

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до практичних занять  
**“Тверді, рідкі та газоподібні палива”**  
з дисципліни  
“Хімічні технології вуглецьвмісних речовин”  
для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія”  
денної та заочної форм навчання

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 1 від 25.02.2021 р.

Харків  
НТУ „ХПІ”  
2021

**Методичні вказівки** до практичних занять “Тверді, рідкі та газоподібні палива” з дисципліни “Хімічні технології вуглецьвмісних речовин” для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” денної та заочної форм навчання / Уклад.: Д.М. Дейнека, В.В. Казаков, О.В. Кобзєв, Є.О. Михайлова – Харків : НТУ “ХП”, 2021. – 28 с.

Укладачі: Д.М. Дейнека  
В.В. Казаков  
О.В. Кобзєв  
Є.О. Михайлова

Рецензент В.І. Булавін

Кафедра хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології

## ВСТУП

Для отримання широкого асортименту більшості продуктів хімічної промисловості використовується водень. Його можна отримувати практично з будь-якої вуглеводневої сировини: природного газу; попутних газів нафтодобування; газів переробки нафти; нафти та її похідних – бензинів, мазутів, гудрону тощо; із кам'яного та бурого вугілля, сланців, торфу і бітумінозних пісків, а також із води. Але не кожен хімічний процес, який відбувається з утворенням водню, може бути покладено в основу його промислового отримання. Економічність промислового методу визначається застосуванням доступної і дешевої сировини, можливістю її переробки з високим виходом продукту потрібної якості та безвідходністю.

Аналіз та оцінка можливості використання альтернативних за відношенням до природного газу джерел, придатних для промислового отримання водню, и так названих синтез-газів (сумішей водню та СО) є однією із головних задач, що стоїть перед сучасною хімічною промисловістю.

Вирішення цієї задачі потребує знання наукових та технічних основ процесів газифікації твердого палива, переробки нафти та її продуктів, функціонування сучасних газогенераторів та нафтопереробних установок.

Курс «Хімічні технології вуглецьвмісних речовин» посідає важливе місце в професійній підготовці студентів за спеціальністю «Хімічні технології та інженерія», та базується на загальнотеоретичних, загальнотехнічних і спеціальних дисциплінах, що вивчаються студентами у технічному вищому навчальному закладі. Основним завданням цього курсу є формування у майбутніх спеціалістів знань і умінь у галузі газифікації твердого палива та переробки нафти та її продуктів з метою отримання водню або синтез газу.

У методичних вказівках наведено приклади розв'язання задач з визначення складу та характеристик палива, об'єму та складу продуктів його згорання та їх ентальпій. Вони призначені для використання на практичних заняттях з курсу «Хімічні технології вуглецьвмісних речовин». Їх головною метою є поглиблення і засвоєння студентами теоретичних знань, набутих у лекційному курсі, а також оволодіння методами розрахунків у процесах газифікації твердого палива.

## 1. СКЛАД ПАЛИВА

Тверді і рідкі палива складаються з горючих (вуглецю – С, водню – Н, летючої сірки –  $(S_l = S_{op} + S_n)$ ), негорючих елементів (азоту – N та кисню – O) і баласту (золи – А, вологи – W).

Газоподібні палива складаються з горючих (CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) і негорючих (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) газів і невеликої кількості водяної пари (H<sub>2</sub>O).

При вивченні характеристик твердих і рідких палив та їх складу розрізняють робочу, горючу і суху масу. Склади робочої, горючої і сухої мас позначаються відповідно індексами «р», «г», «с» і описуються наступними рівняннями

$$C^p + H^p + S_{\text{л}}^p + N^p + O^p + A^p + W^p = 100\%, \quad (1.1)$$

$$C^g + H^g + S_{\text{л}}^g + N^g + O^g = 100\%, \quad (1.2)$$

$$C^c + H^c + S_{\text{л}}^c + N^c + O^c + A^c = 100\%. \quad (1.3)$$

У формулах (1.1), (1.2), (1.3) вміст елементів виражено у відсотках на 1 кг палива.

Для сланців складу ( $C^p, H^p, S_{\text{л}}^p, N^p, O^p, A^p, W^p$ ), перерахунок з робочої маси на горючу здійснюється за допомогою коефіцієнта

$$K = 100 / [100 - A_{\text{н}}^p - W^p - (\text{CO}_2)_{\text{к}}^p], \quad (1.4)$$

де  $A_{\text{н}}^p$  – істинна зольність робочої маси, % ;

$W^p$  – вологість робочої маси, %;

$(\text{CO}_2)_{\text{к}}^p$  – вміст вуглекислоти карбонатів, %.

Істинна зольність робочої маси визначається за формулою

$$A_{\text{н}}^p = A^p - \left[ 2,5 \cdot (S_{\text{а}}^c - S_{\text{с}}^c) + 0,375 \cdot S_{\text{к}}^c \right] \cdot \left( \frac{100 - W^p}{100} \right), \quad (1.5)$$

де  $S_{\text{а}}^c$  – вміст сірки в золі у відсотках до маси палива, %;

$S_c^c$  – вміст сульфатної сірки в паливі, %.

Складова частина рівняння (1.5)  $[2,5 \cdot (S_a^c - S_c^c) + 0,375 \cdot S_k^c]$  для сланців може набувати значення від 2,0 до 4,1.

Перерахунок відсоткового складу робочої маси палива при зміні вологості проводиться за формулами

$$\begin{aligned} C_2^p &= C_1^p \cdot \frac{100 - W_2^p}{100 - W_1^p}; \\ H_2^p &= H_1^p \cdot \frac{100 - W_2^p}{100 - W_1^p}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

де  $W_1^p$  – початкова вологість палива, %;

$W_2^p$  – кінцева вологість палива, %.

Середній склад суміші двох твердих або рідких палив, заданих масовими частками, визначається наступними рівняннями

$$\begin{aligned} C_{\text{сум}}^p &= b \cdot C_1^p + (1 - b) \cdot C_2^p; \\ H_{\text{сум}}^p &= b \cdot H_1^p + (1 - b) \cdot H_2^p, \end{aligned} \quad (1.7)$$

де  $b_1$  – масова частка одного з палив в суміші знаходиться за формулою

$$b_1 = B_1 / (B_1 + B_2), \quad (1.8)$$

де  $B_1, B_2$  – маси палив, що входять до суміші, кг.

### ***Задачі для самостійного виконання***

1. Визначити склад робочої маси вугілля, якщо склад його горючої маси:  $C^r = 71,1$  %;  $H^r = 5,3$  %;  $S_{\text{л}}^r = (S_{\text{ор}}^r + S_{\text{к}}^r) = 1,9$  %;  $N^r = 1,7$  %;  $O^r = 20,0$  %; зольність сухої маси  $A^c = 36,0$  %, вологість робоча

$W^p = 18,0 \%$ .

