

Міністерство освіти і науки України
НТУ «Дніпровська політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ

«Міські системи газопостачання»

ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ

185 «Нафтогазова інженерія та технології»

Дніпро

2019

Практичне завдання

Гідравлічний розрахунок тупикового газопроводу низького тиску

Мета роботи: навчитися виконувати розрахунок газопроводу низького тиску.

Вихідні дані: внутрішньодворових газопровід, до якого приєднані 6 житлових будинків.

Схема газопроводу, число квартир і встановлене обладнання в будівлі визначається відповідно до варіанту завдання (додаток 2)

Порядок виконання розрахунків:

- 1) Для проведення гідравлічного розрахунку намічаються розрахункові ділянки від точки підключення до розподільного вуличного газопроводу до пристрою, що вимикає на ввіді в будинок.
- 2) Визначаємо довжини розрахункових ділянок. Результати визначення зводимо в таблицю 1.

Таблиця 1 Довжини розрахункових ділянок

№ ділянок	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	Разом
Довжина l, м							

3) Розрахункові витрати газу V_p , м³ / год, визначаємо за формулою:

$$V_p = \sum K_0 \cdot V_i \cdot n_i \quad (1)$$

де K_0 коефіцієнт одночасності роботи газових приладів, приймається по таблиці 1 додатка.

V_i - номінальний витрата газу на прилад, м³ / год;

n_i - число однотипних приладів.

Номінальна витрата газу приладом приймається за паспортними даними або технічними характеристиками приладів. Для укрупнених розрахунків значення V_i можна приймати наступне:

-плита 2-конфорочна 0,6 м³ / год;

-плита 4-конфорочна 1,1 м³ / год;

- водонагрівач2,7 м3 / год.

Приклад: по ділянці 1-2 газ подається на житловий будинок, в якому 70 квартир. У квартирах встановлені чотирьохконфорочної газові плити і проточні газові водонагрівачі. Коефіцієнт одночасності роботи газових приладів для 70 квартир $K_o = 0,195$, звідси розрахункова витрата газу:

$$V_p^{1-2} = 0,195 \cdot (1,1+2,7) \cdot 70 = 51,87 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4) Визначаємо середні орієнтовні питомі втрати тиску на розрахунковій гілці від підключення до розподільного газопроводу до найбільш віддаленого будівлі за формулою:

$$R_{op} = \frac{250}{(1,1 \cdot \sum \ell)}, \quad (2)$$

де 250 - нормативний перепад тиску, Па;
1,1 - 10% на місцеві опори;
 $\sum \ell$ - сумарна довжина розрахункової гілки, м.

- 5) Визначаємо діаметри ділянок газопроводів по розрахунковій витраті газу і значенням питомих орієнтовних втрат тиску, використовуючи номограму (додаток).
- 6) Для обраних діаметрів газопроводів на ділянках по номограмі визначаємо дійсні питомі втрати тиску.
- 7) Визначаємо повні втрати тиску на кожній ділянці, для чого множимо дійсні втрати тиску на ділянках на довжину цих ділянок.
- 8) Підсумовуємо втрати тиску на ділянках і результат порівнюємо з нормативним розрахунковим перепадом тиску, тобто визначаємо невязку втрат тиску за формулою: где **250** – нормативный перепад давления, Па;

1,1 – 10% на местные сопротивления;
 $\sum \ell$ – суммарная длина расчетной ветки, м.

$$\Delta = \frac{250 - \sum \Delta P}{250} \cdot 100\% \leq 10\% \quad (3)$$

Величина невязки не повинна перевищувати 10%. У разі недовикористання або перевищення розрахункового перепаду тиску змінюємо діаметр газопроводу на одному або декількох ділянках.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.

Таблиця 2 - Гідравлічний розрахунок газопроводів низького тиску тупикової мережі

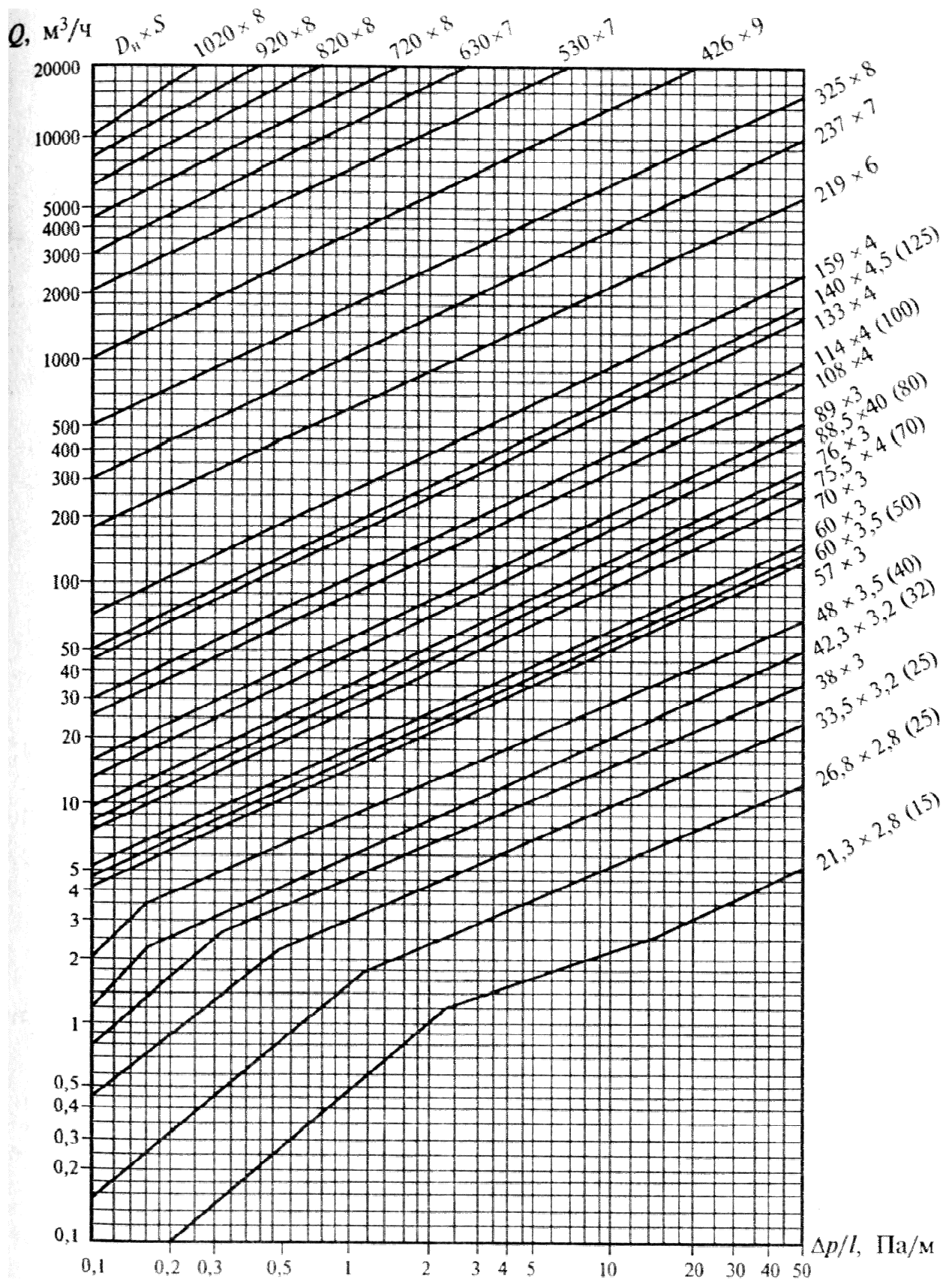
№ розрахункової ділянки	Довжина ділянки l, м	Розрахункові витрати газу $V_{p,m}^3$ /ч	Питомі орієнтовні втрати тиску, R_{op} , Па/м	Діаметр ділянки $d \times S$	Втрати тиску		Корегування		
					Дійсні питомі втрати тиску R_d , Па/м	втрати тиску на ділянці $\Delta P = R_d \cdot l$	$d \times S$	R_d	$\Delta P = R_d \cdot l$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

9) Висновки по роботі.

