

50к.

669.011  
7.17.25



Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

Ю.С. Павлюк

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до практичних занять  
з дисципліни  
**«Газове господарство  
металургійних заводів»**

для студентів спеціальності  
7.090401 «Охорона праці та екологія металургійного  
виробництва»

Підписано до друку 1.5.2002р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.  
Умовн. друк. арк. 0,6 . Наклад 40 прим.  
Замовлення № 285к

Віддруковано друкарнею  
Запорізької державної інженерної академії  
з комп'ютерного оригінал-макету  
69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226  
РВВ ЗДІА, тел. 601-596

Запоріжжя  
2002

Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до практичних занять  
з дисципліни  
«Газове господарство металургійних заводів»

*для студентів спеціальності*  
**7.090401 "Охорона праці та екологія металургійного виробництва"**

2506.02 БУШЕНКО 7028  
25.02.03 АКУРЕТА 3555

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Газове господарство металургійних заводів» для студентів спеціальності 7.090401 «Охорона праці та екологія металургійного виробництва» / Укладач: Павлюк Ю.С. – Запоріжжя, 2002. – 14 с.

## ВСТУП

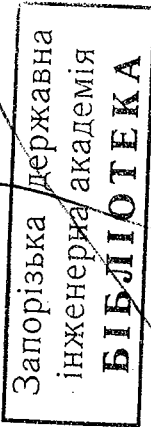
Практичні заняття з дисципліни «Газове господарство металургійних заводів» мають на меті доповнити теоретичне навчання студентів конкретними інженерними розрахунками.

Завдання практичних занять - придбати навички у виконанні розрахунків, що відносяться до спалювання газоподібного палива.

При виконанні розрахунків всі дії повинні бути обумовлені, розрахунки наведені з обов'язковим написанням вихідної формули.

Укладачі: **Ю.С. Павлюк, к.т.н, доцент**

Відповідальний за випуск : **зав.кафедри ПЕБП**  
**проф. Павленко Ю.П.**



**ВИХІДНІ ДАННІ**

Таблиця 1.

Реакції горіння найбільш поширених компонентів газоподібного палива.

№ п/п	Реакція	Ентальпія	
		кДж/моль	кДж/м <sup>3</sup> в. в.
1.	$CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2$	283170	12640
2.	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O^*$	242940	10800
3.	$CH_4 + 2 O_2 = CO_2 + 2 H_2O$	803020	35840
4.	$2 C_2H_6 + 7 O_2 = 4 CO_2 + 6 H_2O$	1429020	63730
5.	$C_3H_8 + 5 O_2 = 3 CO_2 + 4 H_2O$	2045600	93370
6.	$2 C_4H_{10} + 13 O_2 = 8 CO_2 + 10 H_2O$	2660840	123770
7.	$C_5H_{12} + 8 O_2 = 5 CO_2 + 6 H_2O$	3277750	146340

\* - Індекс "П" означає, що вода у пароподібному стані.