2. Визначити склад горючої маси вугілля, якщо склад його робочої маси:  $C^p = 48,5 \%$ ;  $H^p = 3,6 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 6,1 \%$ ;  $N^p = 0,8 \%$ ;  $O^p = 4,0 \%$ ; зольність сухої маси  $A^c = 33,0 \%$ , вологість робоча  $W^p = 6,0\%$ .

3. Визначити склад робочої маси вугілля, якщо склад його горючої маси:  $C^{\Gamma} = 78,5 \%$ ;  $H^{\Gamma} = 5,6 \%$ ;  $S_{\text{п}}^{\Gamma} = 0,4\%$ ;  $N^{\Gamma} = 2,5\%$ ;  $O^{\Gamma} = 13,0 \%$ ; зольність сухої маси  $A^c = 15,0 \%$ , робоча вологість  $W^p = 12,0 \%$ .

4. Визначити склад робочої маси сланців, якщо склад їх горючої маси:  $C^{\Gamma} = 74,0 \%$ ;  $H^{\Gamma} = 9,5 \%$ ;  $S_{\text{п}}^{\Gamma} = 6,1\%$ ;  $N^{\Gamma} = 0,4 \%$ ;  $O^{\Gamma} = 10,0 \%$ ;  $A^p = 46,0 \%$ ;  $W^p = 11,5 \%$  та  $(CO_2)_{\text{к}}^p = 16,4 \%$ .

5. Визначити склад горючої маси сланців, якщо склад їх робочої маси:  $C^p = 24,1 \%$ ;  $H^p = 3,1 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 1,6\%$ ;  $N^p = 0,1 \%$ ;  $O^p = 3,7 \%$ ;  $A_i^p = 40,0 \%$ ;  $W^p = 13,0 \%$  та  $(CO_2)_{\text{к}}^p = 14,4 \%$ .

6. В млині-вентиляторі підсушується вугілля наступного складу:  $C_1^p = 28,7 \%$ ;  $H_1^p = 2,2 \%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_1 = 2,7 \%$ ;  $N_1^p = 0,6 \%$ ;  $O_1^p = 8,6 \%$ ;  $A_1^p = 25,2 \%$ ;  $W_1^p = 32,0 \%$ . Визначити склад робочої маси підсушеного палива, якщо відомо, що вологість палива після підсушки  $W_2^p = 15,0 \%$ .

7. В топці котла спалюється суміш, яка складається з  $3 \cdot 10^3$  кг донецького вугілля марки Д наступного складу:  $C_1^p = 49,3 \%$ ;  $H_1^p = 3,6 \%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_1 = 3,0 \%$ ;  $N_1^p = 1,0 \%$ ;  $O_1^p = 8,3 \%$ ;  $A_1^p = 21,8 \%$ ;  $W_1^p = 13,0 \%$  та  $4,5 \cdot 10^3$  кг донецького вугілля марки Г складу:  $C_2^p = 55,2 \%$ ;  $H_2^p = 3,8 \%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_2 = 3,2 \%$ ;  $N_2^p = 1,0 \%$ ;  $O_2^p = 2,8 \%$ ;  $A_2^p = 23 \%$ ;  $W_2^p = 8,0 \%$ . Визначити склад робочої суміші.

8. В топці котла спалюється суміш, яка складається з 800 кг вугілля наступного складу:  $C_1^p = 58,7 \%$ ;  $H_1^p = 4,2 \%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_1 = 0,3 \%$ ;  $N_1^p = 1,9 \%$ ;  $O_1^p = 9,7 \%$ ;  $A_1^p = 13,2 \%$ ;  $W_1^p = 12,0 \%$  та 1200 кг вугілля складу:  $C_2^p = 66,0 \%$ ;  $H_2^p = 4,7 \%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_2 = 0,5 \%$ ;  $N_2^p = 1,8 \%$ ;  $O_2^p = 7,5 \%$ ;  $A_2^p = 11 \%$ ;  $W_2^p = 8,5 \%$ . Визначити склад робочої суміші.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАЛИВА

Теплота згорання палива – кількість теплоти в кДж, що виділяється при повному згоранні 1 кг твердого (рідкого) або 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива.

Для твердого та рідкого палива розрізняють теплоту згорання вищу  $Q_v$  (кДж/кг) та нижчу  $Q_n$  (кДж/кг).

Величини вищої і нижчої теплоти згорання робочої горючої і сухої маси твердого (рідкого) палива пов'язані виразами

$$Q_v^p = Q_n^p + 225 \cdot H^p + 25 \cdot W^p; \quad (2.1)$$

$$Q_v^r = Q_n^r + 225 \cdot H^r; \quad (2.2)$$

$$Q_v^c = Q_n^c + 225 \cdot H^c. \quad (2.3)$$

Теплові розрахунки котлів виконують, користуючись нижчою теплотою згорання робочої маси палива:

– нижча теплота згорання (кДж/кг) робочої маси твердого і рідкого палива:

$$Q_n^p = 338 \cdot C^p + 1025 \cdot H^p - 108,5 \cdot (O^p - S^p) - 25 \cdot W^p, \quad (2.4)$$

де  $C^p, H^p, O^p, S^p, W^p$  – вміст елементів та вологи в робочій масі палива, відповідно, %.

– нижча теплота згорання (кДж/м<sup>3</sup>) газоподібного палива:

$$Q_n^c = 108 \cdot H_2 + 126 \cdot CO + 234 \cdot H_2S + 358 \cdot CH_4 + 591 \cdot C_2H_4 + 638 \cdot C_2H_6 + 860 \cdot C_3H_6 + 913 \cdot C_3H_8 + 1135 \cdot C_4H_8 + 1187 \cdot C_4H_{10} + 1461 \cdot C_5H_{12} + 1403 \cdot C_6H_6, \quad (2.5)$$

де  $H_2, CO, H_2S, CH_4, C_2H_4$  і т.д – об'ємний вміст газів, що входять до складу газоподібного палива, %.