Таблица 3 ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОДНОЧАСНОГО ВКЛЮЧЕННЯ ГАЗОВИХ ПРИЛАДІВ K_{sim} ДЛЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Таблица 3- ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОДНОВРЕМЕННОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПРИБОРОВ K_{sim} ДЛЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Число квартир	Коэффициенты одновременности K_{sim} в зависимости от установки в жилых домах газового оборудования			
	Плита 4 - конфорна	Плита 2 - конфорна	Плита 4 - конфорна та газовый проточный водонагреватель	Плита 2-конфорна та газовый проточный водонагреватель
1	1	1	0,700	0,750
2	0,650	0,840	0,560	0,640
3	0,450	0,730	0,480	0,520
4	0,350	0,590	0,430	0,390
5	0,290	0,480	0,400	0,375
6	0,280	0,410	0,392	0,360
7	0,280	0,360	0,370	0,345
8	0,265	0,320	0,360	0,335
9	0,258	0,289	0,345	0,320
10	0,254	0,263	0,340	0,315
15	0,240	0,242	0,300	0,275
20	0,235	0,230	0,280	0,260
30	0,231	0,218	0,250	0,235
40	0,227	0,213	0,230	0,205
50	0,223	0,210	0,215	0,193
60	0,220	0,207	0,203	0,186
70	0,217	0,205	0,195	0,180
80	0,214	0,204	0,192	0,175
90	0,212	0,203	0,187	0,171
100	0,210	0,202	0,185	0,163
400	0,180	0,170	0,150	0,135



Номограма для визначення втрат тиску в газопроводах низького тиску (до 5 кПа) з природним газом ($\rho = 0,73 \text{ кг / м}^3$, $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ при 0° С і тиску 101,3 МПа)

Таблица 4 - Таблица для розрахунку газопроводів низького тиску (труби сталеві водогазопровідні ГОСТ 1050-88)

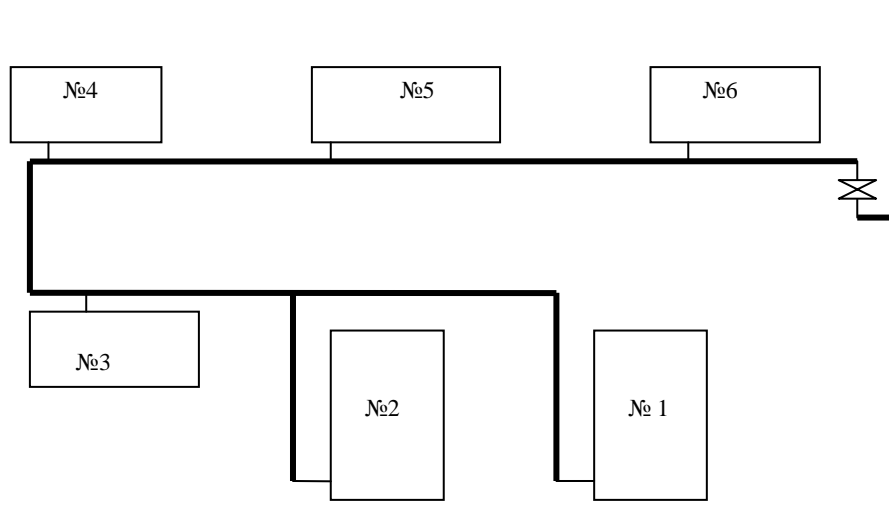
Питомі втрати тиску, Па/м	Умовний прохід, дюйми; Зовнішній та внутрішній діаметри, мм							
	½; 21,25 и 15,75	¾; 26,75 и 21,25	1; 33,5 и 27	1 ¼; 42,25 и 35,75	1 ½; 48 и 41	2; 60 и 53	2 ½; 75 и 68	3; 88,5 и 80,5
Природний газ ($\rho = 0.73 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 15 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$)								
0,10	0,049/0,018	0,16/0,059	0,42/0,155	1,23/0,46	2,15/0,76	4,32/1,1	8,5/1,6	13,4/2,0
0,15	0,073/0,027	0,24/0,089	0,63/0,23	1,85/0,65	2,71/0,84	5,43/1,2	10,70/1,7	16,8/2,1
0,30	0,140/0,052	0,48/0,178	1,26/0,470	2,76/0,77	4,00/0,93	8,06/1,3	15,9/1,9	25,0/2,4
0,50	0,24/0,089	0,86/0,32	1,73/0,55	3,69/0,82	5,36/1,00	10,8/1,4	21,2/2,0	33,5/2,6
0,56	0,27/0,1	0,90/0,33	1,85/0,56	3,96/0,83	5,73/1,0	11,5/1,5	22,7/2,1	35,8/2,6
1,00	0,48/0,178	1,35/0,430	2,58/0,610	5,53/0,91	8,00/1,10	16,1/1,6	31,7/2,2	50,1/2,8
1,50	0,72/0,270	1,71/0,460	3,24/0,640	6,97/0,96	10,10/1,20	20,30/1,7	39,90/2,4	63,1/3,0
2,00	0,88/0,320	2,00/0,480	3,83/0,670	8,22/1,00	11,90/1,20	23,90/1,7	41,20/2,5	74,5/3,1
2,50	1,00/0,320	2,26/0,490	4,35/0,690	9,34/1,00	13,50/1,20	27,20/1,8	53,60/2,6	84,6/3,2
3,00	1,11/0,330	2,51/0,510	4,84/0,710	10,37/1,10	14,90/1,30	30,20/1,8	59,5/2,6	94,1/3,3
3,50	1,21/0,34	2,75/0,52	5,30/0,72	11,30/1,1	16,40/1,3	33,1/1,9	65,10/2,7	102,0/3,4
4,00	1,31/0,34	2,96/0,53	5,69/0,74	12,24/1,1	17,70/1,3	35,6/1,9	70,10/2,7	111,0/3,4
4,50	1,40/0,35	3,17/0,53	6,09/0,75	13,08/1,1	18,90/1,4	38,1/2,0	75,00/2,8	118,0/3,5
5,5	1,57/0,36	3,56/0,55	6,84/0,77	14,56/1,2	21,20/1,4	42,8/2,0	84,30/2,9	132,0/3,6
6,25	1,69/0,36	3,82/0,56	7,35/0,78	15,7/1,2	22,8/1,4	45,9/2,1	90,50/2,9	142,0/3,7
8,75	2,05/0,38	4,64/0,59	8,92/0,83	19,25/1,2	27,7/1,5	55,8/2,2	109,9/3,0	173,0/3,8
12,50	2,50/0,40	5,68/0,62	10,93/0,87	23,40/1,3	33,90/1,6	68,3/2,3	133,0/3,02	208,0/3,9
17,50	3,05/0,42	6,82/0,65	13,08/0,91	28,20/1,4	41,10/1,6	82,4/2,3	158,0/3,2	246,0/3,9
25,00	3,77/0,44	8,48/0,68	16,20/0,96	34,90/1,4	49,90/1,6	98,5/2,3	189,0/3,2	294,0/3,9
35,00	4,56/0,46	10,26/0,70	19,70/1,00	41,30/1,4	59,10/1,6	116,0/2,3	224,0/3,2	349,0/3,9
50,00	5,62/0,50	12,40/0,70	23,50/1,00	48,9/1,4	70,70/1,6	139,0/2,3	267,00/3,2	416,0/3,9

Таблица 5 Таблица для розрахунку газопроводів низького тиску (труби сталеві безшовні з ГОСТ 8732 -85)