Таблиця 2

Хімічний склад газоподібного палива різних видів

№ п/п	ГАЗ	СКЛАД, %											
		H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
Природний													
1.		-	93,2	0,7	0,6	0,6	0,5	-	-	-	-	4,4	
2.		-	92,2	0,8	-	1,0	-	-	-	-	-	6,0	
3.		-	77,8	4,4	1,7	0,8	0,6	-	-	0,2	-	14,5	
4.		-	97,8	0,5	0,2	0,1	0,05	-	-	0,05	-	1,3	
5.		-	93,5	4,0	1,0	0,5	0,5	-	-	0,1	-	0,4	
6.		-	85,3	4,9	1,6	0,75	0,55	-	-	0,6	-	6,3	
7.		-	93,2	2,1	1,2	1,0	1,2	-	-	0,8	-	0,5	
Коксовий													
8.		63,0	21,2	1,4	-	-	-	-	-	6,3	2,6	0,8	4,7
9.		60,7	24,2	2,2	-	-	-	-	-	4,2	2,2	0,7	5,8
10.		57,5	23,3	1,7	-	-	-	-	-	5,6	2,4	0,7	8,8
11.		61,2	21,8	2,0	-	-	-	-	-	6,6	2,5	0,9	5,0
12.		61,9	21,0	2,2	-	-	-	-	-	6,9	2,2	0,6	5,2
13.		54,5	25,3	2,6	-	-	-	-	-	5,7	2,8	0,7	8,4
14.		55,8	24,8	3,1	-	-	-	-	-	5,3	3,1	0,8	7,1
Змішаний генераторний													
15.		13,8	0,5	-	-	-	-	-	-	28,5	5,0	0,2	52,0
16.		13,5	0,5	-	-	-	-	-	-	27,5	5,5	0,2	52,8
17.		13,5	2,3	-	-	-	-	-	-	26,5	5,6	0,2	51,9
18.		16,0	2,5	0,2	-	-	-	-	-	25,0	7,0	0,2	49,1
19.		13,2	2,0	0,3	-	-	-	-	-	30,0	5,0	0,2	49,3
Водяний													
20.		50,0	0,5	-	-	-	-	-	-	39,0	4,5	0,2	5,8
21.		53,5	0,8	-	-	-	-	-	-	36,4	5,3	0,2	3,8
22.		55,0	1,0	-	-	-	-	-	-	35,0	4,8	0,2	4,0
23.		49,1	0,5	-	-	-	-	-	-	38,7	5,5	0,2	6,0
24.		51,1	1,0	-	-	-	-	-	-	40,2	4,0	0,2	3,5
25.		50,5	0,9	-	-	-	-	-	-	40,0	4,5	0,2	3,9
Доменний													
26.		2,7	0,3	-	-	-	-	-	-	28,0	10,5	-	58,5
27.		2,0	0,5	-	-	-	-	-	-	31,0	14,0	-	52,5
28.		2,5	0,3	-	-	-	-	-	-	29,0	9,0	-	59,2

Таблиця 3

Варіанти газової суміші за співвідношенням газів

Основні варіанти (за табл. 2)	Коксовий газ		Доменний газ	
	Аналоги за складом варіантів			
8	1	15	22	26
9	2	16	23	27
10	3	17	24	28
11	4	18	25	26
12	5	19	-	27
13	6	20	-	28
14	7	21	-	26
Співвідношення газів, коксовий : доменний				
14	13	23	15,35	-

Таблиця 4

Варіанти газової суміші за її тепловою згоряння

№№ варіантів вихідного газу (аналогічно табл. 2)	Теплота згоряння суміші, $Q_p^0$ , ккал/м <sup>3</sup>
1 - 4	3000
5 - 8	2500
9 - 12	3500
13 - 16	1500
17 - 21	1800
22 - 23	2200

Задача 1

Розрахунок теплоти згоряння газоподібного палива

Теплоту згоряння газоподібного палива визначають, виходячи з теплоти згоряння окремих його компонентів, тобто - ентальпії реакцій окислення сполук, що входять у склад палива.

За відомим складом газоподібного палива теплоту згоряння розраховують за виразом:

$$Q_p^0 = 0,01 \sum q^0 a, \text{ кДж/м}^3 (\text{н. у.})$$

або

$$Q_p^0 = 0,01 \sum q^0 a, \text{ кДж/м}^3 (\text{н. у.}) \quad (1)$$

де  $Q_p^0$  - низша теплота горіння,

$q^0$  і  $a$  - ентальпія згоряння окремих компонентів суміші, кДж/к моль і кДж/м<sup>3</sup> відповідно (табл. 1),

$a$  - зміст компонента у суміші (%),

22,4 - об'єм 1 к моль, м<sup>3</sup>/к моль.