При перерахунку нижчої теплоти згорання користуються такими формулами:

– з горючої маси на робочу і навпаки:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = Q_{\text{H}}^{\text{Г}} \cdot \frac{100 - (A^{\text{P}} + W^{\text{P}})}{100} - 25 \cdot W^{\text{P}}; \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{Г}} = \frac{Q_{\text{H}}^{\text{P}} + 25 \cdot W^{\text{P}}}{100 - (A^{\text{P}} + W^{\text{P}})} \cdot 100. \quad (2.7)$$

– з сухої маси на робочу і навпаки:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = Q_{\text{H}}^{\text{С}} \cdot \frac{100 - W^{\text{P}}}{100} - 25 \cdot W^{\text{P}}; \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{С}} = \frac{Q_{\text{H}}^{\text{P}} + 25 \cdot W^{\text{P}}}{100 - W^{\text{P}}} \cdot 100. \quad (2.9)$$

– для горючих сланців – с горючої маси на робочу і навпаки:

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = Q_{\text{H}}^{\text{Г}} \cdot \frac{100 - A^{\text{P}} - W^{\text{P}} - (\text{CO})_{2\text{К}}^{\text{P}}}{100} - 25 \cdot W^{\text{P}} - 40 \cdot (\text{CO})_{2\text{К}}^{\text{P}}; \quad (2.10)$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{Г}} = \frac{Q_{\text{H}}^{\text{P}} + 25 \cdot W^{\text{P}} + 40(\text{CO})_{2\text{К}}^{\text{P}}}{100 - A^{\text{P}} - W^{\text{P}} - (\text{CO})_{2\text{К}}^{\text{P}}} \cdot 100. \quad (2.11)$$

– при зміні вологості:

$$Q_{\text{H}_2}^{\text{P}} = \frac{(Q_{\text{H}_1}^{\text{P}} + 25 \cdot W_{\text{I}}^{\text{P}}) \cdot (100 - W_{2}^{\text{P}})}{(100 - W_{\text{I}}^{\text{P}})} - 25 \cdot W_{2}^{\text{P}}. \quad (2.12)$$

Для суміші двох твердих, рідких або газоподібних палив нижча теплота згорання визначається за формулою

$$Q_{\text{H}_{\text{сум}}}^{\text{P}} = b_{\text{I}} \cdot Q_{\text{H}_1}^{\text{P}} + (1 - b_{\text{I}}) \cdot Q_{\text{H}_2}^{\text{P}}, \quad (2.13)$$

де  $b_1$  – масова частка одного з палив в суміші;

$Q_{n_1}^p$  – нижча теплота згорання одного виду палива в суміші кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_{n_2}^p$  – нижча теплота згорання другого виду палива в суміші кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>).

Для порівняння теплової цінності різних видів палива користуються поняттям умовного палива. Умовним паливом називають таке паливо, теплота згорання якого дорівнює 29300 кДж/кг.

Перерахунок витрати натурального палива на умовне здійснюється за формулою

$$B_y = B \cdot E, \quad (2.14)$$

де  $B_y$  і  $B$  – відповідно витрати умовного та натурального палива, кг, кг/с;

$E$  – тепловий еквівалент палива, розраховується за формулою

$$E = \frac{Q_n^p}{29300}. \quad (2.15)$$

Зольність, вологість палива і вміст в ньому сірки. При розгляді умов роботи котлів на різних видах палива користуються наведеними величинами зольності  $A_{\text{нав}}$ , вологості  $W_{\text{нав}}$  і вмісту сірки  $S_{\text{нав}}$  в паливі:

– наведена зольність палива, кг·%·10<sup>-3</sup>/кДж:

$$A_{\text{нав}} = 4190 \cdot \frac{A^p}{Q_n^p}. \quad (2.16)$$

– наведена вологість палива, кг·%·10<sup>-3</sup>/кДж:

$$W_{\text{нав}} = 4190 \cdot \frac{W^p}{Q_n^p}. \quad (2.17)$$

– наведений вміст сірки в паливі,  $\text{кг}\cdot\% \cdot 10^{-3}/\text{кДж}$ :

$$S_{\text{нав}} = 4190 \cdot \frac{S_{\text{л}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \quad (2.18)$$

### ***Задачі для самостійного виконання***

1. Визначити нижчу і вищу теплоту згорання робочої маси вугілля наступного складу:  $C^{\text{р}} = 37,3 \%$ ;  $H^{\text{р}} = 2,8 \%$ ;  $S_{\text{л}}^{\text{р}} = 1,0\%$ ;  $N^{\text{р}} = 0,9 \%$ ;  $O^{\text{р}} = 10,5 \%$ ;  $A^{\text{р}} = 29,5 \%$  та  $W^{\text{р}} = 18,0 \%$ .

2. Визначити нижчу і вищу теплоту згорання робочої маси вугілля, якщо склад його горючої маси:  $C^{\text{г}} = 78,5 \%$ ;  $H^{\text{г}} = 5,6 \%$ ;  $S_{\text{л}}^{\text{р}} = 0,4 \%$ ;  $N^{\text{г}} = 2,5 \%$ ;  $O^{\text{г}} = 13,0 \%$ . Зольність сухої маси  $A^{\text{с}} = 15,0 \%$ , вологість робоча  $W^{\text{р}} = 12,0 \%$ .

3. Визначити нижчу теплоту згорання робочої та сухої маси донецького вугілля марки Г, якщо відомі його нижча теплота згорання горючої маси  $Q_{\text{н}}^{\text{г}} = 33170 \text{ кДж/кг}$ , зольність сухої маси  $A^{\text{с}} = 25,0 \%$ , вологість робоча  $W^{\text{р}} = 8,0 \%$ .

4. Визначити нижчу теплоту згорання горючої та сухої маси вугілля, якщо відомі його нижча теплота згорання робочої маси  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 26180 \text{ кДж/кг}$ , зольність сухої маси  $A^{\text{с}} = 18,0 \%$ , вологість робоча  $W^{\text{р}} = 6,5\%$ .

4. Визначити вищу теплоту згорання горючої та сухої маси вугілля, якщо відомі наступні величини:  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 19680 \text{ кДж/кг}$ ;  $H^{\text{р}} = 3,6 \%$ ;  $A^{\text{р}} = 31,0 \%$ ;  $W^{\text{р}} = 6,0\%$ .

5. Визначити нижчу і вищу теплоту згорання робочої маси сланців, якщо відомі наступні величини:  $Q_{\text{н}}^{\text{г}} = 36848 \text{ кДж/кг}$ ;  $H^{\text{р}} = 2,7 \%$ ;  $A^{\text{р}} = 46,0 \%$ ;  $W^{\text{р}} = 11,5\%$  та  $16,4 \%$ .

6. Визначити нижчу і вищу теплоту згорання горючої маси високосірнистого мазуту, якщо відомі наступні величини:  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 38772 \text{ кДж/кг}$ ;  $H^{\text{р}} = 10,4 \%$ ;  $A^{\text{р}} = 0,1 \%$ ;  $W^{\text{р}} = 3,0 \%$ .

7. Визначити нижчу теплоту згорання сухого природного газу наступного складу:  $\text{CO}_2 = 0,8 \%$ ;  $\text{CH}_4 = 84,5 \%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,8 \%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 1,9\%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,9 \%$ ;  $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,3 \%$ ;  $\text{N}_2 = 7,8 \%$ .

8. Визначити нижчу теплоту згорання робочої маси вугілля наступного складу:  $C^p = 37,3 \%$ ;  $H^p = 2,8 \%$ ;  $S_{\text{д}}^p = 1,0 \%$ ;  $N^p = 0,9 \%$ ;  $O^p = 10,5\%$ ;  $A^p = 29,5 \%$  та  $W^p = 18,0 \%$ , при збільшенні його вологості до  $W^p = 20,0 \%$ .

