

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ТЕПЛОТЕХНІКА ТА ГІДРАВЛІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо виконання самостійної роботи

СУМИ – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ТЕПЛОТЕХНІКА ТА ГІДРАВЛІКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо виконання самостійної роботи

для здобувачів вищої освіти спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, ступеня вищої освіти
«Бакалавр» для здобувачів денної та заочної форм навчання

СУМИ 2024

УДК 536+621.1
M54

Укладачі: Сіренко Ю.В., PhD, доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

M54 Науково-методичне забезпечення навчального процесу:
Теплотехніка та гідравліка. Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи / укл.: Сіренко Ю.В.- Суми, 2024. - 56 с.

Методична розробка складається з 6 тем, починаючи з першої «Компресори» до заключної «Основні джерела теплоти в сільському господарстві». В цьому діапазоні розглянуті такі характерні питання, які торкаються основних законів термодинаміки, теоретичних циклів ДВЗ, КУ, ТА, палива, які використовуються в теплотехнічних установках. В кінці методичних вказівок знаходять тести для самоконтролю знань.

Рецензенти:

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

Шуляк М.Л. – д.т.н., професор, зав. кафедри агроінжинірингу СНАУ.

Відповідальний за випуск:

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

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету СНАУ. Протокол № 6 від „22” травня 2024 року.

© Сумський національний
аграрний університет, 2024

ЗМІСТ

1.	Компресори.	6
2.	Теплообмінні апарати.	11
3.	Котельні установки.	16
4.	Двигуни внутрішнього згоряння.	24
5.	Палива, які використовуються в теплоенергетичних установках.	32
6.	Основні джерела теплоти в сільському господарстві.	40
	Тести для самоконтролю.	45
	Література.	53

Тематичний план

Тема самостійної роботи	Кількість годин
Компресори.	4
Теплообмінні апарати.	4
Котельні установки.	4
Двигуни внутрішнього згоряння.	4
Палива, які використовуються в теплоенергетичних установках.	4
Основні джерела теплоти в сільському господарстві.	4

Тема 1. Компресори.

1. Поняття про компресори, класифікація компресорів.
2. Робота, що витрачається в компресорі на стиснення газу.
3. Причини переходу на багатоступінчасті компресори.
4. Потужність приводу компресора.

Компресор – це машина для отримання стиснених газів (повітря) та їх переміщення до місця використання. Компресором вважається пристрій, який забезпечує ступінь стиску $\pi_k = p_2/p_1 > 1,1$, де p_2 і p_1 – тиски за і перед компресором; пристрої, що мають $\pi_k < 1,1$ відносять до вентиляторів. Існують два основних типа компресорів:

1. **компресори об'ємного стиску**, в яких стиск газу проводиться за розрахунок зменшення його об'єму (поршневі, пластинчаті);

2. **компресори кінетичного стиску**, в яких при вимушеному русі газу його кінетична енергія перетворюється в потенціальну (центробіжні, осьові).

В зв'язку з тим, що при стисканні газ нагрівається, то компресор виконується охолоджувальним (водяне, повітряне охолодження).

В залежності від ступеню охолодження стиску в компресорі можна організувати:

- а) по ізотермі (реалізувати досить важко);
- б) по адіабаті;
- в) по політропі.

Як правило, стиск газу в компресорі проходить по політропі з показником $n = 1,2 \dots 1,3$.

Робота, яку потрібно витратити в компресорі, щоб стиснути газ до визначеного тиску p_2 (див. рис.

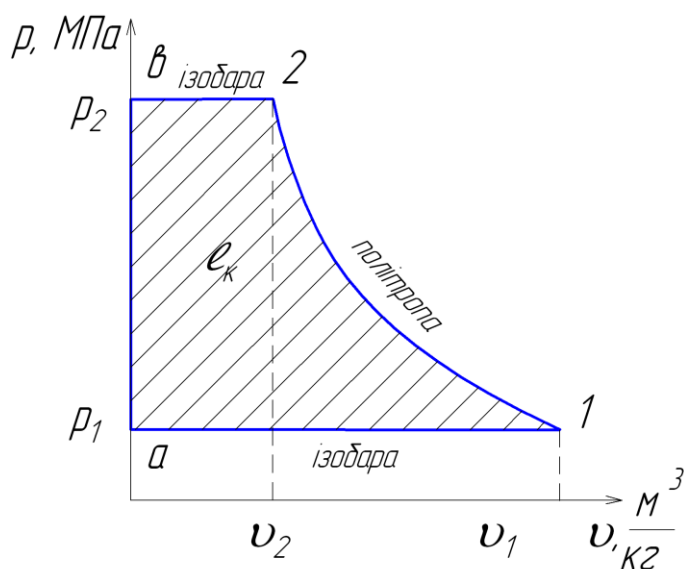


Рис.1.1. Робота компресора.

1.1).

$$\ell_{\kappa} = -\ell_{всм} - \ell_{ст} + \ell = p_1 v_1 - \int_1^2 p dv + p_2 v_2, \frac{Дж}{кг},$$

де $\ell_{всм}$ – робота на всмоктування, $\ell_{ст}$ – робота на стискання, ℓ – робота нагнітання.

Після перетворення можна одержати робочі формули для визначення роботи компресора при стисканні:

а) по адіабаті:

$$\ell_{\kappa} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) = \frac{\kappa}{\kappa - 1} R (T_2 - T_1) =$$
$$= \frac{\kappa}{\kappa - 1} R T_1 (\pi_{\kappa}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1), \frac{Дж}{кг}$$

б) по політропі: $\ell_{\kappa} = \frac{n}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) = \frac{n}{n-1} R T_1 (\pi_{\kappa}^{\frac{n-1}{n}} - 1), \frac{Дж}{кг}.$

де: κ – показник адіабати (для повітря $\kappa = 1,4$);

n – показник політропи.

R – характеристична стала газу (для повітря $R = 287 \frac{Дж}{кг \cdot K}$).

В зв'язку з тим, що при стисканні температура газу (повітря) збільшується, в реальному компресорі, ні в якому разі, не допускається її зростання (перебільшення) вище температури самозаймання пари мастила, яким змащуються стінки циліндра поршневого компресора (завжди $T_2 < T_{самзай н.м}$). Так що отримати високі тиски в одному ступеню компресора вдається не завжди. Крім того, щоб забезпечити, якнайбільш ефективну роботу на ділянці, всмоктування газу і стискання його до високого тиску, поршневі компресори виконуються багатоступінчастими (2^x , 3^x – ступінчасті) з проміжним (між ступенями) охолодженням стиснутого газу.

При заданому ступеню підвищення тиску в компресорі π_{κ} його намагаються рівномірно розподілити по ступеням (циліндрами) компресора, користуючись співвідношенням $\pi_{ст} = \sqrt[n]{\pi_{\kappa}}$, де $\pi_{\kappa} = \frac{p_{кінц}}{p_{почат}}$, а Z – кількість ступенів компресора.

Тоді робота компресора буде визначатись як: $\ell_{kz} = Z\ell_{cm}, \frac{Дж}{кг}$,
 ($\ell_{cm} = \ell_k$ в одноступінчастому компресорі). При заданій витраті газу через
 компресор „ m ”, $\frac{кг}{с}, \frac{м^3}{с}, \frac{л}{с}$, (подача компресора), робота компресора в
 секундах буде виражати теоретичну потужність компресора, тобто
 $L_{KZ} = N_{kt}, \frac{Дж}{с}, Вт, кВт$.

Дійсна потужність привода компресора буде помітно більшою
 теоретичної, бо необхідно врахувати всі втрати, які мають місце при
 стисканні газу. Так що потужність приводу компресору:

$$N_k = \frac{N_{kt}}{\eta_k}, Вт, кВт,$$

де η_k - ККД компресора. Звичайно $\eta_k = 0,75 \dots 0,85$.

Задача № 1. Визначити максимально допустимий тиск при стисканні
 повітря в одноступінчастому компресорі, якщо температура самозаймання
 пари мастила, що змащує стінки циліндра компресора, $t_m = 270^\circ C$.
 Температура зовнішнього повітря, яке всмоктується в компресор, $t_1 = 27^\circ C$,
 його початковий тиск $0,1 МПа$. Стискання виконується по адіабаті ($\kappa = 1,4$).

Рішення:

Приймаємо максимально допустиму температуру повітря в кінці
 процесу стискання рівною t_m тобто: $T_2 = 273 + t_m = 273 + 270 = 543 K$.

Тоді, відповідно рівнянню адіабати стиску: $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \Rightarrow$

максимальний тиск: $p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0,1 \cdot \left(\frac{543}{300} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,81 МПа, (8,1$

$ат)$.

Доповнення: якщо стискання проводилось би по політропі з показником $n = 1,3$, то $p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}} = 0,1 \cdot \left(\frac{543}{300} \right)^{\frac{1,3}{1,3-1}} = 1,32 \text{ МПа} (13,2 \text{ ат})$.

Задача № 2. В ідеальному 2^x – ступінчатому компресорі стискається повітря до тиску $2,0 \text{ МПа}$. Визначити його тиск і температуру в кінці процесу стиску в $1^{\text{му}}$ – ступеню компресора (циліндрі низького стискання), а також теоретичну потужність приводу компресора, якщо температура навколишнього повітря 15°C , а тиск $0,1 \text{ МПа}$. Стиск виконується по політропі з показником $n = 1,2$. Подача повітря в компресорі складає $0,03 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \approx (30 \frac{\text{л}}{\text{с}})$.

Рішення:

1. Тиск і температура повітря після першого ступеню компресора:

$$p_2 = p_1 \pi_{cm1} = 0,1 \cdot 4,5 = 0,45 \text{ МПа. Тут: } \pi_{cm1} = \pi_{cm2} = \sqrt[2]{\frac{p_{\text{кінц}}}{p_{\text{поч}}}} = \sqrt[2]{\frac{2,0}{0,1}} = 4,5.$$

В зв'язку з тим, що

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \pi_{cm1}^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_2 = T_1 \pi_{cm1}^{\frac{n-1}{n}} = 288 \cdot 4,5^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 370 \text{ К}.$$

2. Робота стискування в ступені:

$$\ell_{CT1} = \frac{n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{1,2}{1,2-1} 287 \cdot 288 \left(4,5^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1 \right) = 139000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 139 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$3. \text{ Робота компресора: } \ell_{Kz} = \ell_{CT} Z = 139 \cdot 2 = 278 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

4. Теоретична потужність приводу компресора:

$$N_{Kt} = L_{Kt} = \ell_{Kz} m = 278 \cdot 0,0365 = 10,2 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}, \text{ кВт}.$$

Тут: m – подача (витрата) повітря в компресорі:

$$m = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 288} = 0,0365 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Доповнення: якби таке стискування реалізувалось в одному ступеню то:

$$T_2 = T_1 \pi_k^{\frac{n-1}{n}} = 288 \cdot 20^{\frac{1,2-1}{1,2}} = 288 \cdot 1,65 = 475 \text{ K}$$

$$N_{kt} = L_{kt} = m_1 \frac{n}{n-1} R T_1 (\pi_k^{\frac{n-1}{n}} - 1) = 0,0365 \frac{1,2}{1,2-1} 287 \cdot 288 \cdot (20^{\frac{1,2-1}{1,2}} - 1) = 11,75 \text{ кВт.}$$

Контрольні питання.

