

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного
господарства та природокористування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та
гідравлічних машин

01-06-78М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
«Системи виробництва та розподілу енергоносіїв»
(Тема «Системи паливостачання промислових
підприємств») для здобувачів вищої освіти першого
(бакалаврського) рівня за ОПП «Теплоенергетика»
спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14
«Електрична інженерія» усіх форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІВГП
Протокол № 10 від 20 червня 2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Системи виробництва та розподілу енергоносіїв» (Тема «Системи паливостачання промислових підприємств») для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за ОПП «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Куба В. В. – Рівне : НУВГП, 2023. – 26 с.

Укладач:

Куба В. В.– старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Відповідальний за випуск – Рябенко О. А., д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Керівник ОПП

Костюк О. П.

© В. В. Куба, 2023

© НУВГП, 2023

ЗМІСТ

Вступ_____	3
1.Завдання до розрахунку_____	4
2. Приклади виконання завдань_____	9
Додатки_____	25
Література_____	26

ВСТУП

Серед систем теплоенергопостачання промислових підприємств особливе місце посідають системи паливопостачання, що забезпечують підприємства горючими газами, рідким або твердим паливом для отримання теплової енергії та перетворення її в інші види енергоресурсів, які необхідні в технологічному процесі.

В даних методичних вказівках приведено умови задач для розрахунку систем паливопостачання промислових підприємств з варіантами завдань, теоретичні основи для розрахунків, приклади виконання задач.

Метою проведення практичних занять є закріплення теоретичних знань, отриманих при вивченні теоретичного курсу, активізація роботи кожного студента, розвиток навичок самостійного виконання поставлених задач, аналіз їх результатів і вибір раціональних рішень систем паливопостачання; ознайомлення з методикою розрахунку елементів даних систем та їх основних характеристик.

1. ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

1.1. Відносна густина газу.

Визначити відносну густину газу, склад якого наведений в табл.1.1, згідно номеру варіанту. Вологовміст газу прийняти для всіх варіантів $d_v = 10g/m^3$.

Таблиця 1.1

Склад сухого газоподібного палива, %

№ вар.	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	H ₂ S	C ₃ H ₆
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	98,7	0,35	0,12	0,06	-	0,1	0,67	-	-
2	94,0	1,8	0,4	0,1	0,1	0,1	3,5	-	-
3	77,8	4,4	1,7	0,8	-	0,2	13,5	1,0	0,6
4	93,5	4,0	1,0	0,5	0,5	0,1	0,4	-	-
5	97,25	0,5	0,2	0,1	0,6	0,05	1,3	-	-
6	92,2	0,8	-	1,0	-	-	6,0	-	-
7	94,06	2,49	0,38	0,24	0,1	0,13	2,6	-	-
8	90,8	5,4	1,2	0,3	-	0,6	1,0	-	0,7
9	93,5	3,3	0,5	0,3	-	0,5	1,7	-	0,2
10	94,8	2,3	0,9	0,5	-	0,2	1,0	-	0,3
11	98,5	0,082	0,0003	0,001	-	0,1	1,3	-	0,0167
12	85,78	4,84	1,48	0,586	-	0,581	5,014	1,267	0,45
13	98,0	-	-	-	-	0,2	1,8	-	-
14	97,8	0,4	-	0,3	-	0,2	1,3	-	-
15	75,7	21,3	1,4	1,6	-	-	-	-	-
16	98,0	0,1	-	1,9	-	-	-	-	-
17	30,0	13,0	14,3	6,3	3,3	1,4	0,7	1,0	30,0
18	42,7	20,0	19,5	9,5	2,9	-	-	0,2	5,2
19	40,0	19,5	18,0	7,5	3,8	1,1	-	0,1	10,0
20	23,7	12,0	10,0	2,8	1,5	1,0	2,0	1,0	46,0
21	29,0	15,8	15,8	15,8	-	-	-	3,5	20,1
22	42,4	12,0	20,5	7,2	3,1	-	2,8	1,0	11,0
23	85,4	7,2	1,7	2,1	1,4	-	-	0,4	1,8

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24	98,7	0,35	0,12	0,06	-	0,1	0,67	-	-
25	93,5	4,0	1,0	0,5	0,5	0,1	0,4	-	-

1.2. Пропускна спроможність магістрального газопроводу.

Визначити добову пропускну спроможність магістрального газопроводу, якщо по ньому транспортується горючий газ (склад газу дано в завданні 1.1) при середній температурі $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Довжину розрахункової ділянки Z , початковий $P_{\text{п}}$ і кінцевий $P_{\text{к}}$, абсолютні тиски, внутрішній діаметр $D_{\text{вн}}$ газопроводу для відповідного варіанту вибрати з табл.1.2.