9. В топці котла спалюється суміш, яка складається з  $3 \cdot 10^3$  кг вугілля марки Д та  $7 \cdot 10^3$  кг вугілля марки Т. Визначити нижчу теплоту згорання суміші, якщо відомо, що нижча теплота згорання вугілля марки Д складає  $Q_{\text{н1}}^p = 22825$  кДж/кг, а вугілля марки Т –  $Q_{\text{н2}}^p = 26180$  кДж/кг.

10. Визначити вищу теплоту згорання робочої маси, приведену вологість, приведену зольність, приведений вміст сірки та тепловий еквівалент донецького вугілля марки Т, якщо відомі наступні величини:  
 $H^p = 3,1 \%$ ;  $S_{\text{д}}^p = 2,8\%$ ;  $A^p = 23,8 \%$  та  $W^p = 5,0 \%$ .

11. Для вугілля марки К наступного складу:  $C^p = 54,7 \%$ ;  $H^p = 3,3 \%$ ;  $S_{\text{д}}^p = 0,8 \%$ ;  $N^p = 0,8 \%$ ;  $O^p = 4,8\%$ ;  $A^p = 27,6 \%$  та  $W^p = 8,0 \%$ , визначити вищу теплоту згорання робочої маси, приведену вологість, приведену зольність вугілля.

13. Визначити приведену вологість, приведену зольність, приведений вміст сірки та тепловий еквівалент вугілля марки Б2, якщо відомий склад його горючої маси:  $C^r = 71,0\%$ ;  $H^r = 4,3 \%$ ;  $S_{\text{д}}^r = 0,6\%$ ;  $N^r = 1,1 \%$ ;  $O^r = 23,0 \%$ , зольність сухої маси  $A^c = 15,0 \%$  та вологість робоча  $W^p = 37,5\%$ .

14. На складі котельні є  $60 \cdot 10^3$  кг вугілля марки Б2, склад якого за горючою масою:  $C^r = 76 \%$ ;  $H^r = 3,8 \%$ ;  $S_{\text{д}}^r = 2,5\%$ ;  $N^r = 0,4 \%$ ;  $O^r = 17,3 \%$ ; зольність сухої маси  $A^c = 20,0 \%$ , вологість робоча  $W^p = 34,5 \%$ . Визначити запас вугілля на складі в кг умовного палива.

15. При транспортуванні  $3 \cdot 10^3$  кг вугілля марки Б2 його вологість збільшилася з  $W_1^p = 32 \%$  до  $W_2^p = 35 \%$ . Визначити втрату умовного палива при підвищенні його вологості, якщо відомо, що при  $W_1^p = 32 \%$  нижча теплота згорання робочої маси вугілля складає  $Q_{\text{н}}^p = 10435$  кДж/кг.

16. До котельні, у якій встановлені котли з різними топками, привезено  $50 \cdot 10^3$  кг донецького вугілля марки Т наступного складу:  $C^p = 62,7 \%$ ;  $H^p = 3,1 \%$ ;  $S_{\text{д}}^p = 2,8 \%$ ;  $N^p = 0,9 \%$ ;  $O^p = 1,7 \%$ ;  $A^p = 23,8 \%$  ;

$W^p = 5,0 \%$  та  $60 \cdot 10^3$  кг донецького вугілля марки А складу:  $C^p = 63,8 \%$ ;  $H^p = 1,2 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 1,7 \%$ ;  $N^p = 0,6 \%$ ;  $O^p = 1,3 \%$ ;  $A^p = 22,9 \%$ ;  $W^p = 8,5 \%$ .  
Визначити час роботи топок, якщо відомо, що топки, що працюють на вугіллі марки Т, витрачають  $2 \cdot 10^3$  кг/год умовного палива, а топки, що працюють на вугіллі марки А –  $2,3 \cdot 10^3$  кг/год умовного палива.

17. Дві котельні установки з однаковою продуктивністю працюють на різних видах палива. Перша з них спалює  $10 \cdot 10^3$  кг/год вугілля марки Т наступного складу:  $C^p = 68,6 \%$ ;  $H^p = 3,1 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,4 \%$ ;  $N^p = 1,5 \%$ ;  $O^p = 3,1 \%$ ;  $A^p = 16,8 \%$ ;  $W^p = 6,5 \%$ . Друга витрачає  $6 \cdot 10^3$  кг/год вугілля марки Д складу:  $C^p = 58,7 \%$ ;  $H^p = 4,2 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,3 \%$ ;  $N^p = 1,9 \%$ ;  $O^p = 9,7\%$ ;  $A^p = 13,2 \%$ ;  $W^p = 12,0 \%$ . Визначити, якій кількості умовного палива еквівалентна часова витрата палива в установках.

18. В котельні за 10 годин спалюється  $10^6$  кг донецького вугілля марки Г наступного складу:  $C^p = 55,2 \%$ ;  $H^p = 3,8 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 3,2\%$ ;  $N^p = 1,0 \%$ ;  $O^p = 5,8\%$ ;  $A^p = 23,0 \%$ ;  $W^p = 8,0 \%$ . Визначити годинну потребу котельної установки в паливі.

### 3. ОБ'ЄМ ПОВІТРЯ, ОБ'ЄМ І МАСА ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ

Об'єм повітря, об'єм і маса продуктів згорання визначаються на 1 кг твердого, рідкого або на  $1 \text{ м}^3$  сухого газоподібного палива при нормальних умовах.

Об'єм повітря, необхідний для згорання палива. Теоретичний (при коефіцієнті надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1$ ) об'єм сухого повітря ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ), необхідний для повного згорання 1 кг твердого або рідкого палива, визначається за формулою:

$$V^0 = 0,089 \cdot C^p + 0,226 \cdot H^p + 0,033 \cdot (S_{\text{п}}^p - O^p). \quad (3.1)$$

Теоретичний об'єм повітря ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ), необхідний для повного згорання  $1 \text{ м}^3$  сухого газоподібного палива, визначається за формулою:

$$V^0 = 0,0478 \cdot [0,5 \cdot (CO + H_2) + 1,5 \cdot H_2S + 2 \cdot CH_4 +$$

$$+ \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot \left[ C_m H_m - O_2 \right]. \quad (3.2)$$

У формулі (3.1) вміст елементів палива виражається у відсотках на 1 кг маси палив, а в (3.2) вміст горючих газів CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub> тощо – у відсотках за об'ємом.

Для згорання суміші двох твердих, рідких або газоподібних палив теоретичний об'єм сухого повітря визначають за формулою:

$$V_{\text{сум}}^0 = b_1 \cdot V_1 + V_2^0 \cdot (1 - b_1), \quad (3.3)$$

де  $b_1$  – масова частка одного з палив в суміші.