1. Який пристрій називається компресором?
2. Який термодинамічний процес стискування повітря в компресорі найвигідніший? Який застосовується на практиці?
3. Чому застосовуються багатоступінчасті компресори?
4. Як визначається робота ступеня компресора?

Як оцінюється потужність, що необхідна для приводу компресора?

Тема 2. Теплообмінні апарати.

1. Поняття про рекуперативний теплообмінний апарат.

2. Основні рівняння для розрахунку теплообмінного апарату.

Теплообмінний апарат (ТА)– це технічний пристрій, призначений для передачі теплоти від одного теплоносія до іншого (від нагріваючої рідини до тієї, що нагрівається, від охолоджуваної рідини до тієї, що охолоджує).

В якості теплоносіїв в ТА, звичайно, використовують гарячу воду, холодну воду, гарячі гази, водяний пар, повітря, масла, сольові розчини та інше. В залежності від способу передачі теплоти ТА поділяють на 2 групи:

- 1) контактні (змішувальні);
- 2) поверхневі (регенеративні та рекуперативні).

У контактних ТА теплообмін відбувається за рахунок безпосереднього стикання (і змішення) гарячого і холодного теплоносіїв (струменеві ТА, елеватори, градирні).

У регенеративних ТА теплота гарячого теплоносія спочатку акумулюється в спеціальних камерах-насадках, а потім поглинається (забирається) холодним теплоносієм, який проходить через камеру. (Це апарати періодичної дії).

У найбільш поширених рекуперативних ТА теплообмін між теплоносіями відбувається через постійно їх розділяючу тверду стінку.

В залежно від напрямку руху теплоносіїв розрізняють 3 схеми ТА:

1. прямотечія  ;
2. протитечія  ;
3. перехресна течія 

Тепловий розрахунок ТА базується на двох рівняннях:

1. рівнянні теплового балансу в ТА:

$$Q_1 = Q_2 = Q = m_1 c_1 (t_1' - t_2'') = m_2 c_2 (t_2'' - t_2'), \text{ Вт}.$$

де m – масова витрата теплоносія, $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$;

c – питома теплоємність носія, $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$;

t – температура теплоносіїв, $^\circ C$.

Індекси: 1 – перший теплоносіє, 2 – другий теплоносіє, ' – вхід в ТА, '' – вихід з ТА.

В деяких випадках в цьому рівнянні добуток $mc = w$ називають **умовним тепловим еквівалентом** теплоносія.

2. рівнянні теплопередачі в ТА: $Q = kF\Delta t_{cp}$, $Вт$,

де k – коефіцієнт теплопередачі в ТА, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$,

F – площа поверхні теплообміну в ТА;

Δt_{cp} – середній логарифмічний температурний перепад між теплоносіями в ТА, $^\circ C$.

Для схеми «прямотечія»: $\Delta t_{cp \Rightarrow} = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''}}$, $^\circ C$.

Для схеми «протитечія»: $\Delta t_{cp \Leftarrow} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}}$, $^\circ C$.

Для схеми перехресна течія за основи беруться розрахунки по схемі «протитечія», які потім коректуються коефіцієнтом $\varepsilon \leq 1$.

При проектному розрахунку ТА кінцевою метою є визначення площі поверхні теплообміну в ТА. При відомих Q , Δt_{cp} , k вона визначається як:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{cp}}, м^2.$$

Ефективність роботи ТА зазвичай оцінюється умовним ККД: що укладається в діапазон значень 0,6...0,7:

$$\eta_{ТА} = \frac{Q_2}{Q_{розп}} = \frac{w_2 (t_2'' - t_2')}{w_1 (t_1' - t_2')}.$$

Задача 1. В газоводяному рекуперативному теплообмінному апараті гарячими газами з початковою температурою $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ нагрівається за годину 1000 кг води від температури $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Витрата газів при цьому $2000\text{ м}^3/\text{год}$, їх масова густина $0,6\text{ кг/м}^3$, питома теплоємність $C_r=1,06\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3\cdot^{\circ}\text{C}}$. Коефіцієнт теплопередачі від гарячих газів до води $163\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}}$. Визначити площу поверхні нагрівання в апараті, який виконаний за протитечійною схемою. Питома масова теплоємність води $C_b=4,19\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$.

Рішення:

1. Рівняння теплового балансу в апараті:

$$Q_{1(г)} = Q_{2(в)} = Q \quad \text{або} \quad m_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = m_2 c_2 (t_2'' - t_2').$$

$$\text{Звідки:} \quad t_1'' = t_1' - \frac{m_2 c_2 (t_2'' - t_2')}{m_1 c_{p1}} = 300 - \frac{1000 \cdot 4,19 (80 - 10)}{1200 \cdot 1,06} = 70\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\text{де } m_1 = V_1 \rho_1 = 2000 \cdot 0,6 = 1200\frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

2. Площа поверхні теплообміну в апараті (з рівняння теплопередачі):

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}} = \frac{m_2 c_2 (t_2'' - t_2')}{k \Delta t_{cp \rightarrow \leftarrow}} = \frac{1000 \cdot 4,19 (80 - 70) \cdot 1000}{163 \cdot 123 \cdot 3600} = 4,1\text{ м}^2,$$

де Δt_{cp} – середньоарифметичний перепад температур між теплоносіями:

$$\Delta t_{cp \rightarrow \leftarrow} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}} = \frac{(300 - 80) - (70 - 10)}{\ln \frac{300 - 80}{70 - 10}} = 123\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Задача 2. В теплообмінному апараті лабораторної установки гарячий розчин з умовним тепловим еквівалентом $116\text{ Вт/}^{\circ}\text{C}$ охолоджується від температури $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Охолодження проходить водою, яка надходить в апарат з температурою $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ з умовним тепловим еквівалентом $580\text{ Вт/}^{\circ}\text{C}$. Визначити площу поверхні охолодження в апараті,

який виконаний за протічнійною схемою, якщо коефіцієнт теплопередачі рівний $2335 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$.

Рішення:

1. Рівняння теплового балансу в апараті:

$$Q_{1\text{розч}} = Q_{2\text{вод}} = Q \quad \text{або} \quad w_1(t_1' - t_1'') = w_2(t_2'' - t_2'),$$

звідки маємо $t_2'' = (t_1' - t_1'') \frac{w_1}{w_2} + t_2' = (120 - 50) \frac{116}{580} + 10 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2. Кількість теплоти, яка фігурує в процесі теплопередачі:

$$Q = w_1(t_1' - t_1'') = 116(120 - 50) = 8100 \text{ Вт}.$$

3. Середньологарифмічний перепад температур між теплоносіями:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')}{\ln \frac{t_1' - t_2'}{t_1'' - t_2''}} = \frac{(120 - 10) - (50 - 24)}{\ln \frac{120 - 10}{50 - 24}} = 58 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4. Площа поверхні охолодження в апараті:

$$F_{\Rightarrow} = \frac{Q}{k \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{8100}{2335 \cdot 58} = 0,06 \text{ м}^2 = 600 \text{ см}^2.$$

5. Умовний ККД ТА:

$$\eta_{\text{ТА}} = \frac{Q_2}{Q_{\text{умов}}} = \frac{8100}{12760} = 0,635.$$

Задача 3. В маслоохолодильнику трансформаторне масло охолоджується від температури $80 \text{ } ^\circ\text{C}$ до температури $35 \text{ } ^\circ\text{C}$. Температура охолоджуючої води на вході теплообмінний апарат дорівнює $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. Визначити кількість теплоти, яку віддає масло, а також температуру води на виході із апарату, якщо умовні теплові еквіваленти масла і води відповідно дорівнюють $8 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$ і $20 \cdot 10^3 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$. Окрім цього визначити поверхню (площу) охолодження масла, якщо апарат виконаний за протічнійною схемою.

Коефіцієнт теплопередачі дорівнює $480 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$.

Рішення:

1. Рівняння теплового балансу в апараті:

$$Q_{1, \text{масла}} = Q_{2, \text{вод}} = Q \quad \text{або} \quad w_1(t_1' - t_1'') = w_2(t_2'' - t_2'),$$

звідки маємо $t_2'' = (t_1' - t_1'') \frac{w_1}{w_2} + t_2' = (80 - 35) \frac{8 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} + 10 = 28 \text{ } ^\circ\text{C}.$

2. Кількість теплоти, яка витрачається:

$$Q = w_1(t_1' - t_1'') = 8 \cdot 10^3(80 - 35) = 360 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 360 \text{ кВт}.$$

3. Середньологарифмічний перепад температур між теплоносіями:

$$\Delta t_{cp \rightarrow} = \frac{(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')}{\ln \frac{t_1' - t_2''}{t_1'' - t_2'}} = \frac{(80 - 28) - (35 - 10)}{\ln \frac{80 - 28}{35 - 10}} = 36,87 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

4. Площа поверхні охолодження в апараті:

$$F_{\rightarrow} = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}} = \frac{360 \cdot 10^3}{480 \cdot 36,87} = 20,34 \text{ м}^2.$$

Контрольні питання.

- 1.Що розуміють під теплообмінним апаратом? Які існують види теплообмінних апаратів?
- 2.Які існують схеми руху теплоносіїв в теплообмінних апаратах?
- 3.Що розуміють під середнім температурним перепадом між теплоносіями?
- 4.Що розуміють під тепловим еквівалентом теплоносія?
- 5.Якими показниками характеризується ефективність роботи теплообмінного апарату?

Тема 3. Котельні установки.

1. Поняття про котельну установку (КУ) і деякі її характеристики.
2. Класифікація котельних установок.
3. Тепловий баланс котельної установки.
4. Визначення годинної, добової, річної витрати палива в КУ.
5. Визначення потрібної витрати повітря для згорання 1 кг палива.

Котельною установкою називають комплекс споруд і пристроїв, призначених для виробництва водяної пари визначених параметрів. Котельна установка складається з котельного агрегату і допоміжних пристроїв.

До котельного агрегату належать: топковий пристрій (камера з пальниками); паровий котел – один з головних елементів котельного агрегату, в якому утворюється пара; пароперегрівник, де пара перегрівається до заданих параметрів; економайзер – підігрівач води, якою живлять паровий котел і повітряпідігрівач – для підігрівання повітря, що подається в топку для спалювання палива.

До допоміжних пристроїв котельної установки відносять тягодуттьові, шлако- і золовидавальні, золоуловлювальні пристрої, каркас, обмурівку і інше.

За призначенням котельні установки підрозділяють на:

а) *енергетичні*, в яких вся теплова енергія добутої пари передається на парову турбіну для перетворення її на механічну, а потім на електричну енергію;

б) *теплоенергетичні*, в яких менша частина теплової енергії, у вигляді теплоносія (гарячої пари чи гарячої води), відправляється для потреб споживача (для опалення будівель і виконання всіляких технологічних процесів). Основна ж частина теплоти витрачається на вироблення електричної енергії;

в) *опалювальні* – це місцеві котельні установки, що забезпечують теплом і гарячою водою групу будинків, розташованих поблизу котельної установки.