Таблиця 1.2

Значення Z , $P_{\text{п}}$, $P_{\text{к}}$, $D_{\text{вн}}$ залежно від номеру варіанту

№ варіанту	Z , км	$P_{\text{п}}$, МПа	$P_{\text{к}}$, МПа	$D_{\text{вн}}$, м
1	2	3	4	5
1	30	4,0	2,5	0,706
2	32	4,1	2,6	0,704
3	34	4,2	2,7	0,702
4	36	4,3	2,8	0,700
5	38	4,4	2,9	0,698
6	40	4,5	3,0	0,696
7	42	4,6	3,1	0,618
8	44	4,7	3,2	0,616
9	46	4,8	3,3	0,614
10	48	4,9	3,4	0,612
11	50	5,0	3,5	1,004
12	52	5,1	3,6	0,904
13	54	5,2	3,7	0,804
14	56	5,3	3,8	0,704

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
15	58	5,4	3,9	0,616
16	60	5,5	4,0	0,516
17	62	5,6	4,1	1,004
18	64	5,7	4,2	0,904
19	68	5,8	4,3	0,804
20	70	5,9	4,4	0,704
21	72	6,0	4,5	0,616
22	74	6,1	4,6	0,516
23	76	6,2	4,7	1,004
24	78	6,3	4,8	0,904
25	80	6,4	4,9	0,804

1.3. Гідравлічний розрахунок газопроводів.

Визначити втрати тиску на подолання сил тертя в газопроводі низького тиску із водогазопровідних труб, що мають розміри $d \times s$, довжиною l при витратах природного газу V_G . Склад газу взяти з табл.1.1, температуру газу – 20°C для усіх варіантів. Значення $d \times s$, l , V_G вибрати з табл.1.3., згідно номеру варіанту.

Таблиця 1.3

Початкові дані до завдання 1.3

№ варіанту	$d \times s$, мм	V_G , м ³ /год	l , м	$D_1 \times s_1$, мм	$d_2 \times s_2$, мм	l_1 , м	l_2 , м	P_1 , кгс/см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	75,5x4	70	120	80x3	57x3	100	20	4,1
2	75,5x4	80	130	80x3	57x3	90	15	4,2
3	75,5x4	90	140	80x3	57x3	80	10	4,3
4	75,5x4	100	150	80x3	57x3	70	8	4,4

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	75,5x5	110	110	80x3	57x3	65	12	4,5
6	75,5x5	120	100	80x3	57x3	60	15	4,6
7	75,5x4	130	90	80x3	57x3	55	16	4,7
8	75,5x4	140	80	80x3	57x3	50	17	4,8
9	75,5x4	150	70	80x3	57x3	45	18	4,9
10	75,5x4	160	60	80x3	57x3	40	20	5,0
11	88,5x4	50	100	108x4	88,5x4	80	10	5,1
12	88,5x4	70	120	108x4	88,5x4	80	15	5,2
13	88,5x4	90	130	108x4	88,5x4	90	20	5,3
14	88,5x4	150	140	108x4	88,5x4	100	25	5,4
15	88,5x4	170	170	108x4	88,5x4	120	30	5,5
16	88,5x4	200	180	108x4	88,5x4	140	40	5,6
17	88,5x4	300	190	108x4	88,5x4	150	20	5,7
18	140x4,5	1500	150	150x4	140x4,5	120	10	5,8
19	140x4,5	1000	190	150x4	140x4,5	130	20	5,9
20	140x4,5	800	220	150x4	140x4,5	140	30	6,0
21	140x4,5	500	150	150x4	140x4,5	150	35	6,1
22	140x4,5	300	300	150x4	140x4,5	180	40	6,2
23	273x7	1500	400	325x8	273x7	300	20	6,3
24	273x7	4000	350	325x8	273x7	250	50	6,4
25	273x7	5000	300	325x8	273x7	220	70	6,5

1.4. Визначення витрати газу споживачу.

Визначити річні витрати природного газу на опалювання і природню вентиляцію приміщення, яке має зовнішні розміри $a \times b \times c$, якщо воно опалюється від ТЕЦ. Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період становить t_g . Тривалість опалювального періоду $n_{от}$ місяців. При розрахунках взяти $\eta_{от} = \eta_g = 0.75$. Значення $a \times b \times c$, t_g , $n_{от}$ вказані в табл.1.4. Теплота згорання відповідає паливу, склад якого вказано в табл. 1.1.

Таблиця 1.4

Початкові дані до завдання 1.4

№ варіанту	$a \times b \times c$, м	$t_{г}$, °С	$n_{от}$
1	2	3	4
1	15x35x25	2	4,0
2	15x35x25	3	4,0
3	15x35x25	4	4,0
4	15x35x25	5	4,5
5	15x35x25	6	4,5
6	15x35x25	7	4,5
7	15x35x25	8	5,0
8	15x35x25	9	5,0
9	15x35x25	10	-
11	10x40x20	-	5,0
12	10x40x20	3	5,0
13	10x40x20	4	5,0
14	10x40x20	5	5,0
15	10x40x20	6	4,5
16	10x40x20	7	4,5
17	10x40x20	8	4,5
18	10x40x20	9	4,5
19	10x40x20	10	4,0
20	10x40x20	10	4,0
21	7x50x16	2	4,5
22	7x50x16	3	4,5
23	7x50x16	4	4,5
24	7x50x16	5	5,0
25	7x50x16	6	5,0

1.5. Очищення природного газу від сірководню і діоксиду вуглецю.

Визначити кількість сірководню і діоксиду вуглецю, яку можна добути із забрудненого газу, якщо кількість витраченого водяного

розчину моноетаноламіну складає m , а концентрація моноетаноламіну в водяному розчині – n . Значення m і n взяти з таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Початкові дані до завдання 1.5

№ варіанту	m , кг	n , %	№ варіанту	m , кг	n , %
1	20	20	14	33	23
2	21	20	15	34	23
3	22	20	16	35	23
4	23	20	17	36	23
5	24	20	18	37	23
6	25	21	19	38	24
7	26	21	20	39	24
8	27	21	21	40	24
9	28	21	22	41	24
10	29	21	23	42	24
11	30	22	24	43	24
12	31	22	25	44	24
13	32	22			

2. ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

2.1. Відносна густина газу.