Дійсний об'єм повітря (м<sup>3</sup>/кг, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>), який потрапляє до топки, визначається за формулою:

$$V_d = \alpha_\tau \cdot V^0, \quad (3.4)$$

де  $\alpha_\tau$  – коефіцієнт залишку повітря в топці.

Склад і об'єм продуктів згорання  $V_\Gamma$  (м<sup>3</sup>/кг) являють собою суму об'ємів сухих газів  $V_{\text{с.г.}}$  і водяної пари  $V_{\text{H}_2\text{O}}$ :

$$V_\Gamma = V_{\text{с.г.}} + V_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (3.5)$$

при цьому

$$V_{\text{с.г.}} = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}, \quad (3.6)$$

де  $V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}$  – об'єм двохатомних газів, м<sup>3</sup>/кг;

$V_{\text{RO}_2} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2}$  – об'єм трьохатомних газів, м<sup>3</sup>/кг.

Для твердих (окрім сланців) і рідких палив теоретичні об'єми ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) продуктів повного згорання при  $\alpha_r = 1$  визначаються за формулами:

– об'єм двоатомних газів:

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{\text{N}^p}{100}; \quad (3.7)$$

– об'єм трьохатомних газів:

$$V_{\text{RO}_2} = 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p_{\text{л}}); \quad (3.8)$$

– об'єм сухих газів:

$$V_{\text{с.г.}}^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 = 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p_{\text{л}}) + 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{\text{N}^p}{100}; \quad (3.9)$$

– об'єм водяної пари:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,0124 \cdot (9 \cdot \text{H}^p + W^p) + 0,0161 \cdot V^0. \quad (3.10)$$

Повний об'єм продуктів згорання визначається за формулою:

$$V_{\Gamma} = V_{\text{с.г.}}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p_{\text{л}}) + 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{\text{N}^p}{100} + 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{\text{N}^p}{100} + 0,0124 \cdot (9 \cdot \text{H}^p + W^p) + 0,0161 \cdot V^0. \quad (3.11)$$

Для сланців об'єм трьохатомних газів дорівнює:

$$\begin{aligned}
 V_{RO_2K} &= V_{RO_2} + K \cdot \left[ 0,509 \cdot \frac{(CO_2)_K^p}{100} \right] = \\
 &= 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + K \cdot \left[ 0,509 \cdot \frac{(CO_2)_K^p}{100} \right], \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

де  $K$  – коефіцієнт розкладання карбонатів, дорівнює при шаровому спалюванні 0,7; при камерному 1,0.

Для газоподібного палива теоретичні об'єми продуктів згорання ( $m^3/m^3$ ) при  $\alpha_t = 1$  визначаються за формулами:

– об'єм двохатомних газів:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + \frac{N_2}{100}; \quad (3.13)$$

– об'єм трьохатомних газів:

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot [CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n]; \quad (3.14)$$

– об'єм сухих газів:

$$V_{с.г.}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0; \quad (3.15)$$

– об'єм водяної пари:

$$\begin{aligned}
 V_{H_2O}^0 &= 0,01 \cdot \left[ \frac{H}{2} + \frac{S}{2} + \sum \frac{n}{2} \cdot C_m H_n + 0,0124 \cdot d_r \right] + \\
 &+ 0,0161 \cdot V^0, \quad (3.16)
 \end{aligned}$$

де  $d_r$  – вміст води газоподібного палива, віднесений до 1  $m^3$  сухого газу,  $г/м^3$ ;

– повний об'єм продуктів згорання:

$$V^0 = V_r + V_{\text{с.г.}} + V_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (3.17)$$

Для твердих (окрім сланців), рідких і газоподібних палив об'єми продуктів повного згорання (м<sup>3</sup>/кг) при  $\alpha_\tau > 1$  визначаються за формулами:

– об'єм сухих газів:

$$V_{\text{с.г.}} = V_{\text{с.г.}}^0 + (\alpha_\tau - 1) \cdot V^0 = V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2} + (\alpha_\tau - 1) \cdot V^0; \quad (3.18)$$

– об'єм водяної пари:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_\tau - 1) \cdot V^0. \quad (3.19)$$

Повний об'єм продуктів згорання визначається за (3.5).

Для сланців повний об'єм продуктів згорання (м<sup>3</sup>/кг) при  $\alpha_\tau > 1$ :

$$V_{r.k} = V_{\text{RO}_2k} + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{RO}_2k} + V_{\text{N}_2}^0 + 0,0124 \cdot (9 \cdot \text{H}^p + \text{W}^p) + 0,0161 \cdot \alpha_\tau \cdot V^0. \quad (3.20)$$

Відсотковий вміст CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> та RO<sub>2</sub> в сухих газах при повному згоранні палива визначається за формулами:

$$\text{CO}_2 = \left( \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{с.г.}}} \right) \cdot 100; \quad (3.21)$$

$$\text{SO}_2 = \left( \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{с.г.}}} \right) \cdot 100; \quad (3.22)$$

$$\text{RO}_2 = \left( \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\text{с.г.}}} \right) \cdot 100. \quad (3.23)$$

Максимальний відсотковий вміст трьохатомних газів  $RO_2^{\max}$  в сухих газах при повному згоранні палива:

$$RO_2^{\max} = \frac{21}{(1 + \beta)}, \quad (3.24)$$

де  $\beta$  – характеристика палива:

– для твердого и рідкого:

$$\beta = 2,35 \cdot \frac{H^p - 0,126 \cdot O^p + 0,04 \cdot N^p}{C^p + 0,375 \cdot S_k^p}; \quad (3.25)$$

– для газоподібного:

$$\beta = 0,21 \cdot \frac{0,01 \cdot N + 0,79 \cdot V^0}{V_{RO_2}} - 0,79. \quad (3.26)$$

Відсотковий вміст азоту  $N_2$  та кисню  $O_2$  в сухих газах при повному згоранні палива:

$$N_2 = 100 - RO_2 - O_2; \quad (3.27)$$

$$O_2 = 21 - \beta \cdot RO_2 - RO_2. \quad (3.28)$$

Маса продуктів згорання:

– для твердого (окрім сланців) та рідкого палива (кг/кг):

$$M_r = 1 + 0,01 \cdot A^p + 1,306 \cdot \alpha_i \cdot V^0; \quad (3.29)$$

– для газоподібного палива (кг/м<sup>3</sup>):

$$M_r = p_{r,\tau}^c + 0,001 \cdot d_{r,\tau} + 1,306 \cdot \alpha_\tau \cdot V^0, \quad (3.30)$$

де  $p_{r,\tau}^c$  – густина сухого газу, кг/м<sup>3</sup>;

$d_{r,\tau}$  – вміст вологи в паливі, кг/м<sup>3</sup>.