За паровидатністю котельні установки підрозділяють на установки з:

- а) низькою паровидатністю – до $30 \frac{т(пари)}{год.}$;
- б) середньою – $30...50 \frac{т(пари)}{год.}$;
- в) високою – $100...150 \frac{т(пари)}{год.}$;
- г) надвисокою – 255 і більше $\frac{т(пари)}{год.}$.

За тиском пари КУ підрозділяють на установки з:

- а) низьким тиском – до 3 МПа;
- б) середнім – до 10 МПа;
- в) високим – до 15,5 МПа;
- г) надкритичним – 24,5 МПа.

Температура пари на виході з КУ може досягати величини 250....575 °С.

За типом топки КУ підрозділяють на:

- а) установки з шаровою топкою (шар палива згорає на колосниковій ґратці);
- б) установки з камерною топкою (пилювате, дрібнобите, розпилене рідке та газоподібне паливо згорає в камері в завислому стані у вигляді факела);
- в) установки з циклонною вихровою топкою (подрібнене вугілля згорає в камері, де створений обертовий потік згорання – в вигляді вихору).

На протязі багатьох років удосконалення котлів відбувалося у двох напрямках, коли створювались:

- а) котли газотрубні;
- б) котли водотрубні.

Газотрубний котел являє собою циліндр, заповнений водою, в якому розміщені труби, що з середини омивалися гарячими газами.

У **водотрубних котлах** всередині труб проходить вода і пароводяна суміш, а зовнішні стінки труб омиваються гарячими газами.

Всі заходи спрямовані на удосконалення газотрубних котлів, не дали ефекту, і тому їх витіснили водотрубні котли.

Водотрубний котел складається з барабанів та розбійників, колекторів і пучків кип'ятильних труб невеликого діаметра, які розташовані в коридорному або шаховому порядку вздовж стінок камерної топки.

Розрізняють дві характерні схеми таких котлів:

- а) горизонтально-водотрубні котли;
- б) вертикально-водотрубні котли.

Сьогодні вертикально-водотрубні котли є основним типом стаціонарних котельних установок будь-якої потужності.

Щоб запобігти перегріванню стінок котла, треба від поверхонь нагрівання котла інтенсивно відводити теплоту. Теплоту відводять вода і пароводяна суміш, що безперервно рухається вздовж поверхні нагрівання всередині труб котла. Цей рух називається циркуляцією. За системою циркуляції котли поділяють на котли з природною (за рахунок різниці в густинах холодної і нагрітої води) і примусовою циркуляцією (за допомогою циркуляційного насоса). Рухаючись по водопаровій системі КУ, вода випаровується не зразу, а за декілька прогонів (обернень) по системі. Відношення кількості води, яка проходить через контур циркуляції, за певний час до кількості, виробленої за той самий час, пари, називається **кратністю циркуляції** котельного апарату. Кратність циркуляції у трубних котлах коливається в межах 8...50.

Рівняння теплового балансу КА у розрахунку на 1 кг (m^3) палива виглядає як:

$$q_p = 100 - (\overline{q_1} + \overline{q_2} + \overline{q_3} + \overline{q_4} + \overline{q_5} + \overline{q_6}), \%$$

де: $\overline{q_1}$ – корисно використане тепло в КА;

$\overline{q_2}$ – втрати тепла з газами, що виходять в навколишнє середовище, (4,8...7,8%);

$\overline{q_3}$ – втрати тепла через хімічне недогорання палива (0,5...0,6%);

$\overline{q_4}$ – втрати тепла через механічне недогорання палива (1,5...1,8%);

$\overline{q_5}$ – втрати тепла в навколишнє середовище через стінки КА (1,5...1,7%);

$\overline{q_6}$ – втрати тепла зі шлаком, що виділяється (0...0,3%).

Тоді ККД (брутто) котельного агрегату:

$$\eta_{KA} = \frac{\overline{q_1}}{\overline{q_p}} = 100 - (\overline{q_2} + \overline{q_3} + \overline{q_4} + \overline{q_5} + \overline{q_6}), \%$$

Потужність котла визначається кількістю виробленої пари КУ за одиницю часу (паровидатність) D , т/год. Котельна установка характеризується за призначенням, тиском і температурою пари, типом і параметрами топки, за видом палива, а також коефіцієнтом корисної дії. Знаючи ці параметри, можна визначити годинну витрату натурального палива в топці котельного агрегату як:

$$B = \frac{D}{Q_{Hu}^P \eta_{КУ}} (i_{n.n.} - i_{ж.в.}), \frac{\text{кг(пал)}}{\text{год.}},$$

де D – паровидатність КУ, $\frac{\text{т(пару)}}{\text{год.}}$,

Q_{Hu}^P – нижча теплота згорання палива, (для твердого, рідкого палива) $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, (для газового палива) $\frac{\text{МДж}}{\text{Н м}^3}$.

$\eta_{КУ}$ – КПД (брутто) КУ (0,78...0,92),

$i_{п.п.}$ – ентальпія перегрітої пари, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$,

$i_{ж.в.}$ – ентальпія живильної (що подається в котел) води, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Для порівняння можливостей КУ, які працюють на різних паливах, часто користуються поняттям умовного палива, для якого нижча теплота згорання складає $29,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, $\frac{\text{МДж}}{\text{Н м}^3}$. Тоді витрата умовного палива:

$$B_{ум} = B_{нат} \frac{Q_{Hu_{нат}}}{Q_{Hu_{ум}}}, \frac{кг(пал)}{год.}, \frac{H \cdot м^3(пал)}{год.}.$$

Енергетичним паливом називається такі горючі речовини, які економічно доцільні при їх згоранні в технічних пристроях для отримання теплоти в необхідній кількості. Горючі складові твердого і рідкого палив – вуглець C , водень H , кисень O , сірка S , азот N . Баластом в паливі є зола A і вологість W .

Рівняння складу робочої маси палива має вигляд:

$$C^P + H^P + S^P + O^P + N^P + A^P + W^P = 100\%.$$

Кількість теплоти, яка виділяється при згорянні 1 кг палива (твердого, рідкого) або 1 м³ (газу) називається **нижчою теплотою згорання палива**,

$$Q_{Hu}, \frac{МДж}{кг}, \frac{МДж}{м^3}, Q_{Hu}: \text{ для кам'яного вугілля } 22...32 \frac{МДж}{кг}, \text{ для дизпалива } 41,5...42 \frac{МДж}{кг}, \text{ для газоподібного палива } 32...37 \frac{МДж}{H \cdot м^3}.$$

З рівнянь згорання (реакцій окислення) вуглецю, водню, сірки (див. стор. 83-84) витікає, що для згорання 1 кг C^P необхідно $\frac{8}{3} = 2,67$ кг O_2 , для згорання 1 кг H^P необхідно 8 кг O_2 , для згорання 1 кг S^P необхідно 1 кг O_2 .

При розрахунку характеристик котельної установки, крім витрати палива в топці котельного агрегату, важливо знати кількість повітря, що надходить в топку КА, яка необхідна для повного згорання 1 кг (або м³) палива:

$$V_o = \alpha \frac{2,67C^P + 8H^P + S^P - O^P}{100 \cdot 0,23 \cdot 1,29}, \frac{м^3(пов)}{кг(пал)},$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря в топці КА;

C^P, H^P, S^P, O^P – відсоткові складові вуглецю, водню, сірки, кисню в складі твердого або рідкого палива.

При використанні газоподібного палива в топці КА необхідну кількість повітря (m^3) для згорання $1 m^3$ сухого газу можна визначити за формулою, яка приводиться на стор. 84.

Задача №1. Визначити годинну витрату натурального (фактичного) і умовного палива в топці котельної установки, яка працює на Донецькому вугіллі, що має нижчу теплоту згорання 22 МДж/кг . Потужність котельного агрегату складає 10 т пари за годину, тиск і температура перегрітої пари відповідно $1,5 \text{ МПа}$ і 250°C . Температура живильної води 100°C , к.к.д. котельного агрегату 88%.

Рішення:

1. На $i - s$ діаграмі по параметрам перегрітої пари знаходимо ентальпію пари $i_{n.n.} = 2920 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (в точці перетину ліній заданих p, i, t).

Ентальпію живильної води знаходимо, як:

$$i_{ж.в.} = c_v t_{ж.в.} = 4,19 \cdot 100 = 419 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

2. Годинна витрата натурального палива:

$$B_{nat} = \frac{D(i_{n.n.} - i_{ж.в.})}{Q_{Hu} \eta_{КА}} = \frac{10 \cdot 10^3 (2920 - 419)}{22 \cdot 10^3 \cdot 0,88} = 1290 \frac{\text{кг(пал.)}}{\text{год.}}$$

3. Годинна витрата умовного палива:

$$B_{ум} = B_{nat} \frac{Q_{Hu_{nat}}}{Q_{Hu_{ум}}} = 1290 \frac{22}{29,3} = 977 \frac{\text{м}^3(\text{пал})}{\text{год.}}$$

Доповнення до задачі:

Визначити також річний запас натурального палива для даного КА.

$$B_{річне} = B_{nat} \cdot 24 \cdot 189 = 1290 \cdot 24 \cdot 189 = 5875 \text{ т},$$

де 24 – число годин в добі;

189 – тривалість опалювального сезону в добах (Харківська кліматична зона).

Задача №2. Визначити годинну витрату палива і повітря в топці котельної установки, яка працює на газі, що надходить з Середньої Азії і має

наступний склад: метану (CH_4) – 93,8 %; етану (C_2H_6) – 3,6 %; пропану (C_3H_8) – 0,7 %; бутану (C_4H_{10}) – 0,2 %; пентану (C_5H_{12}) – 0,4%; азоту (N_2) – 0,7%; вуглекислого газу (CO_2) – 0,6% і нижчу теплоту згорання $Q_{Hu} = 37,6 \frac{МДж}{H м^3}$.

Потужність КУ складає 20 т пари за годину, тиск і температура перегрітої пари 1,5 МПа і 250 °С, температура живильної води 100 °С, к.к.д. котельного агрегату 88 %, коефіцієнт надлишку повітря в топці котельної установки $\alpha=1,15$.

Рішення:

1. Годинна витрата газу в топці котельної установки (див. задачу 1).

$$B_{nat} = \frac{D(i_{n.n.} - i_{ж.в.})}{Q_{Hu} \eta_{KA}} = \frac{20 \cdot 10^3 (2920 - 419)}{37,6 \cdot 10^3 \cdot 0,88} = 1515 \frac{H м^3 (нал.)}{год.}$$

2. Теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 $м^3$ газу.

$$\begin{aligned} V_{nt} &= 0,0478 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] = \\ &= 0,0478 \left[0 + 0 + 0 + 2 \cdot 93,8 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) 3,6 + \left(3 + \frac{8}{4} \right) 0,7 + \left(4 + \frac{10}{4} \right) 0,2 + \left(5 + \frac{12}{4} \right) 0,4 - 0 \right] \\ &= 9,85 \frac{м^3 (нов.)}{H м^3 (газ)} \end{aligned}$$

3. Дійсна витрата повітря для повного згорання 1 $м^3$ газу в топці КУ:

$$V_n = V_{nt} \alpha_T = 9,85 \cdot 1,15 = 11,35 \frac{м^3 (нов.)}{H м^3 (газ)}.$$

4. Годинна витрата повітря в топці КУ.

$$V = V_n B_{nat} = 11,35 \cdot 1515 = 17150 \frac{м^3 (нов.)}{год.}$$

Задачі для самостійного рішення.