Визначити відносну густина природного газу ($\text{CH}_4 = 93,51\%$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 3,8\%$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,9\%$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,8\%$; $\text{CO}_2 = 0,09\%$; $\text{N}_2 = 0,9\%$). Вологовміст палива прийняти $d_r = 10\text{г/м}^3$.

Теоретичні відомості

При розрахунку об'ємної витрати газу через газопровід виникає необхідність в визначенні відносної густини газу:

$$S = \frac{\rho_{\Gamma}^{n,y}}{\rho_B^{n,y}} \quad (2.1)$$

де $\rho_{\Gamma}^{n,y}$, $\rho_B^{n,y}$ - густина відповідного газу і повітря при нормальних

умовах, кг/м^3 ($\rho_B^{n,y} = 1,293 \text{кг/м}^3$).

Якщо газ складається з декількох компонентів, то

$$\rho_B^{n,y} = \rho_{cm}^{n,y}, \quad (2.2)$$

де $\rho_{cm}^{n,y}$ - середня густина газової суміші при нормальних умовах, кг/м^3 ;

$$\rho_{cm}^{n,y} = \sum_{i=1}^n \rho_i^{n,y} \chi_i, \quad (2.3)$$

$\rho_i^{n,y}$ - густина i -го компоненту газу при нормальних умовах, кг/м^3 ;

χ_i - об'ємна доля i -го компоненту;

$$\rho_i^{n,y} = \frac{\mu_i}{22,4}, \quad (2.4)$$

μ_i - молекулярна маса i -го компоненту, кг/кмоль ; $22,4 \text{м}^3/\text{кмоль}$ – об'єм, що займає 1 кмоль газу при нормальних умовах.

Рішення. 1. Перевіримо правильність задання складу палива:

$$\sum_{i=1}^n V_i = 100\% ;$$

$$\begin{aligned} CH_4 + C_2H_6 + C_3H_8 + C_4H_{10} + CO_2 + N_2 &= \\ = 93,51 + 3,8 + 0,9 + 0,8 + 0,09 + 0,9 &= 100\% . \end{aligned}$$

2. Коефіцієнт перерахунку сухого газу на вологий

$$K = \frac{804}{804 + d_r} = \frac{804}{804 + 10} = 0,988. \quad (2.5)$$

3. Склад вологого газу:

$$CH_4^{gl} = CH_4 K = 93,51 - 0,988 = 92,38\%$$

Аналогічно

$$C_2H_6^{gl} = 3,75\%$$

$$C_3H_8^{gl} = 0,89\%$$

$$C_4H_{10}^{gl} = 0,79\%$$

$$CO_2^{gl} = 0,0889\%; \quad \approx 0,9\%$$

$$N_2^{gl} = 0,89\%$$

$$H_2O^{gl} = 100 - (CH_4^{gl} + C_2H_6^{gl} + C_3H_8^{gl} + C_4H_{10}^{gl} + CO_2^{gl} + N_2^{gl}) = \\ = 100 - (92,38 + 3,75 + 0,89 + 0,79 + 0,09 + 0,89) = 100 - 98,79 = 1,21\%$$

Остаточно отримаємо склад вологого газу:

$$CH_4 = 92,38\%; \quad C_2H_6 = 3,75\%; \quad C_3H_8 = 0,89\%$$

$$C_4H_{10} = 0,79\%; \quad CO_2 = 0,09\%; \quad N_2 = 0,89\%;$$

$$H_2O = 1,21\% .$$

4. Середня густина газу за нормальних умов:

$$\rho_r^{n,y} = \rho_{CH_4}^{n,y} \nu_{CH_4} + \rho_{C_2H_6}^{n,y} \nu_{C_2H_6} + \rho_{C_3H_8}^{n,y} \nu_{C_3H_8} + \rho_{C_4H_{10}}^{n,y} \nu_{C_4H_{10}} + \\ + \rho_{CO_2}^{n,y} \nu_{CO_2} + \rho_{N_2}^{n,y} \nu_{N_2} + \rho_{H_2O}^{n,y} \nu_{H_2O} = \frac{1}{22,4} (\mu_{CH_4} \nu_{CH_4} + \mu_{C_2H_6} \nu_{C_2H_6} + \\ + \mu_{C_3H_8} \nu_{C_3H_8} + \mu_{C_4H_{10}} \nu_{C_4H_{10}} + \mu_{CO_2} \nu_{CO_2} + \mu_{N_2} \nu_{N_2} + \mu_{H_2O} \nu_{H_2O}) = \\ + \mu_{C_3H_8} \nu_{C_3H_8} + \mu_{C_4H_{10}} \nu_{C_4H_{10}} + \mu_{CO_2} \nu_{CO_2} + \mu_{N_2} \nu_{N_2} + \mu_{H_2O} \nu_{H_2O} = \\ = \frac{1}{22,4} (16 \cdot 0,9238 + 30 \cdot 0,0375 + 44 \cdot 0,0089 + 58 \cdot 0,0079 + \\ + 44 \cdot 0,0009 + 28 \cdot 0,0089 + 18 \cdot 0,0121) = 0,77 \text{ кг/м}^3.$$

3. Відносна густина газу за (3.1)

$$S = \frac{0,77}{1,293} = 0,595$$

2.2. Пропускна здатність магістрального газопроводу

Визначити добову пропускну здатність магістрального газопроводу, якщо по ньому транспортується горючий газ (склад взято із завдання 3.1) при середній температурі $t_r = 36^\circ\text{C}$. Довжина розра-

хункової ділянки $Z = 40$ км. Тиск на початку газопроводу і в кінці дорівнює відповідно $P_n = 40$ ата, $P_k = 20$ ата. Внутрішній діаметр газопроводу становить $D_{вн} = 1010$ мм.