– для сланців (кг/кг):

$$M_{г.к} = 1 - 0,01 \cdot A_k^p + 1,306 \cdot \alpha_\tau \cdot V^0 + 0,01 \cdot (CO_2)_k^p \cdot K, \quad (3.31)$$

де  $A_k^p$  – розрахунковий вміст золи в паливі з урахуванням нерозкладаних карбонатів, %;

$K$  – коефіцієнт розкладання карбонатів, дорівнює 0,7 при шаровому спалюванні, 1,0 при камерному.

Розрахунковий відсотковий вміст золи в паливі з урахуванням нерозкладаних карбонатів:

$$A_k^p = A_k^p + (1 - K) \cdot (CO_2)_k^p. \quad (3.32)$$

Для твердих палив концентрація золи в продуктах згорання визначається за формулою:

$$\mu_{зл} = \frac{A^3 \cdot \alpha_{ун}}{100 \cdot M_k}, \quad (3.33)$$

де  $\alpha_{ун}$  – частка золи палива, яка уноситься продуктами згорання.

Коефіцієнт надлишку повітря в топці при повному згоранні палива визначається за формулою:

$$\alpha_\tau = \frac{21}{21 - 79 \cdot \frac{O_2}{N_2}}, \quad (3.34)$$

де  $O_2$  та  $N_2$  – вміст кисню і азоту в газах, %.

### ***Задачі для самостійного виконання***

1. Генераторний газ має наступний об'ємний склад: 7 %  $H_2$ , 2 %  $CH_4$ , 27,6 %  $CO$ , 4,8 %  $CO_2$ , 58,6 %  $N_2$ . Визначити масові частки, молеку-

лярну масу, газову сталу, густину при температурі 15 °C та тиску 0,1 МПа.

2. Визначити об'єм продуктів повного згорання на виході з топки, а також теоретичний і дійсний об'єми повітря, необхідні для згорання 1 м<sup>3</sup> природного газу наступного складу: CO<sub>2</sub> = 0,2 %; CH<sub>4</sub> = 98,2 %; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 0,4 %; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 0,1 %; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> = 0,1 %; N<sub>2</sub> = 1,0 %. Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_\tau = 1,2$ .

3. Визначити на виході з топки об'єм продуктів повного згорання 1 кг вугілля марки К складу: C<sup>p</sup> = 54,7 %; H<sup>p</sup> = 3,3 %; S<sub>п</sub><sup>p</sup> = 0,8 %; N<sup>p</sup> = 0,8 %; O<sup>p</sup> = 4,8 %; A<sup>p</sup> = 27,6 %; W<sup>p</sup> = 8,0 %. Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_\tau = 1,3$ .

4. Визначити теоретичний і дійсний склади, об'єми повітря, які необхідні для шарового спалювання 1000 кг донецького вугілля марки Г складу: C<sup>p</sup> = 55,2 %; H<sup>p</sup> = 3,8 %; S<sub>п</sub><sup>p</sup> = 3,2 %; N<sup>p</sup> = 1,0 %; O<sup>p</sup> = 5,8 %; A<sup>p</sup> = 23,0 %; W<sup>p</sup> = 8,0 %. Коефіцієнт залишку повітря в топці  $\alpha_\tau = 1,3$ .

5. Визначити об'єм повітря, необхідного для спалювання 800 кг/год вугілля марки БЗ складу: C<sup>p</sup> = 45,0 %; H<sup>p</sup> = 2,6 %; S<sub>п</sub><sup>p</sup> = 1,7 %; N<sup>p</sup> = 0,4 %; O<sup>p</sup> = 9,9 %; A<sup>p</sup> = 11,4 %; W<sup>p</sup> = 29,0 % і 500 кг/год вугілля марки С складу: C<sup>p</sup> = 43,4 %; H<sup>p</sup> = 2,9 %; S<sub>п</sub><sup>p</sup> = 0,8 %; N<sup>p</sup> = 0,8 %; O<sup>p</sup> = 7,0 %; A<sup>p</sup> = 38,1 %; W<sup>p</sup> = 7,0 %, при коефіцієнтах надлишку повітря в топковій камері відповідно  $\alpha_\tau = 1,4$  і 1,3.

6. Визначити теоретичний і дійсний об'єми повітря, необхідні для спалювання 2000 м<sup>3</sup>/год природного газу наступного складу: CO<sub>2</sub> = 0,5 %; CH<sub>4</sub> = 92,8 %; C<sub>2</sub>H<sub>8</sub> = 2,8 %; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 0,9 %; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> = 0,4 %; C<sub>6</sub>H<sub>12</sub> = 0,1 %; N<sub>2</sub> = 2,5 %; і 1000 м<sup>3</sup>/год природного газу складу: CO<sub>2</sub> = 0,1 %; CH<sub>4</sub> = 89,7 %; C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> = 5,2 %; C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 1,7 %; C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> = 0,5 %; C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> = 0,1 %; N<sub>2</sub> = 2,7 %, при коефіцієнтах надлишку повітря в топковій камері відповідно  $\alpha_\tau = 1,15$  і 1,1.

7. Визначити теоретичний об'єм повітря, необхідний для шарового спалювання 1500 кг сланців, якщо відомий вміст їх горючої маси: C<sup>г</sup> = 74,0 %; H<sup>г</sup> = 9,5 %; S<sub>п</sub><sup>г</sup> = 6,1 %; N<sup>г</sup> = 0,4 %; O<sup>г</sup> = 10,0 %; A<sup>p</sup> = 46,0 %; W<sup>p</sup> = 11,5 % і (CO<sub>2</sub>)<sub>к</sub><sup>p</sup> = 16,4 %.

8. В топці котла спалюється суміш, яка складається з  $2 \cdot 10^3$  кг

вугілля марки Д складу:  $C_1^p = 58,7\%$ ;  $H_1^p = 4,2\%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_1 = 0,3\%$ ;  $N_1^p = 1,9\%$ ;  $O^p = 9,7\%$ ;  $A_1^p = 13,2\%$ ;  $W_1^p = 12,0\%$ , і  $3 \cdot 10^3$  кг вугілля марки Г складу:  $C_2^p = 66,0\%$ ;  $H_2^p = 4,7\%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_2 = 0,5\%$ ;  $N_2^p = 1,8\%$ ;  $O_2^p = 7,5\%$ ;  $A_2^p = 11,0\%$ ;  $W_2^p = 8,5\%$ . Визначити теоретичний об'єм сухого повітря, необхідний для спалювання суміші.

9. В топці котла спалюється вугілля марки Ж складу:  $C^p = 59,6\%$ ;  $H^p = 3,8\%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,8\%$ ;  $N^p = 1,3\%$ ;  $O^p = 5,4\%$ ;  $A^p = 23,6\%$ ;  $W^p = 5,5\%$ . Визначити об'єм сухих газів при повному згоранні палива. Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,3$ .