Задача №1. Для умов задачі №1 (в класі) визначити годинні витрати натурального палива і повітря в топці КУ при переводі її роботи на мазут, для якого робочий склад становить: $W^p=3\%$; $A^p=0,1\%$; $S=0,3\%$; $C^p=84,6\%$;

$H^P = 11,7\%$; $O^P = 0,3$, а нижча теплота згоряння $Q_{Hu} = 40,3 \frac{МДж}{кг}$. Коефіцієнт надлишку повітря в топці $\alpha = 1,15$.

Відповідь: $B_{нат} = 710 \frac{кг(нал)}{год}$, $V_{n.год} = 8650 \frac{м^3(нал)}{год}$.

Контрольні питання.

1. Яке призначення котельних установок?
2. Перелічити основні елементи, з яких складається сучасна КУ, та їх призначення.
3. Які існують способи згоряння палива в топках КА?
4. Класифікація КУ.
5. За якими напрямками розподіляється теплота, отримана в топці КА?
6. Що розуміють під ККД бруто котельного агрегату? Його величина для сучасних КУ.
7. Яке призначення пароперегрівача, економайзера, повітрянагрівача в КУ?

Тема 4. Двигуни внутрішнього згорання.

1. Середній індикаторний тиск і індикаторна потужність ДВЗ.
2. Середній ефективний тиск і ефективна потужність ДВЗ.
3. Годинна і питома ефективна витрати палива в ДВЗ.
4. Визначення (оцінка) характеристик ДВЗ.

В двигуні внутрішнього згорання гарячі гази в циліндрі, маючи високий тиск і температуру, тиснуть на днище поршня і тим самим виконують визначену (індикаторну) роботу, яка в вигляді крутного моменту передається на вал двигуна.

Так що середнім індикаторним тиском p_i називають такий умовний постійний тиск, який, діючи на поршень протягом одного робочого ходу (такт розширення), здійснює роботу, рівну індикаторній роботі - L_i газів у циліндрі за весь робочий цикл:

$$p_i = \frac{L_i}{V_n}, \text{ МПа},$$

де V_n – робочий об'єм циліндра, л.

Середній індикаторний тиск в 4-х тактних ДВЗ – 0,7 ... 1,2 МПа.

Індикаторною потужністю ДВЗ називають роботу, яку здійснюють гарячі гази в циліндрі двигуна за одиницю часу – секунду.

$$N_i = p_i V_n i \frac{n}{30\tau}, \text{ кВт},$$

де: p_i – середній індикаторний тиск, кПа;

V_n – робочий об'єм циліндра, л;

n – частота обертання колінчастого валу за хвилину, об/хв.;

τ – тактність двигуна (4 для 4х – тактних ДВЗ, 2 для 2х – тактних двигунів.)

i – число циліндрів.

Фактично робота, яка знімається з валу двигуна L_e , менше індикаторної роботи L_i на величину роботи L_m , яка витрачається на переборювання

механічних втрат: тертя між поверхнями деталей двигуна, приведення в дію агрегатів двигуна (ГРМ, водяний, масляний, паливні насоси і ін.) Очевидно, що і, так званий, середній ефективний тиск в циклі двигуна буде менше середнього індикаторного тиску на величину середнього тиску механічних втрат p_M , т.б. $p_e = p_i - p_M$, МПа.

Якщо ввести поняття механічного к.к.д.:

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i},$$

то середній ефективний тиск в циклі можна представити як:

$$p_e = p_i \eta_M, \text{ МПа},$$

а ефективну роботу циклу як:

$$L_E = p_e V_n, \text{ кДж/цикл.}$$

Тоді ефективну потужність двигуна можна виразити як:

$$N_E = p_e V_n i \frac{n}{30\tau}, \text{ кВт.}$$

Економічність роботи двигуна в цілому визначається його ефективним к.к.д., або питомою витратою палива Ge , $\frac{\text{кг(палива)}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

Питомою витратою палива Ge є відношення годинної витрати палива G_T , кг/год., до ефективної потужності двигуна: $Ge = \frac{G_T}{N_E}, \frac{\text{кг(палива)}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}$.

Ефективний к.к.д., яким оцінюється ступінь використання теплоти палива з урахуванням всіх видів втрат (як теплових так і механічних) визначається як:

$$\eta_E = \eta_i \cdot \eta_M$$

Оцінити характеристики ДВЗ (потужність і економічність) можна, якщо будуть відомі (по статистичним даним):

- робота теоретичного циклу двигуна ℓ_o , кДж/кг ($\ell_o = 550 \dots 650$ кДж/кг – для карбюраторних двигунів, $\ell_o = 850 \dots 950$ кДж/кг – для дизельних двигунів);

- кількість підведеної до робочого тіла (газів) теплоти q_1 , $\kappa\text{Дж}/\text{кг}$ ($q_1 = 1000 \dots 1500 \kappa\text{Дж}/\text{кг}$ – для карбюраторних двигунів, $q_1 = 1250 \dots 1500 \kappa\text{Дж}/\text{кг}$ – для дизельних двигунів);

- а також: характеристики циліндро-поршневої групи (D – діаметр циліндра, S – хід поршня, z – кількість циліндрів);

- втрати теплової та механічної енергії в двигуні Π , % ($\Pi = 37 \dots 42\%$ – для карбюраторних двигунів, $\Pi = 32 \dots 37\%$ – для дизельних двигунів);

- коефіцієнт повноти згоряння палива в циліндрах двигуна $\xi = 0,82 \dots 0,87$;

- нижча теплота згоряння палива H_u , $\text{МДж}/\text{кг}$ ($H_u = 44 \text{ МДж}/\text{кг}$ – для бензинів, $H_u = 42 \text{ МДж}/\text{кг}$ – дизпалива).

А далі визначають:

1. Робочий об'єм циліндрів двигуна (літраж):

$$V_{\text{об}} = \frac{\pi D^2}{4} S z, \text{ м}^3 (\text{літр}).$$

2. Маса робочого тіла, яке потрапляє в циліндри двигуна:

$$m = \frac{V_{\text{об}} 10^{-3}}{\nu_1} \eta_{\text{ин}}, \text{ кг} (\text{грам}),$$

де ν_1 – питомий об'єм робочого тіла, яке потрапило в циліндр двигуна (перед початком процесу стискання, т.1) $\nu_1 = 0,9 \dots 1,0 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$\eta_{\text{ин}}$ – коефіцієнт, який враховує інерційність паливно-повітряної суміші, що потрапляє в циліндр двигуна ($\eta_{\text{ин}} = 2,4 \dots 2,7$ – для карбюраторних двигунів, $\eta_{\text{ин}} = 1,2 \dots 1,4$ – для дизельних двигунів).

3. Робота двигуна за один цикл:

$$L_o = m \ell_o, \kappa\text{Дж}/\text{цикл}.$$

4. Кількість циклів, які здійснює двигун за 1 сек.:

$$i = \frac{2n}{60\tau}, \frac{1}{\text{с}},$$

де τ – тактність двигуна.

5. Теоретична робота двигуна за 1 сек. (теоретична потужність):

$$L_t = N_t = L_o i, \text{ кДж/с, кВт.}$$

6. Ефективна робота двигуна за 1 сек. (ефективна потужність):

$$L_E = N_E = L_t \left(1 - \frac{\Pi}{100} \right), \frac{\text{кДж}}{\text{с}}, \text{ кВт.}$$

7. Година витрата палива в двигуні:

$$G_T = \frac{3600 q_1 m i}{\Pi \eta \xi}, \frac{\text{кг(палива)}}{\text{год.}},$$

де q_1 – теплота, підведена до робочого тіла в циклі,

ξ – коефіцієнт повноти згоряння палива в двигуні.

8. Питома ефективна витрата палива (економічність двигуна):

$$G_E = \frac{G_T}{N_E}, \frac{\text{кг(палива)}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}, \frac{\text{грам(палива)}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}.$$

Потужність двигуна можна також оцінити по, так званій, літровій потужності двигуна ($N_l = 25 \dots 40 \text{ кВт/л}$ – для карбюраторних двигунів, $N_l = 10 \dots 25 \text{ кВт/л}$ – для дизельних двигунів).

$$N_e = N_l V_{\text{об.}}, \text{ кВт}$$

При цьому питома ефективна витрата палива буде складати:

$$q_e = 285 \dots 355 \frac{\text{грам(палива)}}{\text{кВт}} \text{ – для карбюраторних двигунів,}$$

$$q_e = 235 \dots 270 \frac{\text{грам(палива)}}{\text{кВт}} \text{ – для дизельних двигунів.}$$

Задача №1. Визначити ефективну потужність і питому витрату палива 8-циліндрового 4^x – тактного дизельного двигуна, якщо середній індикаторний тиск $p_i = 0,75 \text{ МПа}$, ступінь стиску $\varepsilon = 16,5$, об'єм камери згоряння $V_3 = 0,12 \text{ л}$, частота обертання колінчастого валу $n = 2100 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$,

механічний ККД $\eta_m = 0,8$ і годинна витрата палива $G_T = 37 \frac{\text{кг(пал)}}{\text{год.}}$.

Рішення:

1. Середній ефективний тиск: $p_e = p_i \eta_m = 0,75 \cdot 0,8 = 0,6 \text{ МПа}$.

2. Робочий об'єм циліндра: $V_h = (\varepsilon - 1) V_3 = (16,5 - 1) \cdot 0,12 = 1,86 \text{ л}$.

3. Ефективна потужність двигуна:

$$N_E = p_e V_n i \frac{n}{30 \tau} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \frac{2100}{30 \cdot 4} = 156 \text{ кВт}.$$

4. Питома ефективна витрата палива:

$$G_E = \frac{G_T}{N_E} = \frac{37}{156} = 0,237 \frac{\text{кг(пал)}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} = 237 \frac{\text{грам(пал)}}{\text{кг} \cdot \text{год}}.$$

Задача №2. Визначити економію палива в $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$, яку дає заміна

карбюраторного двигуна дизелем при їх однаковій потужності 100 кВт, якщо ККД карбюраторного двигуна 28%, а дизеля 36%. Нижча теплота згоряння бензину $43500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, а дизпалива $42500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Рішення:

1. Годинна витрата палива карбюраторного двигуна:

$$G_{T \text{ карб}} \frac{3600 N_e}{\eta_e Q_{Hu}} = \frac{3600 \cdot 100}{0,28 \cdot 43500} = 29,5 \frac{\text{кг(палива)}}{\text{год}}.$$

2. Годинна витрата палива дизельного двигуна:

$$G_{T \text{ диз}} \frac{3600 N_e}{\eta_e Q_{Hu}} = \frac{3600 \cdot 100}{0,36 \cdot 42500} = 23,5 \frac{\text{кг(палива)}}{\text{год}}.$$

3. Економія палива: $\Delta G_T = G_{T \text{ карб}} - G_{T \text{ диз}} = 29,5 - 23,5 = 6 \frac{\text{кг(пал)}}{\text{год}}$.