Питомі втрати тиску, Па/м	Умовний прохід, дюйми; Зовнішній та внутрішній діаметри, мм							
	100; 108x5 и 98	125; 133x5,5 и 122	150; 159x5,5 и 148	200; 219x7 и 205	250; 273x9 и 255	300; 325x10 и 305	350; 377x10 и 357	400; 426x11 и 404
0,10	22,9/2,7	41,4/3,7	70,0/4,9	169/8,0	307/10,9	798/14,1	767/17,8	1071/19,6
0,15	28,8/2,9	52,0/3,9	88,0/5,2	213/8,5	386/11,5	626/14,9	963/18,8	1345/22,3
0,25	28,4/3,1	69,5/4,2	117,0/5,6	285/9,1	515/12,4	836/16,0	1286/20,2	1796/24,0
0,35	46,7/3,3	84,5/4,5	143/6,0	346/9,5	626/13,0	1016/16,8	1564/21,2	2182/25,2
0,44	53/3,4	95,6/4,6	162,0/6,2	392/9,8	710/13,4	1150/17,4	1771/21,5	2472/26,0
0,87	78,7/3,7	143,0/5,2	241/6,9	585/10,8	1056/14,8	1734/19,2	2637/24,1	3680/28,6
1,00	85,4/3,8	153,0/5,3	261/7,0	634/11,0	1144/15,2	1858/19,5	2859/24,7	3991/29,2
2,00	127,0/4,2	229,0/5,8	388,0/7,7	943/12,1	1701/16,7	2763/21,5	4147/26,8	5660/31,6
2,75	153,0/4,4	275,0/6,1	466,0/8,0	1132/12,7	2043/17,4	3192/22,0	4807/26,8	6618/31,6
3,50	175,0/4,6	317,0/6,3	536,0/8,3	1293/13,0	2258/17,4	3606/22,0	5430/26,8	7492/31,6
4,00	188,0/4,7	341,0/6,4	577,0/8,5	1365/13,0	2414/17,4	3852/22,0	5798/26,8	8012/31,6
5,25	221,0/4,8	399,0/6,7	671,0/8,7	1564/13,0	2762/17,4	4410/22,0	6640/26,8	9167/31,6
6,00	237,0/4,9	430,0/6,7	714,0/8,7	1674/13,0	2957/17,4	4721/22,0	7110/26,8	9812/31,6
7,50	270,0/5,0	481,0/6,7	797,0/8,7	1871/13,0	3305/17,4	5275/22,0	7944/26,8	10967/31,6
8,75	291,0/5,0	519/6,7	862/8,7	2020/13,0	3569/17,4	5675/22,0	8574/26,8	11830/31,6
10,00	312,0/5,0	556,0/6,7	921,0/8,7	2160/13,0	3817/17,4	6092/22,0	9177/26,8	12663/31,6
12,50	348,0/5,0	621/6,7	1029/8,7	2414/13,0	4257/17,4	6810/22,0	10255/26,8	14151/31,6
15,00	382,0/5,0	680,0/6,7	1128/8,7	2646/13,0	4675/17,4	7462/22,0	11237/26,8	15503/31,6
17,00	413/5,0	735/6,7	1218/8,7	2857/13,0	5049/17,4	8060/22,0	12132/26,8	16752/31,6
20,00	440/5,0	783/6,7	1298/8,7	3046/13,0	5396/17,4	8613/22,0	12956/26,8	17897/31,6
30,00	540/5,0	962/6,7	1594/8,7	3741/13,0	6609/17,4	10551/22,0	15888/26,8	21923/31,6
35,00	584/5,0	1039/6,7	1722/8,7	4052/13,0	7140/17,4	11393/22,0	17168/26,8	23692/31,6
45,00	662/5,0	1179/6,7	1953/8,7	4581/13,0	8095/17,4	12923/22,0	19457/26,8	26855/31,6
50,00	698/5,0	1242/6,7	2059/8,7	4830/13,0	8534/17,4	13620/22,0	20508/26,8	28312/31,6

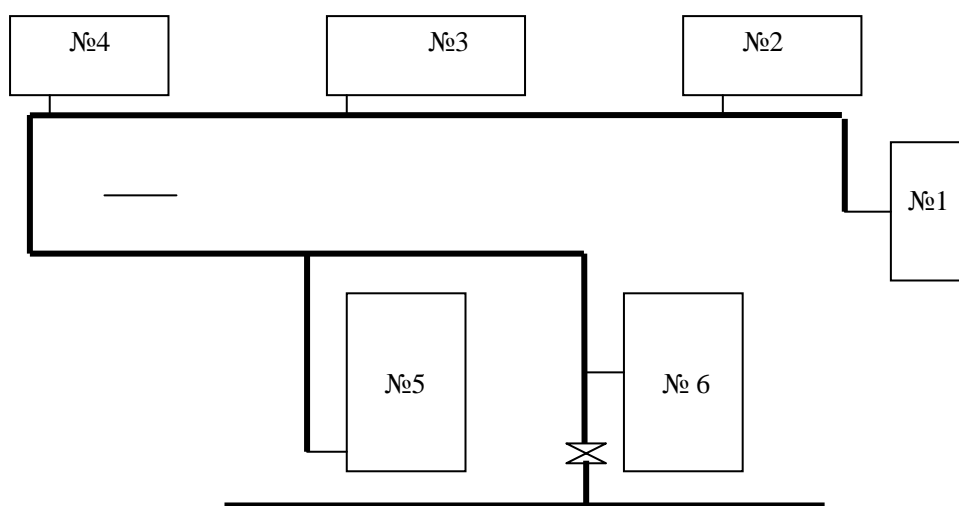
Додаток 2

Вариант №1.



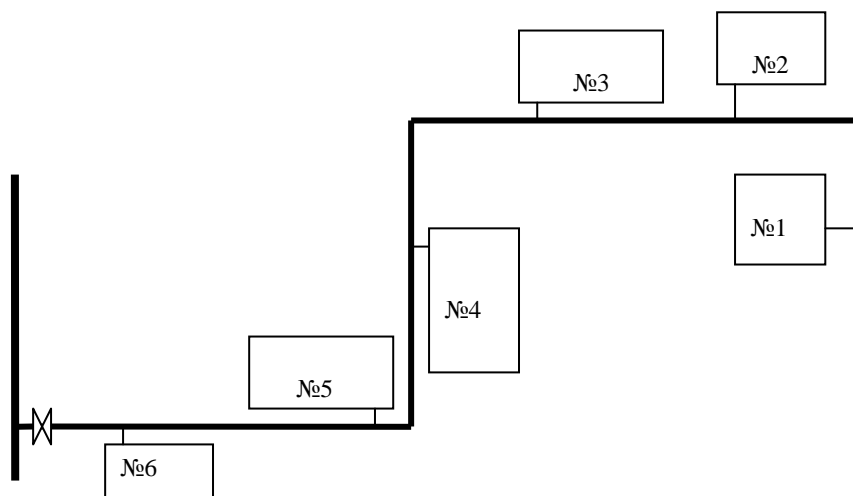
<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекту</i>	<i>Число квартир</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	150	ПГ-4
2	Жилой дом	220	ПГ-4
3	Жилой дом	100	ПГ-2, ВПГ
4	Жилой дом	100	ПГ-2, ВПГ
5	Жилой дом	300	ПГ-2
6	Жилой дом	280	ПГ-4

Вариант №2.



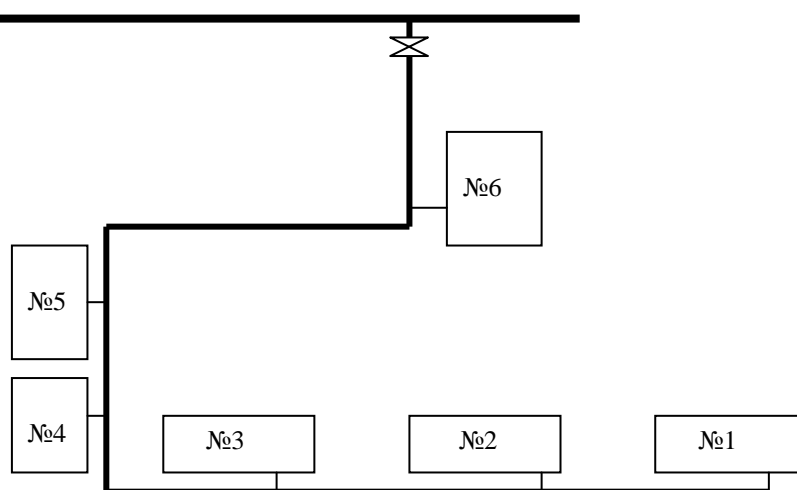
<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекту</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	70	ПГ-2, ВПГ
2	Жилой дом	120	ПГ-4, ВПГ
3	Жилой дом	180	ПГ-4
4	Жилой дом	55	ПГ-2
5	Жилой дом	300	ПГ-4
6	Жилой дом	280	ПГ-4

Вариант №3.