Приклад. Визначити теплоту горіння 1 м<sup>3</sup> газу зі складом, %: Н<sub>2</sub> - 60,

СН<sub>4</sub> - 23, СО - 6, СО<sub>2</sub> - 2, N<sub>2</sub> - 9

$$Q_p^0 = 0,01 \frac{242940 \cdot 60 + 803020 \cdot 23 + 283170 \cdot 6}{22,4} = 15511 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

або

$$Q_p^0 = 0,01(10800 \cdot 60 + 35840 \cdot 23 + 12640 \cdot 6) = 15482 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

Завдання. Розрахувати теплоту згоряння 1 м<sup>3</sup> заданого виду палива згідно табл. 2.

Задача 2

Розрахунок горіння газоподібного палива

При горінні палива в якості окислювача використовують кисень повітря. В наслідок цього утворюються продукти горіння з певною температурою. Тому розрахунки горіння виконують з метою визначення:

Співвідношення між фактичною кількістю повітря та теоретичною називають коефіцієнтом надміру повітря і позначають літерою  $\alpha$ . У кожному конкретному випадку в залежності від типу паливника коефіцієнт  $\alpha$  може коливатися від 1,05 до 1,3, а подекуди і більше, тобто надлишок повітря становить від 5 до 30 і більше відсотків.

Відтоді, фактична витрата повітря розраховується за виразом:

$$V_{\text{факт}} = \alpha \cdot V_{\text{теор}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$$

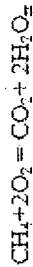
Відносно наведеного прикладу, якщо прийняти  $\alpha = 1,1$ , фактична кількість повітря становить:

$$V_{\text{факт}} = 110 \cdot 9,52 = 10,47 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Завдання: Розрахувати кількість повітря, необхідну для горіння  $1 \text{ м}^3$  палива з задачі №1.

### 2.2 Розрахунок кількості та складу продуктів горіння

Кількість та склад продуктів горіння визначають за методикою, що була прийнята для розрахунку кількості повітря:



Отже, при згоранні 1 моля  $\text{CH}_4$  утворюється 1 моль  $\text{CO}_2$  та 2 моля водяної пари. Крім цього в продуктах реакції є присутнім азот із повітря.

Таким чином, при згоранні  $1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$  утворюється  $\text{CO}_2 = 1 \text{ м}^3$  і  $\text{H}_2\text{O} = 2 \text{ м}^3$ . Окрім цього, з повітря вноситься  $10,47 \cdot 0,79 = 8,27 \text{ м}^3$  азоту. Звідси, загальна кількість продуктів згорання становить:

$$1 \text{ м}^3 + 2 \text{ м}^3 + 8,27 \text{ м}^3 = 11,27 \text{ м}^3$$

За цими даними розраховуємо склад продуктів згорання, %:

$$\text{CO}_2 = \frac{1}{11,27} \cdot 100 = 8,87 \approx 8,9$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{2}{11,27} \cdot 100 = 17,75 \approx 17,7$$

$$\text{N}_2 = \frac{8,27}{11,27} \cdot 100 = 73,38 \approx 73,4$$

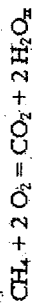
$$\frac{100,00}{100,00} = 100,00$$

1. Кількості повітря, потрібного для горіння
2. Кількості та складу продуктів горіння
3. Температура горіння

### 2.1. Розрахунок кількості повітря

Його можна визначити як в об'ємах, так і масових одиницях. На практиці в переважній більшості випадків користуються об'ємними величинами.

