{ бар};$$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ кгс/м}^2 = 0,102 \cdot 10^{-4} \text{ кгс/см}^2 = 10^{-5} \text{ бар} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ ат} = \\ = 0,102 \text{ мм вод. ст.} = 0,0075 \text{ мм рт. ст.};$$

$$1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па} = 102 \text{ кгс/м}^2 = 102 \text{ мм вод. ст.} = 0,0102 \text{ кгс/см}^2 = 0,0102 \text{ ат} = 0,01 \text{ бар};$$

Динамічна в'язкість

$$1 \text{ кгс} \cdot \text{с/м}^2 = 9,81 \text{ Н/м}^2 = 9,81 \text{ кг/(м} \cdot \text{с)} = 9,81 \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$1 \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ кг/(м} \cdot \text{с)} = 0,102 \text{ кгс} \cdot \text{с/м}^2.$$

Робота й енергія

$$1 \text{ кал} = 4,187 \text{ Дж} = 4,19 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ ккал} = 10^3 \text{ кал} = 4187 \text{ Дж} = 4,187 \text{ кДж} = 4,19 \text{ кДж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 860 \text{ ккал} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ ГДж};$$

$$1 \text{ Гкал} = 10^9 \text{ кал} = 10^6 \text{ ккал} = 1162,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1163 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 4,187 \cdot 10^9 \text{ Дж} = \\ = 4,187 \cdot 10^6 \text{ кДж} = 4,187 \text{ ГДж};$$

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,102 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 0,2388 \text{ кал} = 0,239 \text{ кал} = 0,278 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{год} =$$

Теплова потужність, тепловий потік

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 0,102 \text{ кгс}\cdot\text{м/с} = 0,00136 \text{ л.с.} = 0,239 \text{ кал/с} = 860 \text{ кал/год} = 0,860 \text{ ккал/год};$$

$$1 \text{ кВт} = 1 \text{ кДж/с} = 3600 \text{ кДж/год} = 102 \text{ кгс}\cdot\text{м/с} = 1,36 \text{ л.с.} = 0,239 \text{ ккал/с} = 860 \text{ ккал/год};$$

$$1 \text{ МВт} = 1 \text{ МДж/с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ кДж/год} = 0,86 \cdot 10^6 \text{ ккал/год} = 0,86 \text{ Гкал/год};$$

$$1 \text{ кгс}\cdot\text{м/с} = 9,81 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кал/с} = 4,187 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ ккал/год} = 1,163 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ Гкал/год} = 1,163 \text{ МВт}.$$

Теплові одиниці

$$1 \text{ ккал/}^{\circ}\text{C} = 4,19 \text{ кДж/}^{\circ}\text{C};$$

$$1 \text{ ккал/год} = 0,279 \text{ кал/с} = 1,163 \text{ Дж/с} = 1,163 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кал/с} = 4,1868 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ Вт} = 0,23885 \text{ кал/с} = 0,859845 \text{ ккал/год};$$

$$1 \text{ кал/}(\text{см}^2 \cdot \text{с}) = 4,1868 \text{ Вт/см}^2 = 41868 \text{ Вт/м}^2;$$

$$1 \text{ Дж/кг} = 0,2388 \text{ кал/кг} = 0,239 \cdot 10^{-3} \text{ ккал/кг} = 239 \cdot 10^{-6} \text{ ккал/кг};$$

$$1 \text{ ккал/кг} = 4,187 \text{ кДж/кг};$$

$$1 \text{ ккал/ K} = 4,187 \text{ кДж/ K};$$

$$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}) = 1,163 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$1 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 0,23885 \cdot 10^{-4} \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}) = 0,859845 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Питома теплоємність

$$1 \text{ кал}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) = 1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) = 4186,8 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,23885 \cdot 10^{-3} \text{ кал}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,23885 \cdot 10^{-3} \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі, теплопередачі

$$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$1 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K});$$

$$1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = 0,859845 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коефіцієнт теплопровідності

$$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$1 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}) = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K});$$

$$1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}) = 0,859845 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Термічний опір

$$1 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал} = 0,86 \text{ м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}.$$

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни
«Котельні установки промислових підприємств»
для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей.

Частина 1.

Паливо, топки та котельні установки ТЕС

Комп'ютерний набір і верстка: Любименко Олена Миколаївна

Укладачі: Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

85300, м. Покровськ, пл Шибанкова, 2.