Задача №3. Визначити діаметр циліндра і хід поршня 4^x – тактного ДВЗ, якщо його ефективна потужність дорівнює 52,5 кВт, середній індикаторний тиск 0,65 МПа, частота обертання колінчастого валу $2100 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$, механічний ККД – 0,81, кількість циліндрів – 4, відношення ходу поршня до діаметра циліндра – 1,05. Визначити також економічність двигуна, якщо годинна витрата палива складає $16,5 \frac{\text{кг(пал)}}{\text{год}}$.

Рішення:

1. Індикаторна потужність двигуна:

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_m} = \frac{52,5}{0,81} = 64,8 \text{ кВт}.$$

2. Робочий об'єм циліндра двигуна з формули: $N_i = p_i V_n i \frac{n}{30 \tau}$,

$$\text{визначаємо } V_h = \frac{N_i}{p_i \frac{n}{30 \tau} i} = \frac{64,8 \cdot 10^3}{0,65 \cdot 10^6 \frac{2100}{30 \cdot 4}} = 0,001425 \text{ м}^3 = 1,425 \text{ л}.$$

3. В зв'язку з тим, що:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S, \text{ а } \frac{S}{D} = 1,05 \text{ маємо } V_h = \frac{\pi 1,05 D^3}{4}.$$

$$\text{Звідки } D = \sqrt[3]{\frac{4 V_n}{\pi 1,05}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,425}{3,14 \cdot 1,05}} = 1,2 \text{ дм} = 120 \text{ мм}.$$

4. Хід поршня: $S = 1,05 D = 1,05 \cdot 120 = 126 \text{ мм}.$

5. Питома витрата палива:

$$G_e = \frac{G_T}{N_e} = \frac{16,5}{52,5} = 0,314 \frac{\text{кг(пал)}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Задача №4. Оцінити основні характеристики дизельного ДВЗ (потужність і економічність), якщо відомі:

$D = 110 \text{ мм}$ – діаметр циліндра;

$S = 125 \text{ мм}$ – хід поршня;

$z = 4$ – число циліндрів у двигуні;

$n = 2200 \text{ об/хв.}$ – частота обертання валу двигуна;

$\tau = 4$ – тактність двигуна;

$\Pi = 36 \%$ – втрати теоретичної роботи циклу;

$\xi = 0,83$ – коефіцієнт повноти згорання палива в двигуні;

$H_u = 43,0 \text{ МДж/кг}$ – нижча теплота згорання палива.

Рішення:

1. Оцінюємо роботу теоретичного циклу.

Для дизельних двигунів $\ell_o = 850 \dots 950 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$. Приймаємо $\ell_o = 900 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$.

2. Оцінюємо кількість підведеної до газів теплоти. Для дизельних двигунів $q_1=1250\dots1500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Приймаємо $q_1=1400 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

3. Визначаємо літраж двигуна:

$$V_{\text{об}} = \frac{\pi D^2}{4} S_z = \frac{3,14 \cdot 0,11^2}{4} 0,125 \cdot 4 = 4,75 \text{ л.}$$

4. Маса робочого тіла, яка потрапляє в циліндри двигуна:

$$m = \frac{V_{\text{об}} \cdot 10^{-3}}{v_1} \eta_{\text{ин}} = \frac{4,75 \cdot 10^{-3}}{0,95} 1,3 = 0,0065 \text{ кг} = 6,5 \text{ гр.}$$

Тут v_1 – питомий об'єм робочого тіла (повітря), яке потрапило в циліндри двигуна. Зазвичай $v_1=0,9\dots1,0 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$. Приймаємо $v_1=0,95 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$;

$\eta_{\text{ин}}$ – коефіцієнт інерційності робочого тіла, що потрапляє в циліндри двигуна. Для дизельних ДВЗ $\eta_{\text{ин}} = 1,2\dots1,4$. Приймаємо $\eta_{\text{ин}}=1,3$.

5. Робота двигуна за один цикл:

$$L_o = \ell_o \cdot m = 900 \cdot 0,0065 = 5,85 \text{ кДж.}$$

6. Кількість циклів, які здійснює двигун за 1 секунду:

$$i = \frac{2n}{60 \tau} = \frac{2 \cdot 2200}{60 \cdot 4} = 18,3 \frac{1}{\text{с}}.$$

7. Теоретична робота двигуна за 1 секунду (теоретична потужність):

$$L_t = N_t = L_o \cdot i = 5,85 \cdot 18,30 = 107 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}, \text{ кВт.}$$

8. Ефективна робота двигуна за 1 секунду (ефективна потужність):

$$L_e = N_e = L_t \left(1 - \frac{\Pi}{100} \right) = 107 \left(1 - \frac{36}{100} \right) = 68,5 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}, \text{ кВт}$$

9. Годинна витрата палива в двигуні:

$$G_T = \frac{3600 q_1 m i}{H_u \zeta} = \frac{3600 \cdot 1400 \cdot 0,0065 \cdot 18,3}{43 \cdot 10^3 \cdot 0,83} = 16,9 \frac{\text{кг(пал.)}}{\text{год.}};$$

10. Питома ефективна витрата палива (економічність двигуна):

$$G_e = \frac{G_T}{N_e} = \frac{16,9}{68,5} = 0,246 \frac{\text{кг(пал)}}{\text{год.}} = 246 \frac{\text{г(пал)}}{\text{год.}}.$$

Задачі для самостійного рішення.

Задача №1. Визначити максимальний тиск і температуру газів в циліндрі дизельного двигуна, якщо відомі:

$p_1=0,09$ МПа - тиск навколишнього середовища;

$t_1=27$ °С – температура навколишнього середовища;

$\varepsilon=16$ – ступінь стиску р.т. в двигуні;

$\lambda=1,7$ – ступінь підвищення тиску р.т. в процесі підведення теплоти;

$\rho=1,6$ -ступінь попереднього розширення р.т.

Відповідь: $p_3=7,43$ МПа, $T_3=2472$ К.

Контрольні питання.

1. Який принцип роботи чотиритактного та двотактного двигунів внутрішнього згоряння?
2. В чому полягає різниця між теоретичним і дійсним циклом ДВЗ?
3. Що розуміють під ступенем стискання в ДВЗ?
4. Що уявляють собою двигуни з зовнішнім та з внутрішнім сумішоутворенням?
5. Основні складові теплового балансу ДВЗ?
6. Які параметри визначають ефективну потужність ДВЗ?
7. Які існують способи підвищення потужності поршневих ДВЗ?
8. Яким параметром оцінюється економічність ДВЗ?

Тема 5. Палива, які використовуються в теплоенергетичних установках.

- 1. Поняття про енергетичне паливо, його класифікацію і вимоги до нього.**
- 2. Робочий склад палива і його теплота згоряння. Умовне паливо. Тепловий еквівалент палива.**
- 3. Суть процесу горіння палива.**
- 4. Визначення необхідної кількості повітря для повного згоряння палива.**

Енергетичним паливом називаються такі горючі речовини, які економічно доцільні при їх спалюванні в технічних пристроях для одержання теплоти в потрібних кількостях.

Вимоги до палива:

1. виділення при згорянні достатньо великої кількості теплоти;
2. відсутність в продуктах згоряння речовин, які згубно діють на навколишній рослинний і тваринний світ (і на людей);
3. достатня наявність в природі або можливість одержання в великих кількостях при переробці других речовин;
4. економічна доцільність при добуванні і транспортуванні до місць споживання;
5. відносно легке займання (низька температура займання (600-800 °C)).

За походженням паливо розподіляється на природне, яке добувається із надр землі, і штучне, що одержується шляхом переробки природного палива. По фізичному стану воно може бути твердим, рідким, газоподібним. Горючі складові твердого і рідкого палива – вуглець C , водень H , кисень O , сірка органічна S_{op} і сірка колчеданна S_k , які створюють с киснем O і азотом N складні хімічні сполуки.

Газоподібне паливо (як тверде і рідке) представляє собою суміш різних компонентів і поділяється на природне і штучне. Штучне одержують при переробці нафти і природнього твердого палива (коксівий, мазутний,

генераторний газ), а також в якості побічного продукту, наприклад, в доменному процесі (доменний газ). Головними складовими горючої частини твердого і рідкого палива являється вуглець (85-90%) і водень (10-15%), а газоподібного – метан (до 96%).

Склад палива, яке подається в топку, називається робочим і виражається в %, віднесених до 1 кг палива. Рівняння складу робочої маси твердого і рідкого палива виглядає як:

$$C^p + H^p + S_{op}^p + S_k^p + O^p + A^p + N^p + W^p = 100\%$$

Склад газоподібного палива виражають також у % по об'єму різних газів, які входять до нього, а розрахунки відносять до 1 м³ при нормальних фізичних умовах ($p=760$ мм.рт.ст. і $t=0^\circ\text{C}$). До складу газоподібного палива входять метан (CH_4), етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}) та інші вуглеводні, а також вуглекислий газ (CO_2) і азот N . Останні два є внутрішнім балансом палива.

Для комунально-побутових цілей і в якості палива для автомобілів використовують зріджені газы, які складаються в основному з легкоконсенсаційних при стисканні вуглеводнів – пропану і бутану.

Кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кг твердого, рідкого чи 1 м³ газоподібного палива при нормальних фізичних умовах називається **теплотою згорання палива** Q_{Hu} , ($\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$); ($\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$). Розрізняють нижчу і вищу теплоту згорання палива. Нижча враховує витрати теплоти на випарювання води, яка утворюється при згорянні палива (водню), а також води, яка міститься в ньому.

Наприклад, питома (віднесена до 1 кг або 1 м³) нижча теплота згорання кам'яного вугілля – $22...32 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, мазуту – $39...42 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, бензину – $43...44$

$$\frac{МДж}{кг}, \text{ дизельного палива} - 41...42 \frac{МДж}{кг}, \text{ газоподібного палива} - 32...37 \frac{МДж}{кг}.$$

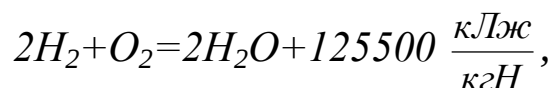
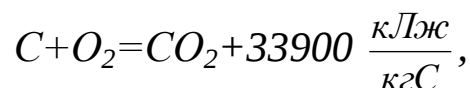
Через те, що теплота згоряння різних палив різна, то для порівняння їхньої теплової дії вводиться поняття «**умовне паливо**». Умовним прийнято вважати паливо, для якого нижча теплота згоряння дорівнює $29,3 \frac{МДж}{кг}$ для твердого і рідкого палива і $29,3 \frac{МДж}{м^3}$ для газоподібного.