Теоретичні відомості

Пропускна спроможність магістрального газопроводу визначається так:

$$V_{дооб} = 3324^{2,5} \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\lambda S Z_{cp} Z T_{cp}}}, \quad (2.6)$$

де $V_{дооб}$ добова пропускна спроможність, млн.м³ при $P_{cp}^p = 101,3$ кПа і $T_{cp}^p = 293$ К; d – внутрішній діаметр газопроводу, м, $d = D_{вн}$; P_n , P_k – абсолютний тиск відповідно на початку і в кінці газопроводу, МПа; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; S – відносна густина газу; Z_{cp} – середній по довжині розрахункової ділянки коефіцієнт стиску газу; Z – довжина розрахункової ділянки газопроводу, м; T_{cp} – середня по довжині розрахункової ділянки абсолютна температура газу, К.

Величина λ залежить від режиму руху газу по газопроводу і при визначенні $V_{дооб}$ нею необхідно на початку задатися, а тоді перевірити по наступних залежностях:

$$\lambda = 64 / Re \quad (\text{при } Re \leq 2000); \quad (2.7)$$

$$\lambda = 0,0025 \sqrt[3]{Re} \quad (4000 > Re > 2000); \quad (2.8)$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_{\text{э}}}{d'} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (Re \geq 4000). \quad (2.9)$$

В (2.9) $K_{\text{э}}$ – еквівалентний коефіцієнт абсолютної шорсткості внутрішньої поверхні труби (для сталевих труб $K_{\text{э}} = 0,01$ см);

d' - внутрішній діаметр газопроводу, см.

Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{wd}{\nu} \quad (2.10)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної вязкості газу, м²/с.

Значення ν можна наближено визначити для газової суміші таким чином

$$\lg \nu_0 = -3,4 - 1,23 \lg \mu_{cp} \quad (2.11)$$

де ν_0 - коефіцієнт кінематичної вязкості газу при $t_\Gamma = 0^\circ\text{C}$, м²/с;

μ_{cp} - середня молекулярна маса газу, кг/моль.

Формула (2.11) справедлива для $30 < \mu_{cp} < 120$;

$$\mu_{cp} = \sum_{i=1}^n \mu_i \chi_i \quad (2.12)$$

Величина ν не вагомо залежить від тиску. Вплив температури газу на ν_0 може бути взятий до уваги так:

$$\nu = \nu_0 \frac{273 + C}{T_\Gamma + C} \left(\frac{T_\Gamma}{273} \right)^{1,5} \quad (2.13)$$

де $C = 0,7 T_{cp,kr}$; $T_\Gamma = t_\Gamma + 273$; $T_{cp,kr}$ - середня критична температура газової суміші, К.

$$T_{cp,kr} = \sum_{i=1}^n T_{кр,i} \chi_i \quad (2.14)$$

де $T_{кр,i}$ - критична температура i -го компонента, К; χ_i - об'ємна доля i -го компонента газу.

Значення Z_{cp} для суміші газів визначають в залежності від середньо приведеного абсолютного тиску P_{np}^{cp} і середньо приведеної абсолютної температури T_{np}^{cp} на розрахунковій ділянці газопроводу,

$$Z_{cp} = \phi(P_{np}^{cp}; T_{np}^{cp}) \quad (2.15)$$

$$\text{Звідси} \quad P_{np}^{cp} = \frac{P_{abc}^{cp}}{P_{cp,kr}}; \quad (2.16)$$

$$T_{np}^{cp} = \frac{T_{abc}^{cp}}{T_{cp.kp}}; \quad (2.17)$$

$$P_{cp.kp} = \sum_{i=1}^n P_{kp.i} \cdot \chi_i; \quad (2.18)$$

$$P_{abc}^{cp} = 0,5(P_n + P_k); \quad (2.19)$$

де $P_{cp.kp}$ – середньоквадратичний тиск газової суміші, МПа; $T_{cp.kp}$ визначають за (2.14).

Значення критичних тисків і температур для різних газів наведено в додатку 1, а залежність (2.15) у вигляді графіка дано в дод. 2.

Рішення. 1. Внутрішній діаметр газопроводу $d = 1,01\text{ м}$.

2. Відносна густина газу визначена у завданні 2.1: $S = 0,595$.

3. Тиск на початку розрахункової ділянки газопроводу

$$P_n = 40\text{ ата} = 40 \cdot 0,0981\text{ МПа} = 3,924\text{ МПа}.$$

4. Тиск в кінці розрахункової ділянки газопроводу

$$P_k = 20\text{ ата} = 20 \cdot 0,0981\text{ МПа} = 1,962\text{ МПа}.$$

5. Для визначення Z_{cp} підготуємо табл. 2.1, в якій подано величини, необхідні для розрахунку, і проміжні розрахунки.