10. Визначити об'єм водяної пари при повному згоранні в шарі  $10^3$  кг/год торфу складу:  $C^p = 24,7\%$ ;  $H^p = 2,6\%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,1\%$ ;  $N^p = 1,1\%$ ;  $O^p = 15,2\%$ ;  $A^p = 6,3\%$ ;  $W^p = 50,0\%$  при коефіцієнтах надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,35$  і  $1,4$ .

11. В топці котла спалюється  $600 \text{ м}^3$  природного газу складу:  $\text{CO}_2 = 0,2\%$ ;  $\text{CH}_4 = 98,5\%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,2\%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,1\%$ ;  $\text{N}_2 = 1,0\%$ . Визначити об'єм продуктів згорання при коефіцієнті надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,15$ .

12. Визначити об'єм сухих газів, отриманих при повному згоранні в шарі  $800$  кг вугілля марки Д, якщо відомий склад його горючої маси:  $C^g = 78,5\%$ ;  $H^g = 5,6\%$ ;  $S_{\text{п}}^g = 0,4\%$ ;  $N^g = 2,5\%$ ;  $O^g = 13,0\%$ ; зольність сухої маси  $A^c = 15,0\%$ ; вологість робоча  $W^p = 12,0\%$ . Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,3$ .

13. Визначити об'єм двох- та трьохатомних газів і вміст  $\text{CO}_2$  і  $\text{SO}_2$  в сухих газах, отриманих при повному згоранні в шарі  $1$  кг донецького вугілля марки Т, якщо відомий склад:  $C^p = 62,7\%$ ;  $H^p = 3,1\%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 2,8\%$ ;  $N^p = 0,9\%$ ;  $O^p = 1,7\%$ ;  $A^p = 23,8\%$ ;  $W^p = 5,0\%$ , якщо відомо, що димові гази при повному згоранні містять  $RO_2^{\text{max}} = 18,8\%$ .

14. Визначити об'єм трьохатомних газів і вміст  $\text{CO}_2$  і  $\text{SO}_2$  в сухих газах, отриманих при повному згоранні  $1$  кг вугілля марки Г, складу:  $C^p = 45,4\%$ ;  $H^p = 3,5\%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 1,3\%$ ;  $N^p = 0,9\%$ ;  $O^p = 8,9\%$ ;  $A^p = 27,0\%$ ;  $W^p = 3,0\%$ , якщо відомо, що димові гази при повному згоранні містять

$$RO_2^{\max} = 0,8 \%$$

15. В топці котла спалюють  $5 \cdot 10^3$  кг/год донецького вугілля марки Г складу:  $C^p = 55,2 \%$ ;  $H^p = 3,8 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 3,2 \%$ ;  $N^p = 1 \%$ ;  $O^p = 5,8 \%$ ;  $A^p = 23,0 \%$ ;  $W^p = 3,2 \%$ . Як збільшився об'єм повітря, якщо відомо, що при повному згоранні палива, яке подається в топку, вміст  $RO_2$  у димових газах зменшився з 16 до 14 %.

16. В топці котла спалюють  $5 \cdot 10^3$  кг/год донецького вугілля марки Г наступного складу:  $C^p = 55,2 \%$ ;  $H^p = 3,8 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 3,2 \%$ ;  $N^p = 1 \%$ ;  $O^p = 5,8 \%$ ;  $A^p = 23,0 \%$ ;  $W^p = 3,2 \%$ . Як збільшиться об'єм повітря, якщо відомо, що при повному згоранні палива, яке подається в топку, вміст  $RO_2$  у димових газах зменшився з 16 до 14%.

17. В топці котла спалюється  $2 \cdot 10^3$  кг/год малосірчистого мазуту наступного складу:  $C^p = 84,65 \%$ ;  $H^p = 11,7 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,3 \%$ ;  $O^p = 0,3 \%$ ;  $A^p = 0,05 \%$ ;  $W^p = 3,0 \%$ . Визначити, як збільшився об'єм повітря, який подають до топки, якщо відомо, що при повному згоранні палива вміст  $RO_2$  в димових газах зменшився з 15 до 12%.

18. В топці котла під час дослідів спалили  $3 \cdot 10^3$  кг/год вугілля марки Д наступного складу:  $C^p = 58,7 \%$ ;  $H^p = 4,2 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,3 \%$ ;  $N^p = 1,9 \%$ ;  $O^p = 9,7 \%$ ;  $A^p = 13,2 \%$ ;  $W^p = 12,0 \%$ . Протягом першої половини дослідів в продуктах повного згорання палива вміст  $RO_2 = 18 \%$ , а протягом другої половини дослідів  $RO_2$  зменшилося до 15%. Визначити, який об'єм повітря добавили в топку між першою та другою половинами іспитів.

19. Визначити об'єм продуктів згорання, який потрібен для спалювання 1 кг сланців наступного складу:  $C^p = 20,6 \%$ ;  $H^p = 2,7 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 1,7 \%$ ;  $N^p = 0,1 \%$ ;  $O^p = 2,8 \%$ ;  $A^p = 46,0 \%$ ;  $W^p = 11,5 \%$ ;  $(CO_2)_k^p = 16,4 \%$ . Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,3$ .

20. Визначити об'єм продуктів згорання, який потрібен для спалювання  $2 \cdot 10^3$  кг/год вугілля марки К наступного складу:  $C^p = 54,7 \%$ ;  $H^p = 3,3 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,8 \%$ ;  $N^p = 0,8 \%$ ;  $O^p = 4,8 \%$ ;  $A^p = 27,6 \%$ ;  $W^p = 8,0 \%$ , якщо відомо, що при повному згоранні палива вміст  $RO_2 = 18 \%$ .

21. В топці котла спалили  $2 \cdot 10^3$  кг/год донецького вугілля марки Д наступного складу:  $C_1^p = 49,3 \%$ ;  $H_1^p = 3,6 \%$ ;  $(S_{\text{п}}^p)_1 = 0,3 \%$ ;

$N_1^p = 1,0 \%$ ;  $O_1^p = 8,3 \%$ ;  $A^p = 21,8 \%$ ;  $W^p = 13,0 \%$  і донецького вугілля марки Г складу:  $C_2^p = 55,2 \%$ ;  $H_2^p = 3,8\%$ ;  $(S^p)_{п 2} = 3,2 \%$ ;  $N_2^p = 1,0 \%$ ;

$O_2^p = 5,8 \%$ ;  $A_2^p = 23 \%$ ;  $W^p = 8,0\%$ . Визначити об'єм газів, отриманих при повному згоранні, якщо коефіцієнт надлишку повітря в топці становить  $\alpha_\tau = 1,3$ .

22. Визначити об'єм газів, отриманих при повному згоранні 1000 м<sup>3</sup>/год природного газу наступного складу:  $CO_2 = 0,1 \%$ ;  $CH_4 = 85,8 \%$ ;  $C_2H_6 = 0,2 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,1 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,1 \%$ ;  $N_2 = 13,7 \%$ . Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_\tau = 1,1$ .