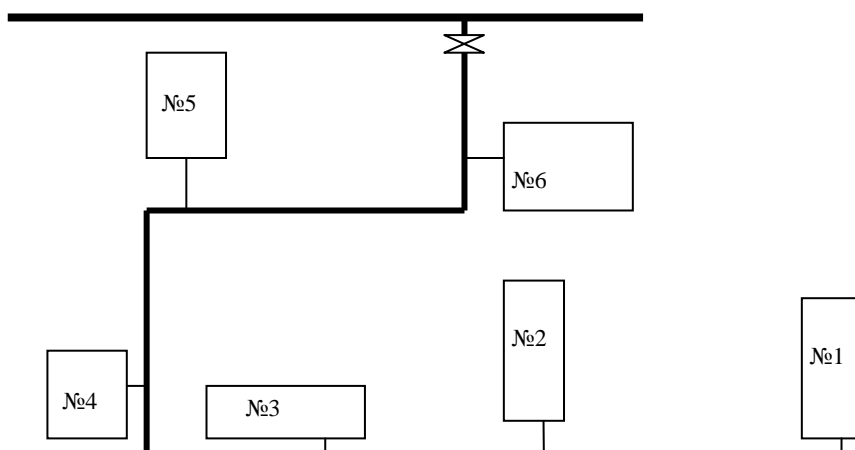
Позиция	Наименования объекту	Число осель	Встановленне обладнання
1	Жилой дом	60	ПГ-2, ВПГ
2	Жилой дом	80	ПГ-4
3	Жилой дом	90	ПГ-4
4	Жилой дом	150	ПГ-4
5	Жилой дом	220	ПГ-2
6	Жилой дом	50	ПГ-4, ВПГ

Вариант №4



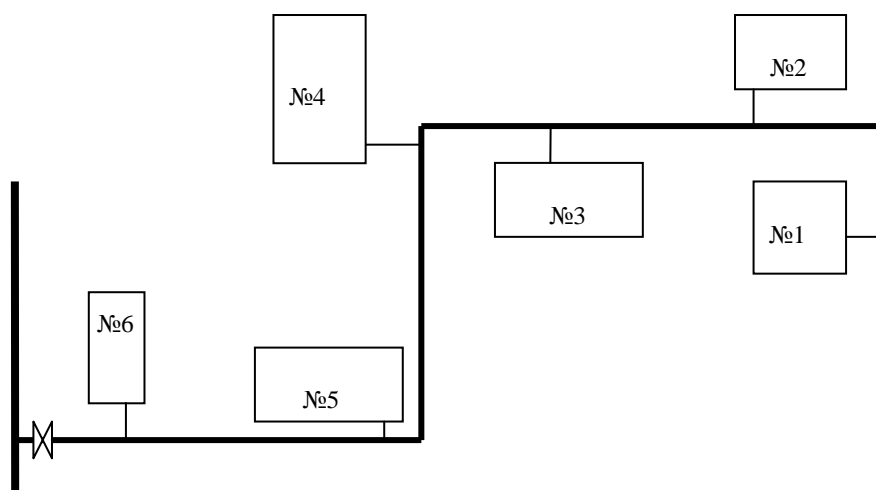
Позиция	Наименование объекта	Число осель	Установленное оборудование
1	Жилой дом	120	ПГ-4
2	Жилой дом	150	ПГ-4
3	Жилой дом	130	ПГ-2
4	Жилой дом	75	ПГ-2, ВПГ
5	Жилой дом	85	ПГ-4, ВПГ
6	Жилой дом	200	ПГ-4

Вариант №5



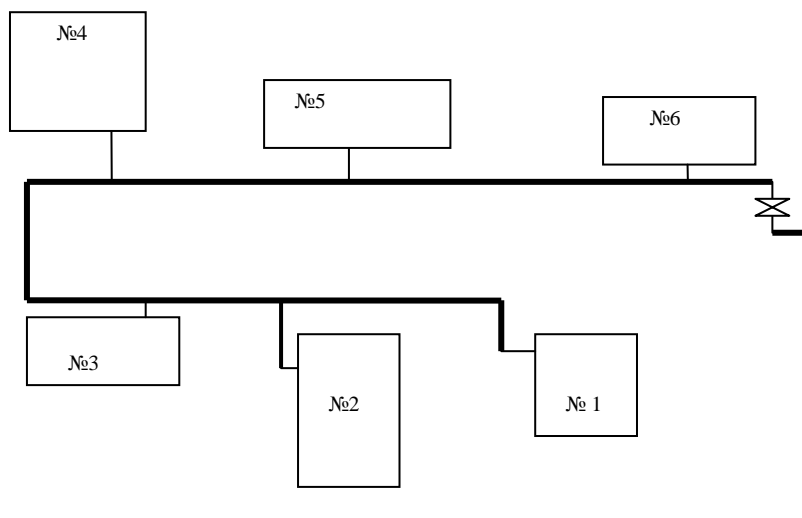
<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекту</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	150	ПГ-4
2	Жилой дом	170	ПГ-4
3	Жилой дом	150	ПГ-2
4	Жилой дом	65	ПГ-2, ВПГ
5	Жилой дом	70	ПГ-4, ВПГ
6	Жилой дом	90	ПГ-2, ВПГ

Вариант №6



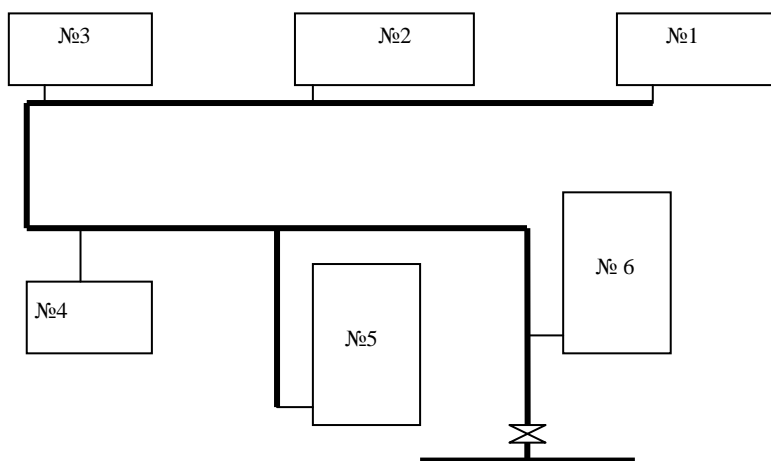
<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекту</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	60	ПГ-2
2	Жилой дом	60	ПГ-2
3	Жилой дом	80	ПГ-4
4	Жилой дом	170	ПГ-4
5	Жилой дом	120	ПГ-4
6	Жилой дом	50	ПГ-2, ВПГ

Вариант №7



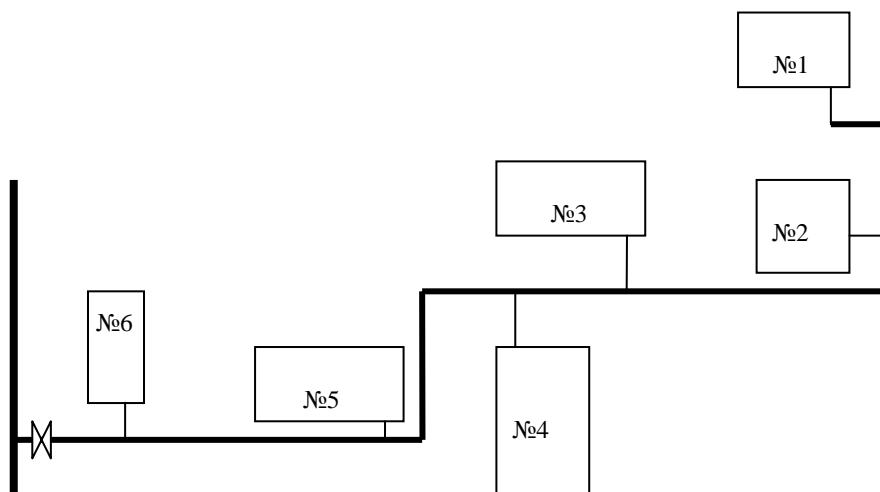
<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекту</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	80	ПГ-2, ВПГ
2	Жилой дом	190	ПГ-4
3	Жилой дом	140	ПГ-2
4	Жилой дом	100	ПГ-2, ВПГ
5	Жилой дом	250	ПГ-4
6	Жилой дом	120	ПГ-4