Таблиця 2.1

До визначення Z_{cp}

Компоненти	χ_i	$t_{кр.i}$, °С	$T_{кр.i}$, К	$P_{кр.i}$, МПа	$P_{кр.i} \chi_i$	$T_{кр.i} \chi_i$
CH_4	0,9238	-82,1	190,9	4,493	4,1506	176,3
C_2H_6	0,0375	32,3	305,3	4,728	0,1773	11,45
C_3H_8	0,0089	95,7	368,7	4,25	0,0378	3,28
C_4H_{10}	0,0079	152,8	425,8	3,502	0,0276	3,36
CO_2	0,0009	31,1	304,1	7,397	0,0066	0,27
N_2	0,0089	-147,1	125,9	3,394	0,0302	1,12
H_2O	0,0121	374,12	647,12	22,12	0,2676	7,83
Всього	1,0	-	-	-	4,6977	203,66
					$P_{ср.кр}$	$T_{ср.кр}$

6. Середній абсолютний тиск на розрахунковій ділянці [за (2.19)]

$$P_{абс}^{ср} = 0,5 (3,924 + 1,962) = 2,943 \text{ МПа.}$$

7. Середньо наведений абсолютний тиск [за (2.16)]

$$P_{np}^{ср} = \frac{2,943}{4,6977} = 0,626,$$

де $P_{np}^{ср}$ візьмемо з табл.2.1.

8. Середньо наведена абсолютна температура [за (2.17)]

$$T_{np}^{ср} = \frac{T_{абс}^{ср}}{T_{ср.кр}} = \frac{273 + t_{Г}}{T_{ср.кр}} = \frac{273 + 36}{203,66} = 1,517$$

де $T_{ср.кр}$ знаходимо по табл.2.1.

9. За графіком (див. дод.2) визначимо $Z_{ср} = 0,95$.

10. Задамося коефіцієнтом гідравлічного тертя. Візьмемо λ в (2.6), маємо

$$V_{\text{доб}} = 3324 \cdot 1,01^{2,5} \sqrt{\frac{3,924^2 - 1,962^2}{0,012 \cdot 0,595 \cdot 0,95(273 + 36)}} =$$

$$= 39,9948 \text{ млн.м}^3/\text{доб}$$

Отримане значення $V_{\text{доб}}$ буде відповідати розрахунковому тиску

$$P_{\text{cp}}^p = 101,3 \text{ кПа і розрахунковій температурі } T_{\text{cp}}^p = 293 \text{ К;}$$

Перерахуємо $V_{\text{доб}}$ на робочі умови з врахуванням коефіцієнта стиску Z_{cp} :

$$V_{\text{доб}}^p = \frac{P_{\text{cp}}^p V_{\text{доб}} T_{\Gamma}}{P_{\text{абс}}^p T_{\text{cp}}^p Z_{\text{cp}}} = \frac{0,1013 \cdot 39,9948 \cdot 309}{2,943 \cdot 293 \cdot 0,95} = 1,5282 \text{ млн.м}^3/\text{доб.}$$

12. Для перевірки заданого завдання λ визначимо швидкість в перерізі газопроводу і число Рейнольдса:

$$w = \frac{V_{\text{доб}}^p \cdot 4}{\pi d^2} = \frac{1,5282 \cdot 10^6 \cdot 4}{24 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 1,01^2} = 22,09 \text{ м/с;}$$

$$\text{Re} = \frac{22,09 \cdot 1,01}{13,218 \cdot 10^{-6}} = 1,6879 \cdot 10^6$$

де $13,218 \cdot 10^{-6} = \nu$, значення якого обчислимо за (2.11) – (2.13).

$$C = 0,7 T_{\text{cp,кр}} = 0,7 \cdot 203 \cdot 66 = 142 \cdot 56 \text{ К;}$$

$$\lg \nu_0 = -3,4 - 1,23 \lg \mu_{\text{cp}}.$$

де

$$\mu_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^n \mu_i \chi_i = \mu_{\text{CH}_4} \chi_{\text{CH}_4} + \mu_{\text{C}_2\text{H}_6} \chi_{\text{C}_2\text{H}_6} + \mu_{\text{C}_3\text{H}_8} \chi_{\text{C}_3\text{H}_8} + \mu_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \chi_{\text{C}_4\text{H}_{10}}$$

$$+ \mu_{\text{CO}_2} \chi_{\text{CO}_2} + \mu_{\text{N}_2} \chi_{\text{N}_2} + \mu_{\text{H}_2\text{O}} \chi_{\text{H}_2\text{O}} = (16 \cdot 0,9238 + 30 \cdot 0,0375 +$$

$$+ 44 \cdot 0,0089 + 58 \cdot 0,0079 + 44 \cdot 0,0009 + 28 \cdot 0,0089 + 18 \cdot 0,0121) =$$

$$= 0,77 \text{ кг/м}^3.$$

В результаті підстановки μ_{cp} в (3.11) отримаємо $\lg \nu_0 = -3,4 - 1,23 \lg 17,26$.

$$\lg v_0 = -3,4 - \frac{1,23 \cdot \ln 17,26}{2,3} = -3,4 - \frac{1,23 \cdot 2,8484}{2,3} = -4,923$$

Запишемо

$$v_0 = 10^{-4,923} = 11,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

З урахуванням поправки на температуру [див. (2.15)] коефіцієнт кінематичної в'язкості газу становитиме

$$\nu = 11,93 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 142,56}{(273 + 36) + 142,56} \left(\frac{273 + 36}{273} \right)^{1,5} = 13,218 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

13. в зв'язку з тим, що $Re > 4000$, за (2.9) визначимо дійсне значення λ_g :

$$\lambda_g = 0,11 \left(\frac{0,01}{101} + \frac{68}{1,6879 \cdot 10^6} \right)^{0,25} = 0,01195 \approx 0,012.$$

Отже, $\lambda \approx \lambda_g$.