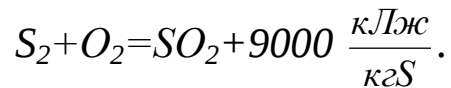
Для перерахування будь-якого конкретного палива в умовне необхідно нижчу теплоту згоряння даного палива розділити на $29,3 \frac{МДж}{кг}$ або $29,3 \frac{МДж}{м^3}$ і одержане число (тепловий еквівалент даного палива ε_n) помножити на масу даного конкретного натурального палива, тобто

$$B_{ум} = \frac{Q_{Hi\text{ конкр}}}{29300} B_{конкр} = \varepsilon_n B_{конкр}, кг$$

Наприклад, тепловий еквівалент донецького вугілля – 0,9, мазуту – 1,43, природного газу – 1,2, зріджений пропан – 3,1, зріджений бутан – 4,1.

Горіння палива – це окислення його горючих компонентів киснем з виділенням значної кількості теплоти. Розрізняють повне і неповне горіння палива. При повному горінні горючі компоненти палива окислюються киснем до тих пір, поки всі складові продуктів згоряння виявляються не здатними горіти далі. Повне згоряння вуглецю, водню і сірки може бути описане наступними рівняннями реакцій:





З цих рівнянь реакцій окислення C , H , S видно, що:

а) на кожні 12 кг C витрачається 32 кг O_2 .

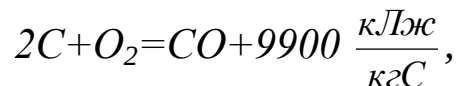
Отже, на окислення 1 кг C необхідно: $\frac{32}{12} = \frac{8}{3} = 2,67$ кг O_2 ;

б) на окислення 4 кг H_2 необхідно 32 кг O_2 . Отже, на окислення 1 кг H_2 необхідно 8 кг O_2 ;

в) на окислення 32 кг S необхідно 32 кг O_2 . Отже на окислення 1 кг S необхідно 1 кг O_2 .

При неповному згорянні залишаються продукти, які здатні при наявності кисню горіти і далі з виділенням теплоти.

Наприклад, при неповному згорянні вуглецю:



тобто, виділення теплоти виявляється в 3,75 рази меншим, чим при повному згоранні вуглецю. Таким чином, завжди треба добиватись того, щоб згорання палива в топках, циліндрах було повним. Для цього необхідно підводити до палива таку кількість кисню (повітря), щоб його було достатньо для повного згорання (окислення) горючих компонентів палива. Відношення дійсної кількості повітря V_d до теоретично необхідної для повного згорання палива V_t називається **коефіцієнтом надлишку повітря α** : $\alpha = \frac{V_d}{V_t}$.

Орієнтовно можна приймати наступні значення α : для пиловидного і газоподібного палива $\alpha = 1,03 \dots 1,06$; для рідкого палива $\alpha = 1,15 \dots 1,25$; для твердого палива $\alpha = 1,3 \dots 1,6$.

Враховуючи те, що в топочну камеру котельного агрегату (камеру згорання в циліндрі двигуна) подається не кисень, а повітря, в якому знаходиться по масі 23% кисню, а густина повітря при нормальних фізичних

умовах становить $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, то теоретичний об'єм повітря для повного згоряння 1 кг твердого або рідкого палива буде дорівнювати:

$$V_t = \frac{2,67C^P + 8H^P + S^P - O^P}{100 \cdot 0,23 \cdot 1,29}, \frac{\text{м}^3(\text{пов})}{\text{кг}(\text{пал})},$$

де C^P, H^P, S^P, O^P - вміст компонентів палива в %.

Дійсна кількість повітря, що надходить в топку для згоряння 1 кг палива:

$$V_d = \alpha V_t, \frac{\text{м}^3(\text{пов})}{\text{кг}(\text{пал})}$$

Для газоподібного палива теоретично необхідна кількість повітря в м^3 для згоряння 1м^3 сухого газу визначається за формулою:

$$V_t = 0,0478 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum_{i=1}^z \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right], \frac{\text{м}^3(\text{пов})}{\text{н} \cdot \text{м}^3(\text{газ})}$$

де CO, H_2 і т.д. – вміст окремих газів в газоподібному паливі в % по об'єму. Символом $C_m H_n$ позначені вуглеводні, наприклад, C_2H_6 – етан, C_3H_8 – пропан.

Задача 1. В котельні за добу спалюється 240 т натурального палива з теплою згоряння $Q_{Hu}^P = 17200 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Визначити годинну витрату (в тонах) умовного палива.

Рішення.

1. Годинна витрата натурального палива: $B_{год.} = \frac{B_{доб.}}{24} = \frac{240}{24} = 10 \frac{\text{т}}{\text{год.}}$

2. Годинна витрата умовного палива:

$$B_{ум.} = \frac{Q_{Hu}^P \text{ нат.}}{Q_{Hu}^P \text{ ум.}} B_{нат.} = \frac{17200}{29300} 10 = 5,87 \frac{\text{т}}{\text{год.}}$$

Задача 2. Визначити теоретично необхідну і дійсну кількість повітря для згоряння 1 кг кам'яного вугілля, що має елементарний склад: $W^p=5\%$; $A^p=13,3\%$; $S^p=1,7\%$; $C^p=76,4\%$; $H^p=1,5\%$; $N^p=0,8\%$; $O^p=1,3\%$. Коефіцієнт надлишку повітря в топковій камері $\alpha=1,2$.

Рішення.

1. Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива:

$$V_t = \frac{0,01 \left(\frac{8}{3} C^p + 8 H^p + 1 S^p - O^p \right)}{0,23 \rho_{нов}} =$$

$$= \frac{0,01 \left(\frac{8}{3} \cdot 76,4 + 8 \cdot 1,5 + 1 \cdot 1,7 - 1,3 \right)}{0,23 \cdot 1,29} = 7,3 \frac{\text{м}^3(\text{нов.})}{\text{кг}(\text{пал.})}$$

2. Дійсна кількість повітря, яка необхідна для повного згоряння 1 кг палива:

$$V_d = \alpha V_t = 1,2 \cdot 7,3 = 8,75 \frac{\text{м}^3(\text{нов.})}{\text{кг}(\text{пал.})}.$$

Задача 3. Визначити теоретичну і дійсну кількість повітря, яка необхідна для згоряння 1 н·м³ природного газу, що має склад: $CO_2 = 0,2\%$; $CH_4 = 97,9\%$; $C_2H_6 = 0,1\%$; $N_2 = 1,8\%$. Коефіцієнт надлишку повітря в камері згоряння $\alpha=1,1$.

Рішення.

1. Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 н·м³ газу:

$$V_t = 0,0478 \left[0,5 CO + 0,5 H_2 + 1,5 H_2 S + 2 CH_4 + \sum_{i=1}^z \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right] =$$

$$= 0,0478 \left[0 + 0 + 0 + 2 \cdot 97,9 + \left(2 + \frac{6}{4} \right) \cdot 0,1 - 0 \right] = 9,4 \frac{\text{м}^3(\text{нов.})}{\text{н} \cdot \text{м}^3(\text{газ})}.$$

2. Дійсна кількість повітря: $V_d = \alpha V_t = 1,1 \cdot 9,4 = 10,35 \frac{\text{м}^3(\text{нов.})}{\text{н} \cdot \text{м}^3(\text{газ})}.$

Задачі для самостійного рішення.

Задача №1. Визначити теоретичну кількість повітря, яка необхідна для згоряння палива, що має елементарний склад: $W^p=13\%$; $A^p=10,4\%$; $S^p=0,6\%$; $C^p=67,9\%$; $H^p=4,8\%$; $N^p=1,9\%$; $O^p=1,4\%$.

Відповідь: $7,28 \frac{m^3(пов)}{кг(пал)}$.

Задача №2. На складі електростанції створено запас бурого вугілля в кількості 25000 тон і антрациту в кількості 1500 тон. Визначити сумарний запас палива на складі в тонах умовного палива, якщо тепловий еквівалент бурого вугілля $\epsilon_{б.у}=0,38$, а антрациту $\epsilon=0,93$.

Відповідь: 10950 т.

Задача №3. Визначити теоретично необхідну кількість повітря для згоряння $1 \text{ н} \cdot \text{м}^3$ газу, якщо його елементарний склад: $CO_2=0,1\%$; $CH_4=97,9\%$; $C_2H_6=0,5\%$; $C_3H_8=0,2\%$; $C_4H_{10}=0,1\%$; $N_2=1,3\%$.

Відповідь: $9,5 \frac{m^3(пов)}{н \cdot m^3(газ)}$

Задача №4. На електростанції за рік витрачено $2 \cdot 10^5$ тон натурального палива з нижчою теплотою згоряння $Q_{ни}^p=16750 \text{ кДж/кг}$. Визначити річну витрату умовного палива на електростанції.

Відповідь: 114000т

Задача №5. Визначити теоретично необхідну кількість повітря для згоряння 1 кг бензину, який має елементарний склад: $C^p=85\%$; $H^p=15\%$.

Відповідь: $15 \frac{кг(пов)}{кг(пал)}$ або $11,65 \frac{m^3(пов)}{кг(пал)}$.

Контрольні питання.

1. Що називають паливом і як прийнято його класифікувати?
2. Які вимоги до палива?
3. Що розуміють під нижчою теплотою згоряння палива? Яка вона у палив для ДВЗ?
4. Що розуміють під «умовним» паливом?

5. Основні горючі компоненти палива, їх коротка характеристика.
6. В чому полягає сутність процесу горіння?
7. Що розуміють під теоретичною і дійсною кількістю повітря, яке необхідне для згоряння палива?
8. Що називають коефіцієнтом надлишку повітря в топці (циліндрі) та який він для різних палив?

Тема 6. Основні джерела теплоти в сільському господарстві.

1. **Головні джерела теплової енергії, яка використовується в сільському господарстві.**
2. **Водогрійні і парові котельні установки, водонагрівачі.**
3. **Теплогенератори і калорифери.**
4. **Опалювально-вентиляційні агрегати і газові опалювальні прилади.**

В сільському господарстві використовується енергія, яка виділяється при спалюванні твердого, рідкого і газоподібного палива, електрична енергія, а також енергія Сонця і глибинна теплота Землі (геотермальні води). Одержана теплота може бути передана споживачам при допомозі таких теплоносіїв як вода, водяна пара, повітря, димові гази.

До теплогенеруючих установок (ТГУ), які використовуються в сільському господарстві, відносяться: котельні установки (водогрійні і парові), теплогенератори, калорифери (пароводяні і електричні), опалювально-вентиляційні агрегати, водонагрівачі (ємнісні і проточні), опалювальні печі, газові опалювальні прилади.

Котельні установки (котли) – технічні пристрої призначені для одержання гарячої води або пари заданих параметрів.

Водогрійні котли характеризуються тепловою потужністю (kWt , MBt), тобто кількістю теплоти, яка виробляється в одиницю часу, і температурою гарячої води ($^{\circ}C$).