Вариант №8



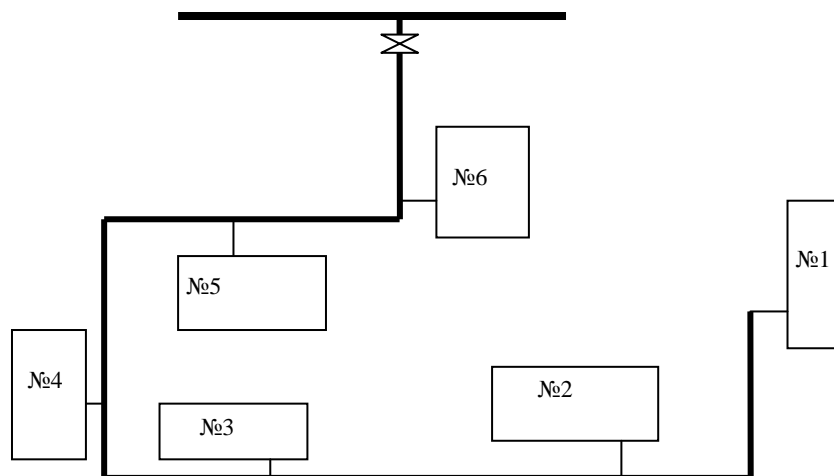
<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекту</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	150	ПГ-4
2	Жилой дом	140	ПГ-4
3	Жилой дом	80	ПГ-2, ВПГ
4	Жилой дом	60	ПГ-4, ВПГ
5	Жилой дом	230	ПГ-4
6	Жилой дом	180	ПГ-2

Вариант № 9



<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекта</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	50	ПГ-2
2	Жилой дом	60	ПГ-4, ВПГ
3	Жилой дом	110	ПГ-4
4	Жилой дом	150	ПГ-4
5	Жилой дом	230	ПГ-4
6	Жилой дом	75	ПГ-2, ВПГ

Вариант № 10



<i>Позиция</i>	<i>Наименования объекта</i>	<i>Число осель</i>	<i>Встановленне обладнання</i>
1	Жилой дом	40	ПГ-4, ВПГ
2	Жилой дом	160	ПГ-4
3	Жилой дом	90	ПГ-2, ВПГ
4	Жилой дом	140	ПГ-4
5	Жилой дом	160	ПГ-4
6	Жилой дом	190	ПГ-2

Перелік використаної літератури:

СНиП 42-01- 2002 Газораспределительные системы

СП 42-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.

1. Красильникова И.С. Гидравлический расчет тупикового газопровода низкого давления: Метод. указания по выполнению практической работы – Саратов, Саратовский архитектурно-строительный колледж, 2014
2. О.Б. Колибаба, В.Ф. Никишов, М.Ю. Ометова Основы проектирования и эксплуатации систем газораспределения и газопотребления: Учебное пособие.- СПб.: Издательство «Лань», 2013
3. Фокин С.В., Шпортько О.Н. Системы газоснабжения: устройство, монтаж и эксплуатация: Учебное пособие для сред. Проф. образования.-М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2011
4. Брюханов О.Н., Жила В.А. Природные и искусственные газы, М.: Издательский центр «Академия», 2004 г.

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ ГАЗІВ

Довідковий матеріал

Природний газ складається в основному з метану (СН₄). Щільність ρ газу залежить від його складу, тиску і температури. При стандартних умовах ($p = 0,1013$ МПа, $T = 293$ К) щільність природного газу рст. становить приблизно $0,7$ кг/м³.

Відносної щільністю Δ газу по повітрю називається відношення $\rho_{г.}/\rho_{в.}$ щільності $\rho_{г.}$ природного газу до щільності $\rho_{в.}$ повітря при одних і тих же (наприклад, стандартних) умовах. Очевидно, що для досконалих газів це відношення не залежить ні від тиску, ні від температури. Зокрема, щільність рст. природного газу представляється у вигляді: рст. = (рв.)ст. $\cdot \Delta$, причому $(\rho_{в.}) \text{ ст.} \approx 1,204$ кг/м³.

Зв'язок виду $F(p, \vartheta, T) = 0$ між тиском p в газі, його питомим об'ємом $\vartheta = 1/\rho$ і абсолютною температурою T називається рівнянням стану газу. При помірних тисках і температурах властивості газів досить добре моделюються рівнянням стану Клапейрона-Менделєєва

$$(101)$$

де V - об'єм газу; m - його маса; μ - молярна маса газу, (кг/кмоль); R_0 - універсальна газова постійна ($R_0 = 8314$ Дж/(кмоль·К)). Гази, властивості яких моделюються рівнянням Клапейрона-Менделєєва, називають досконалими.

Якщо врахувати, що питомий об'єм газу ϑ визначається як V/m , і $R_0/\mu = R$ - газова постійна даного газу (Дж/(кг·К)), то рівняння стану досконалого газу записується також у формі:

$$\text{або } \dots \quad (102)$$

Газова постійна R метану дорівнює $518,33$ Дж/(кг·К), вуглекислого газу - $188,95$ Дж/(кг·К), кисню - $259,81$ Дж/(кг·К), повітря - $287,1$ Дж/(кг·К); $R = R_{в.}/\Delta = 287,1/\Delta$.

Властивості реальних природних газів відрізняються від властивостей досконалого газу. Для кожного реального газу є деяка критична температура $T_{кр}$ така, що для будь-якого значення $T \leq T_{кр}$. існує тиск $p_{кр.}$, при якому відбувається фазовий перехід газу в рідкий стан, а для температур $T \geq T_{кр}$. такий перехід неможливий ні при яких тисках. Якщо $T = T_{кр.}$, то існує тиск $p_{кр.}$, при якому властивості рідкої і газової фаз однакові. Параметри газу $T_{кр.}$, $p_{кр.}$ називається критичними. Так, наприклад, для метану ці параметри складають: $T_{кр.} = 190,55$ К, $p_{кр.} = 4,64$ МПа.

Деякі постійні компонентів, складових природного газу, наведені в таблиці.

Таблиця

Газ	Молярна маса, кг/кмоль	Щільність за повітрям	Критичний тиск, МПа	Критична температура, К
Метан	16,042	0,554	4,641	190,55
Етан	30,068	1,049	4,913	305,50
Пропан	44,094	1,562	4,264	369,80
Ізобутан	58,120	2,066	3,570	407,90
н - Бутан	58,120	2,091	3,796	425,17
н - Пентан	72,146	2,480	3,374	469,78
Азот	28,016	0,970	3,396	126,25
Кисень	32,000	1,104	4,876	154,18
Сірководень	34,900	1,190	8,721	373,56
Вуглекислий газ	44,011	1,525	7,382	304,19
Водень	2,020	0,069	1,256	33,10
Гелій	4,000	1,136	0,222	5,00
Повітря	28,966	1,000	3,780	132,46

У ряді випадків рівняння стану реального газу представляють в вигляді

(103)

де $Z(p, T)$ - безрозмірний коефіцієнт стисливості газу (званий іноді ще коефіцієнтом надстисливості газу). Очевидно, що для досконалих газів $Z = 1$.

Залежність від відношень i , званих наведеним тиском і наведеною температурою, відповідно, представлена на рис. 1.12.