23. В топці котла спалили 1 кг вугілля марки БЗ наступного складу:  $C^p = 35,7 \%$ ;  $H^p = 2,9 \%$ ;  $S_{п}^p = 0,3 \%$ ;  $N^p = 0,7 \%$ ;  $O^p = 12,1 \%$ ;  $A^p = 24,3 \%$ ;  $W^p = 24,0 \%$ . Визначити об'єм продуктів згорання і вміст в них кисню  $O_2$ , якщо відомо, що при повному згоранні палива вміст  $RO_2 = 18 \%$ .

24. В топці котла спалили 1 кг вугілля марки БЗ наступного складу:  $C^p = 50,1 \%$ ;  $H^p = 4,0 \%$ ;  $S_{п}^p = 0,1 \%$ ;  $N^p = 0,7 \%$ ;  $O^p = 12,2 \%$ ;  $A^p = 11,9 \%$ ;  $W^p = 21,0 \%$ . Визначити коефіцієнт надлишку повітря в топці, якщо відомо, що  $RO_2 = 16\%$ .

25. В топці котла спалили донецьке вугілля марки Т наступного складу:  $C^p = 62,7 \%$ ;  $H^p = 3,1 \%$ ;  $S_{п}^p = 2,8 \%$ ;  $N^p = 0,9 \%$ ;  $O^p = 1,7 \%$ ;  $A^p = 23,8 \%$ ;  $W^p = 5,0 \%$ . Визначити вміст азоту  $N_2$  в продуктах спалювання і коефіцієнт надлишку повітря при повному згорання палива, якщо  $RO_2 = 15,0\%$ .

26. Визначити об'єм сухих газів і коефіцієнт надлишку повітря, отриманих при повному згоранні природного газу наступного складу:  $CO_2 = 1,2 \%$ ;  $CH_4 = 91,9 \%$ ;  $C_2H_6 = 2,1 \%$ ;  $C_3H_8 = 1,3 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,4 \%$ ;  $N_2 = 3,0 \%$ , якщо відомо, що при повному згоранні палива вміст  $RO_2 = 16 \%$  і  $O_2 = 4,0 \%$ .

27. В топці котла спалили 1кг вугілля марки Б1 наступного складу:  $C^p = 30,4 \%$ ;  $H^p = 1,7 \%$ ;  $S_{п}^p = 0,3 \%$ ;  $N^p = 0,5 \%$ ;  $O^p = 12,2 \%$ ;  $A^p = 7,9 \%$ ;  $W^p = 47,0 \%$ . Визначити вміст кисню в продуктах спалювання і коефіцієнт надлишку повітря при повному згоранні палива, якщо  $RO_2 = 16,0\%$ .

28. Визначити масу продуктів згорання і концентрацію золи в продуктах згорання, отриманих при повному згоранні 1 кг сланців наступного складу:  $C^p = 20,6 \%$ ;  $H^p = 2,7 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 1,7 \%$ ;  $N^p = 0,1 \%$ ;  $O^p = 2,8 \%$ ;  $A^p = 46,0 \%$ ;  $W^p = 11,5 \%$ ;  $(CO_2)_k^p = 16,4 \%$ , якщо відомо, що частка золи палива, яка уноситься продуктами згорання,  $A = 0,95$ . Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,3$ .

29. Визначити масу продуктів згорання і концентрацію золи в продуктах згорання, отриманих при повному згоранні 1 кг вугілля марки К складу:  $C^p = 54,7 \%$ ;  $H^p = 3,3 \%$ ;  $S_{\text{п}}^p = 0,8 \%$ ;  $N^p = 0,8 \%$ ;  $O^p = 4,8 \%$ ;  $A^p = 27,6 \%$ ;  $W^p = 8,0 \%$ , якщо відомо, що частка золи палива, яка уноситься продуктами згорання,  $A = 0,85$ . Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,3$ .

30. Визначити масу продуктів згорання, отриманих при повному згоранні 1 м<sup>3</sup> природного газу наступного складу:  $CO_2 = 0,2 \%$ ;  $CH_4 = 98,2 \%$ ;  $C_2H_6 = 0,4 \%$ ;  $C_3H_8 = 0,1 \%$ ;  $C_4H_{10} = 0,1 \%$ ;  $N_2 = 1,0 \%$ , якщо відомо, що густина сухого газу  $\rho_{r,T} = 0,728 \text{ кг/м}^3$ . Коефіцієнт надлишку повітря в топці  $\alpha_{\tau} = 1,15$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Дементий Л. В. Сборник задач по технической термодинамике и теплопередаче / Л. В. Дементий, А. А. Кузнецов, Ю. В. Менафова. – Краматорск : ГМА, 2002. – 260 с.
2. Шиллинг Г. Д. Газификация угля / Г. Д. Шиллинг, Б. Бонн, У. Краус. – Москва : Недра, 1986. – 175 с.
3. Дешалит Г. И. Расчеты процессов газификации / Г. И. Дешалит. – Харьков : Изд-во Харьковского ун-та, 1959. – 168 с.
4. Корж А. Ф. Технология переработки нефти и газа. Процессы глубокой переработки нефти и нефтяных фракций : методические материалы к практическим и семинарским занятиям / А. Ф. Корж, С. М. Ткачев. – Новополюцк : ПГУ, 2006. – 160 с.
5. Булатова О. Ф. Курс лекций по дисциплине «Химия нефти и газа» / О. Ф. Булатова. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2011. – 54 с.
6. Рябов В. Д. Химия нефти и газа: Учебное пособие / В. Д. Рябов. – Москва : ИД «ФОЗУМ», 2009. – 336 с.
7. Панкратов Г. П. Сборник задач по теплотехнике: Учебное пособие для студентов энергетич. спец. Вузов / Г. П. Панкратов. – Москва : Высшая школа, 1986. – 248 с.

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
1. Склад палива.....	4
Задачі для самостійного виконання.....	5
2. Характеристики палива .....	7
Задачі для самостійного виконання.....	10
3. Об'єм повітря, об'єм і маса продуктів згорання.....	12
Задачі для самостійного виконання.....	18
Список літератури.....	24

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять

“Тверді, рідкі та газоподібні палива”

з дисципліни

“Хімічні технології вуглецьвмісних речовин”

для студентів спеціальності 161

“Хімічні технології та інженерія”

денної та заочної форм навчання

Укладачі: **ДЕЙНЕКА** Дмитро Миколайович  
**КАЗАКОВ** Валентин Васильович  
**КОБЗЄВ** Олександр Вікторович  
**МИХАЙЛОВА** Євгенія Олександрівна

Відповідальний за випуск *О.Я. Лобойко*  
Роботу до видання рекомендував *Я.М. Пітак*

В авторській редакції

План 2021 р. поз. 8

Підп. до друку                      Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. арк. 1,1

Наклад 50 прим. Зам. №              Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ „ХП”.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Самостійне електронне видання

ДЛЯ НОТАТОК