2.3. Гідравлічний розрахунок газопроводу низького тиску ($Re > 4 \cdot 10^3$).

Визначити втрати тиску в газопроводі $d_n \times s = 75,5 \times 3,75$ мм довжиною 120 м при витратах природного газу в нормальних умовах $V_0 = 70 \text{ м}^3/\text{год}$. При цьому необхідно взяти $\rho_0 = 0,73 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Теоретичні відомості

При русі газу по трубопроводах, його тиск поступово знижується за рахунок подолання сил, що з'являються в результаті тертя об внутрішню поверхню стінок трубопроводу ΔP_{TP} , а також місцевих опорів $\Delta P_{м.с}$. Виходить, сумарні втрати тиску будуть становити

$$\Delta P = \Delta P_{TP} + \Delta P_{м.с}. \quad (2.20)$$

В зв'язку із незначними перепадами газу в газопроводах низького тиску густина газу майже не змінюється і, отже, об'ємні витрати практично залишаються постійними.

Втрати тиску газу в газопроводах низького тиску на тертя можна вирахувати наступним чином:

$$\Delta P_{TP} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2} \rho, \quad (2.21)$$

де ΔP_{TP} – опір тертю, Па; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; l – довжина розрахункової ділянки, м; w – швидкість газу в перетині газопроводу, м/с; ρ – густина газу, кг/м³; d – внутрішній діаметр, м.

Величина ρ може бути знайдена при нормальних умовах для газопроводу низького тиску. Значення λ залежить від режиму руху газу і вираховується за (2.7) – (2.9).

В значенні числа $Re = \frac{wd}{\nu}$ величина ν може бути визначена за (2.11) – (2.13), або для природного газу взяти $14,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Крім (2.21) для низького тиску можна використовувати наступні формули:

$$\Delta P_{TP} = 0,81\lambda \frac{l}{d^5} V_0^2 \rho_0; \quad (2.22)$$

при $Re \leq 2 \cdot 10^3$

$$\Delta P_{TP} = 226463,9 \frac{(V_0')^2}{(d')^4} \nu \rho_0 l; \quad (2.23)$$

при $Re = (2 - 4) \cdot 10^3$

$$\Delta P_{TP} = 0,5158 \frac{(V_0')^{2,333}}{(d')^{5,333} \nu^{0,333}} \rho_0 l; \quad (2.24)$$

при $Re > 4 \cdot 10^3$

$$\Delta P_{TP} = 68,78 \left(\frac{K}{d'} + 1922 \frac{\nu d'}{V_0'} \right)^{0,25} \frac{(V_0')^2}{(d')^2} = \rho_0 l; \quad (2.25)$$

Усреднюючи (2.22) – (2.25), для приблизного визначення перепаду тисків в газопроводах низького тиску при усіх режимах руху може бути рекомендована формула

$$\Delta P_{TP} = 22,76 \frac{(V_0')^{1,75}}{(d')^{4,75}} = l; \quad (2.26)$$

де в (2.22) – (2.26) ΔP_{TP} - втрата тиску на тертя, Па; l – довжина розрахункової ділянки, м; V_0 – витрати газу при нормальних умовах, м³/с (V_0' , м³/год); ρ_0 – густина газу, кг/м³; d – внутрішній діаметр трубопроводу, м (d' , см).

При втраті тиску газу в місцевих опорах

$$\Delta P_{m.c} = \xi \frac{w^2}{2} \rho_0; \quad (2.27)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору.

Якщо маємо декілька послідовно розміщених опорів на одному діаметрі газопроводу, то втрати тиску газу в місцевих опорах будуть такими:

$$\Delta P_{m.c} = \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{w^2}{2} \rho; \quad (2.28)$$

Рішення. 1. За (2.21) визначаємо внутрішній діаметр газопроводу

$$d = d_n - 2s = 75,5 - 2 \cdot 3,75 = 68 \text{ мм} = 0,068 \text{ м.}$$

2. Швидкість руху газу

$$w = \frac{V_0 \cdot 4}{3600 \pi d^2} = \frac{70 \cdot 4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,068^2} = 5,36 \text{ м/с.}$$

3. Число Рейнольдса

$$Re = \frac{wd}{\nu} = \frac{5,36 \cdot 0,068}{14,3 \cdot 10^{-6}} = 25488,$$

$Re > 4 \cdot 10^3$ – турбулентний режим

4. Коефіцієнт гідравлічного тертя [за (2.9)]

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,01}{6,8} + \frac{68}{15488} \right)^{0,25} = 0,0279$$

5. Втрати тиску на тертя

$$\Delta P_{TP} = 0,0279 \frac{120}{0,068} \cdot \frac{5,36^2}{2} \cdot 0,73 = 516 \text{ Па};$$