Рис. 1.12. Зависимость от и

Для природних газів, що представляють собою метан в суміші з деякими іншими компонентами (етан, пропан, бутан, з-бутан, пентан, азот, сірководень, вуглекислий газ, водень, гелій і т.п.), коефіцієнт стисливості може бути розрахований за такою апроксимаційною формулою

(104)

Молярна маса і критичні параметри газової суміші обчислюються за такими аддитивними формулами:

(105)

де x_j - об'ємні частки компонентів, що складають газ.

Найпростіші термодинамічні процеси. Ізотермічний процес: $T = \text{const}$. При ізотермічному розширенні (або стисненні) досконалиго газу від тиску p_1 до тиску p_2 до газу необхідно підводити (або відповідно відбирати) тепло:

(106)

де δQ_w - кількість тепла, розрахована на одиницю маси газу (Дж/кг або кал/кг; 1 кал = 4,187 Дж); причому $\delta Q_w > 0$, якщо газ розширюється ($p_2 < p_1$), і $\delta Q_w < 0$, якщо газ стискається ($p_2 > p_1$).

Оборотний адіабатичний процес: $\delta Q_w = 0$. Мають місце наступні співвідношення:

(107)

де ρ_1, p_1, T_1 - щільність, тиск і температура газу в початковому стані; ρ, p, T - ті ж параметри газу в поточному (або кінцевому) стані; $\gamma = C_p / C_v$ - показник адіабати; C_p, C_v - теплоємності газу відповідно при постійному тиску і об'ємі (Дж/(кг К)). Наприклад, для повітря $\gamma = 1,4$; для метану - $\gamma = 1,31$; для етану - $\gamma = 1,20$; для пропану $\gamma = 1,16$ і т.д. Для досконалиго газу ($Z = 1$) має місце формула Майєра: $C_p - C_v = R$.

Політропічним називається процес, в якому щільність і тиск пов'язані рівнянням $p = A \cdot \rho^m$, де $A = \text{const}$; m - показник політропи. Якщо в цьому процесі $m \neq \gamma$, то $\delta Q_w \neq 0$. Якщо процес політропічного стиснення газу ($p_2 > p_1$) йде з підведенням тепла ($\delta Q_w > 0$), то $m > \gamma$; якщо ж він супроводжується відбором тепла ($\delta Q_w < 0$), то $1 < m < \gamma$.

У політропічному процесі щільність, тиск і температура газу пов'язані співвідношеннями, аналогічними (107):

(108)

ЗАДАЧІ

161. Газова суміш складається з 99% метану, 0,5% етану і 0,5% азоту. Визначити молярну масу газової суміші і значення газової постійної.
Відповідь. 16,172 кг/кмоль; 514,1 Дж/(кг К).
162. Газова суміш складається з 88% метану, 6% етану, 4% пропану і 2% азоту.
Визначити молярну масу газової суміші і значення її газової постійної.
Відповідь. 18,243 кг/кмоль; 455,7 Дж/(кг К).
163. Визначити масу 100 тис. нормальних (тобто обчислених при тиску $p = 0,1013$ МПа і температурі $T = 293$ К) кубометрів природного газу ($\mu = 19,2$ кг/кмоль).
Відповідь. 79,842 т.
164. Об'єм природного газу ($\mu = 18,5$ кг/кмоль) в стандартних умовах становить 250 тис. м³. Яка його маса?
Відповідь. 192,328 т.
165. Об'єм природного газу, який вимірюється при стандартних умовах, становить 10 тис. м³. Який об'єм цього газу при нормальних (тобто обчислених при тиску $p = 0,1013$ МПа і температурі $T = 273$ К) умовах?
Відповідь. 9317,4 м³.
166. Об'єм природного газу, який вимірюється при нормальних умовах, становить 50 тис. м³. Який об'єм цього газу при стандартних умовах?
Відповідь. 53663 м³.
167. Природний газ, що зберігається в резервуарі місткістю 20 тис. м³ при середньому тиску 0,11 МПа, підданий коливанням добової температури від $+8^{\circ}\text{C}$ вночі до $+20^{\circ}\text{C}$ вдень. Визначити амплітуду коливання тиску в резервуарі.
Відповідь. 0,0023 МПа.
168. Тиск в газовому резервуарі становить 0,12 МПа, температура $+15^{\circ}\text{C}$. На скільки підвищиться тиск в цьому резервуарі, якщо температура в ньому зросте на 15°C ?
Відповідь. 0,0063 МПа.
169. Газову порожнину (або газовий міхур) підземного сховища газу (ПСГ) можна наближено вважати прямим циліндром, що має в плані форму еліпса з півосями $a = 3000$ м, $b = 2000$ м і висотою $h = 15$ м. Пористість m пласта (тобто об'ємна частка пустот в породах, що складають пласт), становить 30% (0,3), а насиченість s пустот газом (тобто об'ємна частка цих пустот, заповнених газом), дорівнює 0,65; інша частина пустот заповнена водою. Визначити, який об'єм газу в стандартних кубічних метрах знаходиться в ПСГ, якщо відомі пластовий тиск $p = 10$ МПа і температура $T = 30^{\circ}\text{C}$ газу. Відомі також постійні газу: $R = 470$ Дж / (кг К), $r_{кр.} = 4,7$ МПа, $T_{кр.} = 200$ К.
Відповідь. 6,554 млрд.м³.
170. Після того, як з підземного сховища газу (ПСГ), параметри якого дано в умові попередньої задачі №169, відібрали певну кількість газу, тиск в газовій порожнині зменшилася до 8,5 МПа, а насиченість s газу знизилася з 0,65 до 0,35. Визначити, яка кількість газу (в стандартних кубічних метрах) вилучено з ПСГ за період відбору.
Відповідь. 3,661 млрд.м³.
171. Природний газ ($\mu = 19,5$ кг/кмоль) при тиску 1,5 МПа і температурі 25°C можна наближено вважати досконалим. Визначити масу газу, якщо його об'єм при зазначених умовах становить 100 тис. м³.
Відповідь. 1180,6 т.
172. Метан знаходиться в контейнері при тиску 20 МПа і температурі $+10^{\circ}\text{C}$. В якому агрегатному стані знаходиться газ? В якому агрегатному стані знаходився б метан в тому ж контейнері, якби його температуру знизили до $(-110)^{\circ}\text{C}$? Відповідь обґрунтувати.
Відповідь. У газоподібному. У рідкому.
173. Газова суміш складається з 94% метану, 4% етану і 2% азоту. Визначити критичні параметри суміші.
Відповідь. 4,627 МПа; 193,86 К.

174. Характеристики газової суміші представлені в таблиці:

Компонента газу	Об'ємна доля, %	Критичний тиск, МПа	Критична температура, К
Метан	92,0	4,641	190,55
Етан	4,0	4,913	305,50
Азот	2,0	3,396	126,25
Сірководень	1,0	8,721	373,56
Вуглекислий газ	1,0	7,382	304,19

Знайти значення коефіцієнта Z стисливості цієї суміші при тиску 6,5 МПа і температурі +25°C.

Відповідь. 0,871.

175. Характеристики газової суміші представлені в таблиці:

Компонента газу	Молярна маса, кг/кмоль	Об'ємна доля, %	Критичний тиск, МПа	Критична температура, К
Метан	16,042	92,0	4,641	190,55
Етан	30,068	4,0	4,913	305,50
Ізобутан	58,120	2,0	3,570	407,90
Азот	28,016	1,0	3,396	126,25
Сірководень	34,900	1,0	8,721	373,56

Знайти щільність газу при тиску 7,0 МПа і температурі +15°C.

Відповідь. 62,61 кг/м³.

176. Тиск на усті закритої газової свердловини глибиною 1000 м (тобто тиск в стовбурі свердловини на рівні земної поверхні) становить 7,0 МПа. Знайти тиск на вибої свердловини (тобто на рівні залягання продуктивного газового пласта), якщо параметри природного газу такі: $R = 470$ Дж/кг К, $r_{кр.} = 4,7$ МПа, $T_{кр.} = 195$ К. В розрахунках прийняти, що температура газу в свердловині приблизно постійна, рівна +30°C, а для обчислення коефіцієнта Z стисливості використовувати формулу (104).

Відповідь. 7,58 МПа.