Парові котли характеризуються трьома основними параметрами: *паропроодуктивністю* – масою водяної пари, що одержується в котлі за годину ($kg/god.$, $t/god.$), манометричним тиском (kPa , MPa) і температурою пари ($^{\circ}C$).

Водогрійні котли підрозділяються на чавунні секційні, які гріють воду до $115^{\circ}C$ і сталеві зварні котли, які гріють воду до $150^{\circ}C$.

Водогрійні чавунні секційні котли за будовою схожі один на одного і відрізняються між собою тільки розмірами і конфігурацією секцій. За тепловою потужністю ці котли підрозділяють на три основні групи: малої (до 230 *кВт*) потужності (група КЧ-1), середньої (до 1300 *кВт*) потужності (група КЧ-2) і великої (до 1800 *кВт*) потужності (група КЧ-3).

Стальні зварні котли виготовляють з сталених труб, які зварені в пакети різних конфігурацій. Це котли типу ТВГ (теплофікаційні водогрійні), які працюють на газовому паливі. Їх теплова потужність може досягати від 5 *МВт* (котел ТВГ-4) до 9,5 *МВт* (котел ТВГ-8). Температура води на виході із цих котлів досягає 150 °С, а надлишковий тиск 13 *атм.* (1280 *кПа*).

Пар, який виробляється паровими котлами, використовується для запарювання кормів, пастеризації молока, обробки молочного посуду, опалення виробничих приміщень. До таких котлів (як найбільш поширених) відносяться котел марки КВ-300М (паропродуктивність 400 *кг/год.*, теплова потужність 300 *кВт*, температура пари 130 °С) і котел марки Д-721А (паропродуктивність 900 *кг/год.*, теплова потужність 670 *кВт*, температура води 115 °С). Ці котли працюють на рідкому паливі. Широке розповсюдження одержали котли типу ДКВР (двобарабанні, водотрубно, реконструйовані) – котли з паропродуктивністю 2,5 ... 10 *т/год.*, при надлишковому тиску пари 1275 *кПа* (≈ 13 *атм*) з температурою пари 195...250 °С. Вони можуть працювати на всіх видах палива (вугіллі, мазуті, газі).

Водонагрівачі. В системах місцевого опалення і гарячого водопостачання знаходять широке використання об'ємні газові водонагрівачі. Автоматичні газові водонагрівачі виготовляються в декількох модифікаціях: АГВ-50; АГВ-80; АГВ-120 ємністю відповідно 50, 80, 120 літрів. АГВ – уявляє собою циліндричний резервуар покритий теплоізоляцією і металевим кожухом. В середині резервуару проходить жарова труба. В нижній частині резервуару розміщена газова горілка з запальником. Теплова потужність АГВ від 4,9 до 10,5 *кВт*.

Теплогенератори – це технічні пристрої, які призначені для нагрівання потоку повітря за рахунок теплоти гарячих газів, одержаних при спалюванні рідкого палива (дизпалива). Теплогенератори часто використовуються в якості повітряного опалення і вентиляції теплиць, птахоферм, ремонтних майстерень, гаражів, а також сушіння різних сільськогосподарських культур (трави – способом активного вентилявання, зерна в сушарках), підсушування приміщень при внутрішніх будівельних роботах. Найбільше поширення одержали стаціонарні теплогенератори ТГ-75А, ТГ-150А, ТГ-1А, ТГ-2,5 і пересувні (на колесах) ТПП-400, ВТП-400. Ці теплогенератори повністю автоматизовані, компактні, відносно легкі, відповідають вимогам ергономіки і технічної естетики.

Калорифери – технічні пристрої, в яких повітря, яке подається вентилятором, проходить через теплообмінник, в якому нагрівається за рахунок теплоти гарячої води, водяної пари або електронагрівача. Пароводяний калорифер представляє собою два колектора з'єднаних між собою пакетом сталевих трубок, розміщених в декілька рядів в напрямку руху повітря. Калорифери середньої моделі (КФС) мають три ряди трубок, калорифери великої моделі (КФБ) – чотири ряди.

Калориферна установка, як правило, уявляє собою пакети з двох або чотирьох калориферів. Для нагрівання значних (великих) об'ємів повітря при відносно невеликих перепадах температур застосовують паралельну установку калориферів. Для нагрівання повітря до більш високих температур калорифери встановлюють послідовно. Калорифери всіх типів і моделей ділять на номери, які відрізняються площею поверхні нагрівання і приєднувальними розмірами.

Опалювально-вентиляційні агрегати. В системах повітряного опалювання з зосередженою подачею нагрітого повітря широке використання знаходять опалювально-вентиляційні агрегати. Вони працюють при повній або частковій рециркуляції повітря приміщення. Опалювально-вентиляційні агрегати містять в собі пароводяний калорифер, вентилятор з

електродвигуном і рухомі жалюзі для зміни напрямку повітряного потоку. Всі ці вузли знаходяться в загальному корпусі. На відміну від калориферів, що розміщуються в спеціальних приміщеннях будівлі і які подають нагріте повітря в розподіляючі канали, компактні опалювально-вентиляційні агрегати встановлюють безпосередньо в будівлі, що опалюється на кронштейнах (забитих в стінку) або на фундаментах. Для роботи цих агрегатів необхідно забезпечити в них подачу водяної пари з температурою до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ або гарячої води з температурою $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Теплова потужність цих агрегатів складає від 58 до 233 кВт (при нагріванні повітря паром) і $35 \dots 163\text{ кВт}$ при нагріванні водою).

Газові опалювальні прилади. До їх числа входить добре розповсюджений прилад «Огонек», який призначений для опалювання приміщень площею до 120 м^2 . Його теплова потужність $1,8\text{ кВт}$, температура нагрітого повітря $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, розміри $744 \times 138 \times 600\text{ мм}$, маса 70 кг , к.к.д. до 80%. «Огонек» – це повітрянагрівач, який складається з теплообмінника і газової горілки, які закриваються сталевим кожухом. Горілка і газовий тракт приладу повністю ізолювані від повітря приміщення. Робота приладу повністю автоматизована в залежності від температури приміщення. Досить рідко, але застосовується для опалення тваринницьких приміщень газові горілки інфрачервоного випромінювання (ГИИ). Це опалювальні прилади для безполум'яного спалювання газу. В цих горілках газоповітряна суміш проходить через блок керамічних плиток з великою кількістю отвір-каналів діаметром $0,8 \dots 1,6\text{ мм}$. В цих каналах суміш нагрівається до температури самозаймання і згоряє на самій поверхні блоку плиток, створюючи рівне коротко-факельне полум'я. Зовнішня поверхня цих плиток розігрівається до температури $800 \dots 900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Більша частина теплоти від плиток до повітря приміщення передається у вигляді променевої енергії інфрачервоного випромінювання. В горілках відбувається практично повне згоряння газу. Теплова потужність таких горілок складає $2,8 \dots 5,2\text{ кВт}$.

Вибір конкретних джерел теплоти – досить складна задача, яка залежить від багатьох чинників: типу приміщення, його призначення, виду тварин, що знаходяться в приміщенні, умов їх утримання, типу вентиляції приміщення, способом установки опалювально-вентиляційного обладнання, протипожежних вимог до нього, зручністю його ремонту і обслуговування і т. д.

Контрольні питання.

1. Які теплоносії використовуються в теплотехнічних установках, які знаходяться в сільському господарстві?
2. Які теплогенеруючі установки найшли застосування в сільськогосподарському виробництві?
3. На які характерні групи розподіляються водогрійні котли, якими параметрами характеризується їх робота?
4. На які групи (серії) підрозділяються парові котли, якими параметрами характеризується їх робота?
5. Що уявляють собою теплогенератори, якими параметрами характеризується їх робота?
6. Що уявляють собою калорифери, які «нагрівачі» в них використовуються, характеристичні моделі калориферів?
7. Що уявляють собою опалювально-вентиляційні агрегати?
8. Що уявляють собою ГИИ?

ТЕСТИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ.

1. Поставте у відповідність процесу умови його протікання:

- | | |
|------------------------|-------------------|
| А. Ізохорний процес | 1. $t = const$ |
| Б. Ізобарний процес | 2. $v = const$ |
| В. Ізотермічний процес | 3. $pv^k = const$ |
| Г. Адіабатичний процес | 4. $c_n = const$ |
| | 5. $p = const$ |

2. Поставити у відповідність до назви термодинамічного процесу рівняння процесу:

- | | |
|------------------------|---|
| А. Ізохорний процес | 1. $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k$ |
| Б. Ізобарний процес | 2. $pv^n = const$ |
| В. Ізотермічний процес | 3. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}$ |
| Г. Адіабатичний процес | 4. $\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$ |
| | 5. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$ |

3. Поставити у відповідність кількості роботи ℓ , що виконується в різних термодинамічних процесах:

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| А. Ізохорний процес | 1. $\ell = p(v_2 - v_1)$ |
| Б. Ізобарний процес | 2. $\ell = 0$ |
| В. Ізотермічний процес | 3. $\ell = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$ |
| Г. Адіабатичний процес | 4. $\ell = \int_1^2 v dp$ |
| | 5. $\ell = c_{Vm}(T_1 - T_2)$ |

4. Установіть відповідність між фізичними законами та їх математичними виразами:

- | | |
|-------------------------|--|
| А. Закон Бойля-Маріотта | 1. $P_{cm} = \sum_{i=1}^n P_i$ |
| Б. Закон Гей-Люсака | 2. $n p u T = const \rightarrow p v = const$ |
| В. Закон Шарля | 3. $n p u p = const \rightarrow V/T = const$ |
| Г. Закон Дальтона | 4. $n p u V = const \rightarrow p/T = const$ |
| | 5. $V_{cm} = \sum_{i=1}^n V_i$ |

5. Поставити у відповідність до назви термодинамічного процесу формулу для визначення теплоти:

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| А. Ізохорний процес | 1. $q = c_p(T_2 - T_1)$ |
| Б. Ізобарний процес | 2. $q = RT \ln \frac{p_1}{p_2}$ |
| В. Ізотермічний процес | 3. $q = c_v(T_2 - T_1)$ |
| Г. Адіабатичний процес | 4. $q = c_n(T_2 - T_1)$ |
| | 5. $q = 0$ |

6. Поставити у відповідність до назви термодинамічного процесу формулу для зміни ентропії:

- | | |
|------------------------|---|
| А. Ізохорний процес | 1. $\Delta s = R \ln \frac{p_1}{p_2}$ |
| Б. Ізобарний процес | 2. $\Delta s = 0$ |
| В. Ізотермічний процес | 3. $\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$ |
| Г. Адіабатичний процес | 4. $\Delta s = c_n \ln \frac{T_2}{T_1}$ |
| | 5. $\Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ |

7. Установіть відповідність між фізичними законами та їх математичними виразами:

- | | |
|---|--|
| А. Закон Віна | 1. $I_\lambda = \frac{dE}{d\lambda}$ |
| Б. Закон Кірхгофа | 2. $\lambda_m \times T = const$ |
| В. Закон Ламберта | 3. $\frac{E}{A} = E_0$ |
| Г. Спектральна інтенсивність випромінювання | 4. $E_\varphi = \frac{E}{\pi} \cos \varphi$ |
| | 5. $E_0 = C_0 \times \left(\frac{T}{100}\right)^4$ |

8. Установіть відповідність між термінами та їхнім значенням:

- | | |
|------------------------------------|--|
| А. Інтегральне випромінювання | 1. Випромінювання, яке властиве конкретній хвилі |
| Б. Селективне випромінювання | 2. Випромінювання, яке проходить в діапазоні хвиль від 0 до ∞ |
| В. Монохроматичне випромінювання | 3. Потік випромінювання, яке |
| Г. Щільність потоку випромінювання | |

приходиться на 1 м^2 випромінюючої поверхні

4. Випромінювання, яке проходить в діапазоні конкретних хвиль (полос)

5. Випромінювання, яке проходить в діапазоні хвиль від $-\infty$ до $+\infty$

9. Установіть відповідність між фізичними законами та їх математичними виразами:

А. Закон Фур'є

Б. Закон Ньютона-Ріхмана

В. Закон Стефана-Больцмана

Г. Формула Карно

1. $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

2. $q_F = -\lambda \times q_{\text{rad}}(t)$

3.