[за (2.22)]

$$\Delta P_{TP} = \frac{0,81 \cdot 0,0279 \cdot 120 \cdot 70^2 \cdot 0,73}{0,068^5 \cdot 3600^2} = 514 \text{ Па};$$

[за (2.25)]

$$\Delta P_{TP} = 68,78 \left(\frac{0,01}{6,8} + 1922 \frac{14,3 \cdot 10^{-6} \cdot 6,8}{70} \right)^{0,25} \times \frac{70^2 \cdot 0,73 \cdot 120}{6,8^5} =$$

$$= 514,26 \text{ Па};$$

[за (2.26)]

$$\Delta P_{TP} = \frac{22,76 \cdot 70^{1,76}}{6,8^{4,75}} 120 = 513,85 \text{ Па}.$$

Як видно з результатів розрахунків, співвідношення формул (2.21), (2.22), (2.25) і (2.26) цілком задовільне.

2.4. Визначення витрат газу споживачу

Визначити річні витрати газу на опалення і вентиляцію житлової будівлі, розмірами $60 \times 40 \times 15$, якщо вона опалюється від ТЕЦ. Паливо – горючий газ з $Q_H^p = 27400 \text{ кДж/м}^3$. Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $+2^\circ\text{C}$. Тривалість опалювального періоду 4,5 міс. При розрахунках ККД опалювальної установки взяти 0,75.

Теоретичні відомості

Річні витрати газу для опалювання житлової будівлі становитимуть

$$V_{оп} = \frac{q_0 (t_{вн} - t_{зовн}) V_{зовн} \cdot 24 \cdot 3600 n_0}{Q_H^p \eta_0}; \quad (2.29)$$

де q_0 – питома опалювальна характеристика будівлі, Вт/(м³·К) (кількість тепла, яке необхідно затратити на опалювання 1м³ будівлі при підвищенні температури в середині на 1°С, рекомендоване значення $q_0 = 0,35 \dots 0,45$ Вт/(м³·К); $t_{\text{вн}}$ – розрахункова температура в середині будівлі, °С (для житлових будівель $t_{\text{вн}} = 18^\circ\text{C}$, для суспільних $t_{\text{вн}} = 18^\circ\text{C}$); $t_{\text{зовн}}$ – температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С (визначається за санітарними нормами і правилами або задається в умові задачі); $V_{\text{зовн}}$ – об’єм будинку, м³ (визначається за зовнішніми розмірами будівлі); n_0 – тривалість опалювального періоду, (визначається за умовою задачі); η_0 – ККД опалювальної установки (при опаленні від ТЕЦ приймається $\eta_0 = 0,8 \dots 0,85$; при опаленні від місцевої котельні $\eta_0 = 0,65 \dots 0,8$).

Річні витрати газу на природню вентиляцію будівлі в зв’язку з втратою тепла через вентиляційні канали визначаються так:

$$V_B = \frac{q_B(t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})V_{\text{зовн}} \cdot 24 \cdot 3600n_0}{Q_H^P \eta_0}; \quad (2.30)$$

де q_B – питома вентиляційна характеристика будівлі, Вт/(м³·К) (кількість тепла, що втрачає 1м³ будівлі при зниженні температури повітря в середині будівлі на 1°С, рекомендоване значення $q_B = 0,3$ Вт/(м³·К);

Інші позначення в (2.30) такі ж, як і в (2.29).

Рішення. 1. Коротко запишемо умову прикладу:

$$a \times b \times c = 60 \times 40 \times 15 \text{ м}; \quad Q_H^P = 27400 \text{ кДж/м}^3; \quad t_{\text{зовн}} = 2^\circ\text{C};$$

$$n_0 = 4,5 \text{ міс}; \quad \eta_0 = 0,75.$$

2. Приймаємо розрахункову температуру для житлового приміщення $t_{\text{вн}} = 18^\circ\text{C}$.

3. Річні витрати газу на опалення визначимо за (2.29).

4. Питому опалювальну характеристику будівлі виберемо таку:

$q_0=0,4\text{Вт/м}^3\cdot\text{К}$; вентиляційну характеристику $q_B = 0,23\text{Вт}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$;

5. Річні витрати газу на опалення за (3.36).

$$V_{оп} = \frac{0,4(18-2) \cdot 60 \cdot 40 \cdot 15 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 4,5 \cdot 30}{27400 \cdot 10^3 \cdot 0,75} =$$
$$= 130773,01 \text{ м}^3/\text{рік}$$

де 30 – кількість днів в місяці

6. Річні витрати газу на вентиляцію за (2.30)

$$V_B = \frac{0,23(18-2) \cdot 60 \cdot 40 \cdot 15 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 4,5 \cdot 30}{27400 \cdot 10^3 \cdot 0,75} = 75194,48 \text{ м}^3.$$

7. Річні витрати газу на опалення і вентиляцію

$$V_{оп} + V_B = 130773,01 + 75194,48 = 205967,48 \text{ м}^3/\text{рік}$$

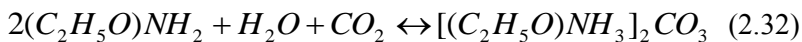
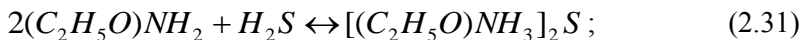
2.5. Очищення природного газу від сірководню (H_2S) і діоксиду вуглецю CO_2

Визначити кількість H_2S або CO_2 , яку можна витягнути при очищенні природнього газу, якщо кількість витраченого $g = 20\%$ водяного розчину моноетаноламіну $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})\text{NH}_2$ становить $G_m^{20\%} = 24$.