177. Тиск газу на початку ділянки газопроводу становить 5,5 МПа, а температура +30°C. В кінці ділянки ці параметри складають 3,5 МПа і +10°C. Вважаючи газ досконалим, знайти, у скільки разів менше щільність газу в кінці ділянки, ніж на його початку. Уточнити рішення задачі, відмовившись від допущення про досконалість газу і використовуючи значення критичних параметрів газу: $r_{кр.} = 4,6$ МПа, $T_{кр.} = 190$ К.

Відповідь. В 1,468 рази; в 1,495 рази.

178. Ступінь стиснення ϵ газу в одноступеневому відцентровому нагнітачі дорівнює 1,6. Вважаючи процес стиснення газу адіабатичним ($\gamma = 1,34$), визначити температуру газу на виході з нагнітача, якщо температура на його вході дорівнює 288 К.

Відповідь. 324,5 К.

179. Тиск природного газу в газоперекачувальному агрегаті (ГПА) підвищується в 1,4 рази, при цьому температура збільшується з +10°C на вході до +30°C на виході з агрегату. Вважаючи процес стиснення газу політропічним, знайти показник політропи.

Відповідь. 1,255.

180. При політропічному стисненні газу газоперекачувальним агрегатом (ГПА) тиск підвищується в 1,57 рази, при цьому температура збільшується з 15°C на вході до +38°C на виході з агрегату. Визначити, у скільки разів збільшується щільність газу.

Відповідь. В 1,44 рази.

1.11. СТАЦІОНАРНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ПРОСТИХ ГАЗОПРОВІДІВ

Довідковий матеріал

При стаціонарному режимі роботи газопроводу масова витрата газу (кг/с) залишається однією і тою ж у всіх перетинах ділянки газопроводу:

$$(109)$$

тут $\rho(x)$ - щільність газу; $v(x)$ - швидкість газу; $S(x)$ - площа поперечного перерізу газопроводу. При цьому об'ємна витрата Q газу (м³/с), що дорівнює $v \cdot S$, змінюється від перетину до перетину. Якщо $S = S_0 = \text{const}$, то об'ємна витрата Q і швидкість v газу збільшуються від початку ділянки газопроводу до його кінця.

Комерційним витратою Q_k газу (м³/с), називається масова витрата газу, виражена в стандартних кубічних метрах. Очевидна формула:

$$(110)$$

де $\rho_{ст.}$ - щільність газу при стандартних умовах ($\rho_{ст.} = 0,1013$ МПа, $T = 293$ К).

Розподіл $p(x)$ тиску по довжині ділянки простого газопроводу ($S = S_0 = \text{const}$) при стаціонарному ізотермічному ($T = T_0 = \text{const}$) режимі роботи має вигляд:

або

$$(111)$$

де x - координата уздовж осі газопроводу, яка відлічується від початку ділянки; $p(0) = p_n$ - тиск газу на початку ($x = 0$) ділянки; λ - коефіцієнт гідравлічного опору, який приймається постійним; $d = D - 2\delta$ - внутрішній діаметр газопроводу; D, δ - зовнішній діаметр і товщина стінки трубопроводу, відповідно. Крім того, у формулі (111) коефіцієнт Z стисливості вважається постійним, обчисленим при середньому тиску на ділянці газопроводу.

Середній тиск $p_{ср.}$ на ділянці газопроводу представляється виразом:

$$(112)$$

де p_k - тиск в кінці ділянки газопроводу, тобто при $x = L$, де L - протяжність ділянки.

Тиски p_n, p_k на початку і в кінці ділянки газопроводу пов'язані співвідношенням:

$$(113)$$

Масова витрата газу на ділянці газопроводу виражається через тиски на його кінцях наступною формулою:

$$(м^3/с) \quad (114)$$

Якщо обчислення проводяться в системі одиниць СІ, то для комерційної витрати газу $Q_k = M/\rho_{ст.}$ існує вираз:

$$(115)$$

де Δ - щільність газу по повітрю ($\Delta = R \cdot v / \Delta$; $R_v = 287,1$ Дж/(кг К) - газова стала повітря; (ρ_v) ст. $\approx 1,204$ кг/м³; $T_{ст.} = 293$ К, $\rho_{ст.} = 0,1013 \cdot 10^6$ Па).

Для розрахунку коефіцієнта λ гідравлічного опору можна використовувати формулу

$$(116)$$

в якій k - середнє значення абсолютної еквівалентної шорсткості. У багатьох випадках $k = 0,03 \div 0,05$ мм.

Якщо течія природного газу в газопроводі неізотермічна, то розподіл $T(x)$ температури по довжині ділянки газопроводу дається виразом

$$(117)$$

де $T_{гр.}, T_n = T(0)$ - температури навколишнього ґрунту і газу в початковому перерізі ділянки, відповідно (К); (m^{-1}) ; α - коефіцієнт теплопередачі від газу в ґрунт ($\alpha \approx 1,5 \div 3,0$ Вт/(м² К)); C_p - теплоємність газу при постійному тиску ($C_p \approx 2500$ Дж/(кг·К)); D^* - коефіцієнт Джоуля-Томсона ($D^* \approx 0,3 \div 0,5$ К/МПа).

У нехтуванні ефектом Джоуля-Томсона (незворотним охолодженням природного газу), що має місце тільки для реальних газів - справедлива формула В. Г. Шухова:

$$(118)$$

Температура T_k газу в кінці ділянки газопроводу з протяжністю L виражається формулою:

$$(119)$$

У цьому випадку розподіл $T(x)$ температури газу по довжині ділянки можна представити у вигляді

$$(120)$$

що не містить явно коефіцієнт теплопередачі.

Середня на ділянці трубопроводу температура $T_{ср}$ газу представляється формулою

$$(121)$$

де T_n , T_k - температури газу на початку і кінці ділянки газопроводу, відповідно.

ЗАДАЧІ

181. Перекачування газу по 100-км ділянці газопроводу постійного діаметра ведеться в стаціонарному ізотермічному режимі. Відомі тиски на початку і в кінці ділянки, а також швидкість на початку ділянки. Заповнити пусті клітинки нижченаведеної таблиці.

Координата, км	0	20	40	60	80	100
Тиск, МПа	5,50				3,50	
Швидкість газу, м/с	5,00					

Коефіцієнт стисливості газу прийняти постійним.

Відповідь. Тиски: 5,16; 4,80; 4,41; 3,98 МПа. Швидкості: 5,73; 6,24; 6,91; 7,86 м/с.

182. При стаціонарній перекачуванні газу ($p_{кр} = 4,7$ МПа, $T_{кр} = 194$ К) тиск і температура на початку ділянки газопроводу становлять 5,2 МПа і 35°C , а в його кінці - 3,5 МПа і 10°C , відповідно. Визначити, у скільки разів швидкість газу в кінці ділянки перевищує швидкість газу в його початку.

Відповідь. В 1,375 рази.

183. Тиск на початку ділянки газопроводу становить 7,5 МПа, а в кінці ділянки - 4,0 МПа. Знайти тиск в середині цієї ділянки.

Відповідь. 6,0 МПа.

184. Тиск на початку ділянки газопроводу становить 7,50 МПа, а в кінці ділянки - 4,00 МПа. Знайти тиск в перерізі, віддаленим на $1/3$ протяжності ділянки від його початку.

Відповідь. 6,54 МПа.

185. Визначити середній тиск на ділянці газопроводу при стаціонарному ізотермічному режимі перекачування, якщо тиск на початку ділянки становить 5,2 МПа, а в його кінці - 3,5 МПа.

Відповідь. 4,405 МПа.

186. Комерційна витрата газу ($\mu = 17,1$ кг/кмоль, $p_{кр} = 4,7$ МПа; $T_{кр} = 194$ К) становить 25 млн. м³/добу. Знайти об'ємну витрату Q_v газу на вході в відцентровий нагнітач, якщо відомо, що тиск на вході в нагнітач складає 3,7 МПа, а температура газу $+15^\circ\text{C}$.

Відповідь. 430 м³/хв.