Наприклад, повне згорання метану ( $\text{CH}_4$ ) проходить за реакцією:



Отже, для спалення 1 моля  $\text{CH}_4$  потрібно 2 моля  $\text{O}_2$ . Оскільки  $1 \text{ кмоль}$  будь якого газу займає однаковий об'єм  $- 22,4 \text{ м}^3$  - то спалювання  $22,4 \text{ м}^3$  метану вимагає  $2 \cdot 22,4 = 44,8 \text{ м}^3$  кисню. Таким чином, для спалювання  $1 \text{ м}^3$  метану треба  $2 \text{ м}^3$  кисню. Але у сухому повітрі кисень складає по об'єму 21%, або 0,21 частки, решта - азот. Через це, повітря потрібно у  $100/21 = 4,76$  разів більше, тобто, у нашому випадку,  $V_{\text{теор}} = 2 \cdot 4,76 = 9,52 \text{ м}^3$

Оскільки у газоподібному паливі є ще інші вуглеводневі сполуки крім метану, то за таким принципом можна визначити кількість повітря, яка необхідна для їх спалення. З урахуванням вмісту кожного компонента у паливі можна розрахувати загальну кількість повітря.

Узагальнюючи сказане, кількість повітря, потрібно для спалювання  $1 \text{ м}^3$  палива, розраховують за виразом:

$$V_{\text{теор}} = 100 \left[ 0,5 \frac{\text{H}_2}{100} + 0,5 \frac{\text{CO}}{100} + \sum \left( n + \frac{m}{4} \right) \frac{\text{C}_m \text{H}_n \text{O}_x}{100} \right] \text{ м}^3$$

або у більш простому вигляді:

$$V_{\text{теор}} = 0,0238 \text{H}_2 + \text{CO} + 2(2\text{CH}_4 + 3,6\text{C}_2\text{H}_6 + 5\text{C}_3\text{H}_8 + 6,5\text{C}_4\text{H}_{10} + 8\text{C}_5\text{H}_{12}) - 2\text{O}_2 \text{ м}^3$$

де  $V_{\text{теор}}$  - теоретично потрібна кількість повітря,

$\text{C}_m \text{H}_n \text{O}_x$  - узагальнена формула вуглеводневих сполук газоподібного палива,  $n$  - кількість атомів у сполучі,

$\text{H}_2, \text{CO}, \text{CH}_4, \dots, \text{C}_m \text{H}_n \text{O}_x$  - вміст кожної сполуки в паливі, %.

Однак, кількість повітря, знайдена за цією формулою може бути достатньою лише за умови, що кожна молекула кисню буде використана для окислення всіх атомів палива, що практично досади неможливо, оскільки неможливо забезпечити абсолютно повне і рівномірне зміцнення палива з повітрям. З цієї причини для гарантування повного згорання паливної суміші в неї вводять повітря в кількості, яка дещо перевищує теоретично необхідну, маючи на увазі, що деяка кількість повітря, отже і кисню, залишиться невикористаною.

За такою ж схемою можна визначити кількість і склад продуктів згорання решти компонентів газоподібного палива, а відтак — при спаленні всього його об'єму.

Для спрощення задачі ці величини виходять за формулами, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$V_{CO} = 0,01(CO + \sum n C_n H_n + CO_2),$$

з урахуванням вологості повітря  $W_0$  йде на горіння (приблизно 1,5% об'єму), кількість водяної пари становить:

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2 + \sum 0,5n C_n H_n + 1,6V_{CO_2}),$$

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)V_{CO_2},$$

$$V_{N_2} = 0,79V_{CO_2} + 0,01N_2,$$

де  $N_2$  — вміст азоту у паливі, %.

Завдання 1: Розрахувати кількість і склад продуктів горіння при згоранні палива з задачі №1.

### Задача 3

В деяких випадках на металургійних заводах застосовують поруч з природним газом інші гази, та їх суміші. Найбільш поширене суміщення є коксо — доменне, тобто суміш коксового та доменного газу у різному співвідношенні.

Для того, щоб визначити теплоту згорання такої суміші, виграду повітря, кількість та склад продуктів горіння треба знати саме це співвідношення між газами. Вони можуть бути заданими, або розрахованими, виходячи із заданої теплоти згорання суміші та складу її компонентів.

#### 3.1. Розрахунок згорання суміші за заданим співвідношенням газів

Для цього спершу розраховують склад суміші за формулою:

$$a^{CO} = a_1 x + a_2 (1 - x),$$

де  $a$  — вміст даного компонента, %.