$Q = \alpha \times (t_f - t_w) \times F$

4. $E_0 = C_0 \times \left(\frac{T}{100}\right)^4$

5. $(p+a/v^2)(v-b)=RT.$

10. Поставити у відповідність числа подібності і їх математичний запис:

А. Число Нусельта

Б. Число Рейнольдса

В. Число Грасгофа

Г. Число Ейлера

1. $Eu = \frac{p}{\rho w^2}$

2. $Gr = \frac{g\beta\Delta T l^3}{\nu^2}$

3. $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$

4. $Re = \frac{wl}{\nu}$

5. $Ei = \frac{p}{\rho w^2}$

11. Установіть відповідність між термінами та їхнім значенням:

А. Вологомісткість повітря

Б. Абсолютна вологість повітря

В. Відносна вологість повітря

Г. Температура точки роси

1. Відношення маси водяних парів до об'єму вологого повітря

2. Відношення маси водяної пари у вологому повітрі до маси сухого повітря

3. Температура, при якій ненасичене вологе повітря внаслідок охолодження стає насиченим

4. Відношення фактичної абсолютної вологості до максимально можливої при даній температурі

5. Відношення парціального об'єму

водяних парів до об'єму вологого повітря

12. Поставити у відповідність функції і елементи котельного агрегату, що їх виконують:

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| А. Перегріває пару | 1. Повітропідігрівник |
| Б. Підігріває повітря | 2. Водяний економайзер |
| В. Перетворює воду в пару | 3. Пароперегрівник |
| Г. Підігріває воду | 4. Топка |
| | 5. Котел |

13. Поставте у відповідність до типу палива значення його нижчої теплоти згоряння Q_n^p , МДж/кг:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| А. Мазут | 1. 19 ... 27 |
| Б. Кам'яне вугілля | 2. 29,3 |
| В. Умовне паливо | 3. 39 ... 42 |
| Г. Газ природних родовищ | 4. 4 ... 8 |
| | 5. 33 ... 40 |

14. Відповідність типу палива окремим видам:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| А. Природне тверде | 1. Бензин |
| Б. Штучне рідке | 2. Природний газ |
| В. Природне газоподібне | 3. Кам'яне вугілля |
| Г. Штучне тверде | 4. Доменний газ |
| | 5. Кокс |

15. Поставте у відповідність до поверхні нагріву котельної установки температуру, °С продуктів згоряння на виході з неї:

- | | |
|---------------------------------|----------------------|
| А. Конвективний пароперегрівник | 1. 1300 °С...1400 °С |
| Б. Повітропідігрівник | 2. 800 °С...900 °С |
| В. Радіаційний пароперегрівник | 3. 500 °С...600 °С |
| Г. Топковий простір | 4. ≤ 160 °С |
| | 5. 1100 °С...1200 °С |

16. Розташуйте речовини в порядку зростання величини їхньої газової сталої R:

- А. Водень (H_2)
- Б. Кисень (O_2)
- В. Вуглекислий газ (CO_2)

Г. Азот (N_2)

17. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають прямий цикл Карно:

- А. Адіабатне розширення робочого тіла.
- Б. Ізотермічне підведення теплоти до робочого тіла.
- В. Ізотермічне відведення теплоти від робочого тіла.
- Г. Адіабатне стискання робочого тіла.

18. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл сучасного карбюраторного (інжекторного) двигуна:

- А. Адіабатне розширення робочого тіла.
- Б. Ізохорне підведення теплоти до робочого тіла.
- В. Ізохорне відведення теплоти від робочого тіла.
- Г. Адіабатне стискання робочого тіла.

19. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл Дизеля:

- А. Адіабатне розширення робочого тіла.
- Б. Ізобарне підведення теплоти до робочого тіла.
- В. Ізохорне відведення теплоти від робочого тіла.
- Г. Адіабатне стискання робочого тіла.

20. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл сучасного дизельного двигуна:

- А. Адіабатне розширення робочого тіла.
- Б. Ізохорне та ізобарне підведення теплоти до робочого тіла.
- В. Ізохорне відведення теплоти від робочого тіла.
- Г. Адіабатне стискання робочого тіла.

21. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл паросилової установки:

- А. Ізобарний процес одержання перегрітої пари (в області вологої насиченої пари він же є ізотермним).
- Б. Ізобарно – ізотермний процес конденсації пари в конденсаторі.
- В. Адіабатний процес розширення пари в паровій турбіні.
- Г. Ізохорний процес подачі води в котел живильним насосом.

22. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл холодильної установки:

- А. Ізоентальпійний.
- Б. Ізобарно – ізотермічне підведення теплоти.
- В. Ізобарно – ізотермічне відведення теплоти.
- Г. Адіабатний.

23. Вкажіть послідовність з'єднання основних вузлів компресійної холодильної установки:

- А. Конденсатор.
- Б. Дросель.
- В. Випаровувач.
- Г. Компресор.

24. Розташуйте види палива в порядку зростання їхньої теплоти згоряння (МДж/кг):

- А. Тріски деревинна
- Б. Дизельне пальне
- В. Гранули торф'яні
- Г. Кам'яне вугілля

25. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл газотурбінної установки:

- А. Адіабатне розширення робочого тіла.
- Б. Ізобарне підведення теплоти до робочого тіла.
- В. Ізобарне відведення теплоти від робочого тіла.
- Г. Адіабатне стискання робочого тіла.

26. Послідовність елементів паросилової установки в яких водяна пара перетворюється в роботу:

- А. Водяний насос.
- Б. Парова турбіна.
- В. Конденсатор.
- Г. Пароперегрівник.

27. Розташуйте речовини в порядку зростання їхньої температури кипіння:

- А. Фреон
- Б. Аміак
- В. Вода
- Г. Азот

28. Розташуйте речовини в порядку зростання їхнього коефіцієнта теплопровідності:

- А. Повітря
- Б. Залізо
- В. Вода
- Г. Мідь

29. Розташуйте речовини в порядку зростання їхньої питомої теплоти пароутворення:

- А. Водень
- Б. Етиловий спирт
- В. Вода
- Г. Азот

30. Вкажіть послідовність термодинамічних процесів, які складають цикл газотурбінної установки, що працює за циклом Стодола:

- А. Адіабатне розширення робочого тіла.
- Б. Ізохорне підведення теплоти до робочого тіла.
- В. Ізобарне відведення теплоти від робочого тіла.
- Г. Адіабатне стискання робочого тіла.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Миронов О.С., Брижа М.С., Бойко В.Б., Золотовська О.В. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну, використання тепла в сільському господарстві. Підручник. - Дніпропетровськ: ТОВ "ЕНЕМ", 2011. – 424 с.
2. Герасимов Г.Г. Теоретичні основи теплотехніки. Навч. посібник. - Рівне. НУВГП, 2011 -382 с.
3. Константінов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. – К.: «Золоті Ворота», 2012. – 592 с.
4. Гнатишин, Я. М. Теплотехніка: Навч. посіб. / Я.М. Гнатишин, В.І. Криштапович. — Київ : Знання, 2008. — 364с.
5. Дідур В. А. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві / В. А. Дідур, М. І. Стручаєв. – К. : Аграрна освіта, 2008. – 233 с.
6. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник. - Рівне: НУВГП, 2008.- 250 с.
7. Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В. (за ред. Б.Х. Драганова). Теплотехніка: Підручник. – 2-е вид., перероб. і доп. – Київ: Фірма «ІНК ОС», 2005. – 400 с.
9. Дідур В.А. та ін. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / В. А. Дідур., О.Д. Савченко, Д.П. Журавель, С.І. Мовчан. – К. : Аграрна освіта, 2008. – 577 с.
10. Дідур В.А. та ін. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод / В.А. Дідур., О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан. – Запоріжжя : Прем'єр, 2005. – 464 с.
11. Левицький, Б.Ф. Гідравліка. Загальний курс [Текст] / Б.Ф. Левицький, Н.П. Лещій. -Львів: Світ, 1994. - 264 с.
12. Гідравліка: Навчально-методичний комплекс. Навчально-методичний посібник / В.І. Дуганець, І.М. Бендера, В.А. Дідур та ін. / За ред. В.І Дуганця,

І М. Бендери, В.А. Дідура. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. – 572 с.

13. Боярчук В. М. Теплотехніка та використання теплоти: практикум / В. М. Боярчук, Я. В. Шолудько, В. П. Шолудько, І. М. Бендера. – Львів : Солом, 2010. – 232 с.

14. Константинов С.М. Збірник задач з технічної термодинаміки та теплообміну: Навч. посіб. / С.М. Константинов, Р.В. Луцик. – К.: Видавництво «Освіта України», 2009. – 543 с.

15. Дев'яткіна С.С. Альтернативні джерела енергії : Навч. посіб. / С. С. Дев'яткіна, Т. Ю. Шкварницька; Нац. авіац. ун-т. - К., 2006. - 92 с.

16. Сінчук І.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : навч. посіб. / І. О. Сінчук, С. М. Бойко, К. І. Лосіна, І. А. Луценко, Г. І. Ткаченко; ред.: О. М. Сінчук. - Кременчук : Щербатих О.В., 2013. - 192 с.

17. Сиротюк С.В. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру: Навч. посіб./ С.В. Сиротюк, В.М. Боярчук, В.П. Гальчак. - Львів: "Магнолія 2006", 2018. - 182 с.

18. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії: навч. посібник / М. Й. Олійник, В. Г. Лисяк, О. Б. Дудурич; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. М. С. Сегеди. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. - 184 с.

Сіренко Юлія Володимирівна

Науково-методичне забезпечення навчального процесу

***МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо виконання самостійної роботи***

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

Підписано до друку: листопад 2024 р. Формат А5 Гарнітура. Times New Roman.

Тираж: _____ примірників. Замовлення _____ Ум. друк. арк. 2,33