187. Комерційна витрата газу ($\mu = 17,1$ кг/кмоль, $p_{кр} = 4,7$ МПа; $T_{кр} = 194$ К) становить 25 млн. м³/добу. Знайти відношення об'ємної витрати Q_n газу на виході нагнітача до об'ємної витрати Q_v на вході в нагнітач, якщо відомі тиск і температура газу 3,7 МПа, +15°C до нагнітача, і 5,2 МПа, +35°C після нагнітача.

Відповідь. 0,753.

188. Довести, що збільшення тиску на початку ділянки газопроводу на величину Δp (при постійному тиску в його кінці) призводить до більшого збільшення комерційної витрати газу, ніж зменшення тиску в кінці ділянки на ту ж величину Δp (при постійному тиску в його початку).

189. Чи зменшиться або збільшиться комерційна витрата газу на ділянці газопроводу, якщо тиски на початку і в кінці цієї ділянки одночасно збільшити на одну і ту ж величину Δp ? Температуру, коефіцієнт стисливості і коефіцієнт гідравлічного опору вважати постійними.

Відповідь. Збільшиться.

190. Комерційна витрата газу, що перекачується по ділянці газопроводу ($D = 1020 \times 10$ мм, $k = 0,03$ мм) дорівнює 20 млн. м³/добу. Яка витрата газу встановилася б на ділянці такої ж протяжності в газопроводі більшого діаметру ($D = 1220 \times 12$ мм, $k = 0,03$ мм) при тих же тисках на початку і кінці ділянки. Середню температуру і коефіцієнт стисливості газу в порівнюваних варіантах вважати однаковими.

Відповідь. 31,85 млн. м³/добу.

191. Компресорна станція забезпечує перекачку газу по ділянці газопроводу постійного діаметра, розвиваючи при цьому ступінь стиснення 1,56. Вважаючи, що тиски перед компресорною станцією і в кінці розглянутої ділянки рівні один одному, визначити, на скільки потрібно збільшити ступінь стиснення газу, щоб витрата перекачування зросла на 10%. Тиск в кінці ділянки, середню температуру і коефіцієнт стисливості газу в порівнюваних варіантах вважати однаковими.

Відповідь. 1,654 (тобто на 6%).

192. Тиск на початку 125-км ділянки газопроводу ($D = 1020 \times 10$ мм, $k = 0,03$ мм) становить 6,0 МПа, а в кінці ділянки - 3,5 МПа. Визначити комерційну витрату газу ($\Delta = 0,6$; $p_{кр} = 4,8$ МПа; $T_{кр} = 200$ К), що перекачується при постійній температурі +15°C.

Відповідь. 37,64 млн. м³/добу.

193. Тиск на початку 120-км ділянки газопроводу ($D = 1220 \times 12$ мм, $k = 0,03$ мм) становить 5,5 МПа, а в кінці ділянки - 3,8 МПа. Визначити комерційну витрату газу ($\Delta = 0,59$; $p_{кр} = 4,7$ МПа; $T_{кр} = 194$ К), що перекачується при постійній температурі +10°C.

Відповідь. 50,58 млн. м³/добу.

194. Природний газ ($\Delta = 0,59$; $p_{кр} = 4,7$ МПа; $T_{кр} = 194$ К) перекачують по ділянці газопроводу ($L = 100$ км, $D = 1020 \times 10$ мм, $k = 0,05$ мм) в ізотермічному режимі ($T = +10^\circ\text{C}$) з комерційною витратою 30 млн. м³/добу. Який тиск необхідно підтримувати на початку ділянки газопроводу, щоб тиск в кінці ділянки був не нижче 3,2 МПа?

Відповідь. Не нижче 4,83 МПа.

195. Природний газ ($\Delta = 0,62$; $p_{кр} = 4,75$ МПа; $T_{кр} = 194$ К) необхідно транспортувати по ділянці газопроводу ($L = 120$ км, $D = 1020 \times 10$ мм, $k = 0,03$ мм) з комерційною витратою 35 млн. м³/добу в ізотермічному режимі при середній температурі +12°C. Який тиск слід очікувати в кінці ділянки газопроводу, якщо тиск в його початку становить 5,5 МПа?

Відповідь. 3,14 МПа.

196. Який мінімальний діаметр D ($\delta = 10$ мм; $k = 0,03$ мм) повинна мати 125-км ділянка газопроводу, щоб по ньому транспортувати природний газ ($\Delta = 0,59$; $p_{кр} = 4,7$ МПа; $T_{кр} = 194$ К) з комерційною витратою 28 млн. м³/добу, якщо відомо, що тиск на початку ділянки не може бути вище 6,0 МПа, а в кінці - нижче 4,0 МПа? Середню температуру транспортування газу прийняти рівною +10°C.

Відповідь. 1220 мм.

197. Природний газ ($C_p = 2500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, $\Delta = 0,62$), транспортують по ділянці газопроводу ($L = 140 \text{ км}$, $D = 1220 \times 10 \text{ мм}$, $\alpha = 1,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) з комерційною витратою 32 млн. м³/добу. При цьому температура газу на початку ділянки становить +30°C, а температура ґрунту на глибині залягання осі газопроводу - 0°C. Знайти розподіл температури газу по довжині ділянки. Заповнити порожні клітинки нижченаведеної таблиці:

Координата, км	0	20	40	60	80	100	120	140
Температура, 0С	30							
Ефектом Джоуля-Томсона знехтувати.								
Відповідь.								
20	40	60	80	100	120	140		
24,8	20,5	16,9	14,0	11,6	9,5	7,9		

198. Відомий ефект зниження температури газу, що транспортується за рахунок ефекту Джоуля-Томсона. Оцінити величину цього ефекту (коефіцієнт D^* Джоуля-Томсона дорівнює 0,3 °С/МПа), якщо відомо, що природний газ ($C_p = 2500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, $\Delta = 0,62$) транспортують по ділянці газопроводу ($L = 140 \text{ км}$, $D = 1220 \times 10 \text{ мм}$) з комерційною витратою 32 млн. м³/добу, причому тиск на початку ділянки становить 6,0 МПа, а в кінці ділянки - 3,5 МПа. Відомо також, що температура газу на початку ділянки становить +30°C, а температура ґрунту на глибині залягання осі газопроводу - 0°C. Знайти розподіл температури газу по довжині ділянки ($\alpha = 1,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$). Заповнити порожні клітинки наступної таблиці:

Координата, км	0	20	40	60	80	100	120	140
Температура газу без урахування ефекта Джоуля - Томсона, °С							30	24,9
	17,1	14,2	11,7	9,7	8,1			20,6
Температура газу з урахуванням ефекта Джоуля - Томсона, °С							30	

Поправка до формули В.Г. Шухова, °С 0

Відповідь.								
Координата, км	0	20	40	60	80	100	120	140
Температура газу з урахуванням ефекта Джоуля - Томсона, °С							30	24,7
	16,7	13,7	11,2	9,3	7,4			20,3
Поправка до формули В.Г. Шухова, °С	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5

199. Природний газ ($C_p = 2500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, $\Delta = 0,62$) транспортують по ділянці газопроводу ($L = 140 \text{ км}$, $D = 1220 \times 10 \text{ мм}$, $\alpha = 1,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) з комерційною витратою 32 млн. м³/добу. При цьому температура газу на початку ділянки становить +30°C, а температура ґрунту на глибині залягання осі газопроводу - 0°C. Знайти середню по ділянці температуру газу. Ефектом Джоуля-Томсона знехтувати.

Відповідь. 16,56°C.

200. Природний газ ($C_p = 2500 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, $\Delta = 0,59$) перекачують по ділянці газопроводу ($D = 1020 \times 10 \text{ мм}$, $L = 125 \text{ км}$) з комерційною витратою 25 млн. м³/добу. Температура газу на початку ділянки газопроводу становить 35°C, а в його кінці 15°C. Яке середнє значення коефіцієнта α теплопередачі на цій ділянці, якщо температура навколишнього ґрунту становить 10°C?

Відповідь. 2,06 Вт/(м²·К).

Література:

ЗБІРНИК ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ З ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ, НАФТОПРОДУКТІВ І ГАЗУ, Дніпро. - НТУ «ДП», 2019