Теоретичні відомості

Найбільш розповсюджений спосіб очищення газу від шкідливих домішок (H_2S і CO_2) оснований на їх поглинанні розчином моноетаноламіну при порівняно низьких температурах. При нагріванні розчину моноетаноламіну, що містить H_2S і CO_2 , відбувається їх виді-

лення. Поглинаються H_2S і CO_2 за наступними реакціями:



При очищенні газу від CO_2 одночасно відбувається і його висушування.

Рішення. 1. Кількість витраченого 100% моноетаноламіну становитиме

$$G_m^{100\%} = \frac{G_m^{20\%} \cdot g}{100} = \frac{24 \cdot 20}{100} = 4,8 \text{ кг.}$$

2. Молекулярна маса моноетаноламіну з врахуванням коефіцієнту, що зрівнює

$$\mu_2(C_2H_5O)NH_2 = 2 \cdot (24 + 5 + 16 + 14 + 2) = 122 \text{ кг/кмоль}$$

3. Молекулярна маса

$$\mu_{H_2S} = 2 + 32 = 34 \text{ кг/кмоль}$$

4. Кількість H_2S , яку можна вилучити з 4,8кг 100% $(C_2H_5O)NH_2$, визначимо із пропорції

$$\frac{\mu_2(C_2H_5O)NH_2 - \mu_{H_2S}}{G_m^{100\%} - G_{H_2S}}$$

Звідси

$$G_{H_2S} = \frac{G_m^{100\%} \cdot \mu_{H_2S}}{\mu_2(C_2H_5O)NH_2} = \frac{4,8 \cdot 34}{122} = 1,338 \text{ кг.}$$

5. Аналогічно вирахуємо кількість CO_2 :

$$\mu_2(C_2H_5O)NH_2 - \mu_{CO_2}$$

$$G_M^{100\%} - G_{CO_2}$$

Звідси

$$G_{CO_2} = \frac{G_M^{100\%} \cdot \mu_{CO_2}}{\mu_2(C_2H_5O)NH_2} = \frac{4,8 \cdot 44}{122} = 1,73 \text{ кг},$$

де $\mu_{CO_2} = 12 + 32 = 44 \text{ кг/кмоль}$.

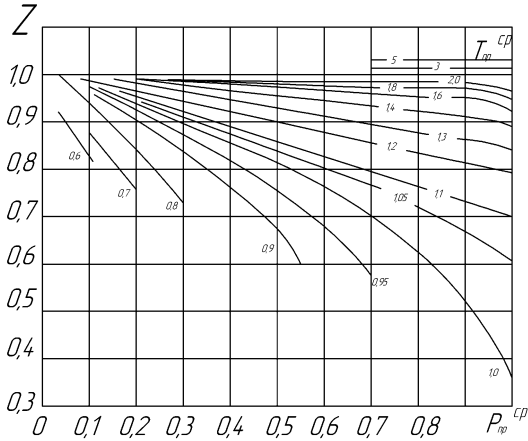
ДОДАТКИ

Додаток 1

Теплофізичні властивості деяких газів

Газ	Хімічна формула	Молекулярна маса кг/моль	Густина при нормальних умовах кг/м ³	Критичні параметри		
				Температура, °С	Абсолютний тиск, Мпа	Густина кг/м ³
Азот	N ₂	28,02	1,25	-147,1	3,394	311
Ацетилен	C ₂ H ₂	26,04	1,17	35,7	6,043	231
Водень	H ₂	2,02	0,09	-239,9	1,256	31
Повітря (сухе)	-	28,96	1,29	-140,7	3,649	320-350
Діоксид вуглецю	CO ₂	44,00	1,98	31,1	7,397	460
Кисень	O ₂	32,00	1,43	-118,8	5,042	430
Оксид вуглецю	CO	28,01	1,25	-139,0	3,433	311
Сірководень	H ₂ S	34,08	1,54	100,4	18,531	-
Метан	CH ₄	16,04	0,72	-82,1	4,493	162
Етан	C ₂ H ₆	30,07	1,36	32,3	4,728	210
Пропан	C ₃ H ₈	44,09	2,02	95,7	4,25	226
Бутан	C ₄ H ₁₀	58,12	2,70	152,8	3,502	225
Пентан	C ₅ H ₁₂	72,15	3,22	197,2	3,237	232
Пропілен	C ₃ H ₆	42,078	1,88	91,9	4,60	233
Гексан	C ₆ H ₁₄	86,172	2,58	234,7	3,031	234
Водяна пара	H ₂ O	18,016	0,804	374,12	22,12	317,8

Залежність $Z_{cp} = f(T_{np}^{cp}; P_{np}^{cp})$



Список літератури

1. Алабовский А. Н., Анцев Б. В., Романовский С. А. Газоснабжение и очистка промышленных газов. К. : Выща шк., 1985. 192 с.
2. Скафтымов Н. А. Основы газоснабжения. М. : Недра, 1975. 344 с.
3. Кулаков Н. Г., Бережнов И. А. Справочник по газоснабжению. К. : Будивэльнык, 1979. 224 с.