1 і 2 — види газів, що змішуються.

$x$  — частка одного із газів у суміші.

Наприклад: Спалюється коксодоменна суміш з наступним складом вихідних газів:

Коксовий газ, %	Доменний газ, %
CO <sub>2</sub> 4	12
CO 6	26
CH <sub>4</sub> 26	1

H <sub>2</sub> O	6	3
N <sub>2</sub>	8	55

Доля доменного газу  $\alpha = 0,72$ .

Тоді склад суміші буде таким, %:

$$CO_2^{sum} = 12 \cdot 0,72 + 4(1 - 0,72) = 9,7$$

$$CO^{sum} = 26 \cdot 0,72 + 6 \cdot 0,28 = 20,4$$

$$CH_4^{sum} = 1 \cdot 0,72 + 26 \cdot 0,28 = 8,0$$

$$H_2^{sum} = 3 \cdot 0,72 + 50 \cdot 0,28 = 16,1$$

$$H_2O^{sum} = 3 \cdot 0,72 + 6 \cdot 0,28 = 3,8$$

$$N_2^{sum} = 55 \cdot 0,72 + 8 \cdot 0,28 = 42,0$$

100,00

Завдання: Виходячи з заданого складу газів наведених у табл.3 розрахувати склад суміші, її теплоту згорання, кількість повітря, необхідну для горіння, та кількість і склад продуктів горіння.

#### 3.2. Розрахунок згорання суміші за розрахованими співвідношеннями газів

У цьому випадку, за відомим складом вихідних газів визначають їх теплоту згорання і за заданою теплотою згорання суміші розраховують частку одного з газів (доменного) у суміші. Далі розраховують всі інші параметри горіння.

Наприклад: Спалюється коксодоменна суміш з попереднім складом (№3.1) і теплотою горіння  $Q_{г}^* = 1800$  ккал/м<sup>3</sup>.

Знаходимо теплоту згорання вихідних газів за формулою:

$$Q_{г}^* = 0,01 \sum q \cdot a$$

доменний  $Q_{г}^* = 3020 \cdot 0,26 + 8550 \cdot 0,02 + 3050 \cdot 0,03 = 960$  ккал/м<sup>3</sup>,

коксовий  $Q_{г}^* = 3020 \cdot 0,06 + 8550 \cdot 0,26 + 3050 \cdot 0,5 = 3930$  ккал/м<sup>3</sup>.

За цими даними знаходимо частку доменного газу у суміші:

$$x = \frac{Q_{г}^* - Q_{г}^{*CO}}{Q_{г}^{*CO} - Q_{г}^{*CO_2}} = \frac{3930 - 1800}{3930 - 960} = 0,72$$

Відповідно до розрахованої частки доменного газу визначають склад суміші і значення всіх величин, пов'язаних з її горінням.

Через те, що частка доменного газу виявилася однаковою з її значенням у задачі №3.1, немає потреби виконувати подальші розрахунки, оскільки результати будуть ті ж самі.

Завдання: Виходячи з заданого складу вихідних газів та теплоти згорання суміші (табл.4), розрахувати потрібну кількість повітря, кількість і склад продуктів горіння.

Література

1. Кунаков Н.Е. Газовое хозяйство металлургических заводов.-Свердловск: Металлургияздт, 1951.-290 с.
2. Рефалович И.М. Природный газ, как топливо металлургических печей.- М.: Металлургияздт, 1961.- 324 с.
3. Ионин А.А. Газоснабжение.- М.: Стройиздат, 1989.-469 с.
4. Мурзаков В.В. Горючие газы и их свойства. - Л.: Недра, 1978. - 152 с.
5. Кузьмачен В.А. и др. Металлургические печи. - М.: Металлургияздт, 1962. - 600 с.

8/Н

Запорізька державна  
інженерна академія  
БІБЛІОТЕКА