

ТИТ

**Міністерство освіти і науки України КИЇВСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ  
Кафедра теплотехніки**

Курсовий проект  
з дисципліни “Теплопостачання”

на тему:

Централізоване теплопостачання міста

Студента(ки) IV курсу ТВ-42 групи

Здибай Г.Д.

спеціальності 192 “Будівництво та цивільна інженерія”  
спеціалізації “Теплопостачання і вентиляція”

Номер залікової книжки №2014024

Керівник: Швачко Н.А.

Національна шкала:

Кількість балів: Оцінка ECTS:

Київ 2017

## Зміст

- 1 . Характеристика об'єкту тепlopостачання
- 2 . Розрахунок теплових потоків на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання
- 3 . Розрахунок регулювання теплових потоків. Розрахунок теплових потоків на опалення. Розрахунок теплових потоків на ГВП. Розрахунок теплових потоків на вентиляцію
- 4 . Розрахунок витрат теплоносія
- 5 . Гідрравлічний розрахунок водяних теплових мереж
6. Розрахунок теплової ізоляції трубопроводу теплової мережі 7 .  
Підбір мережних та живильних насосів.
- 8 . Розрахунок трубопроводів на міцність та компенсацію теплових подовжень 9
- . Список літератури

Характеристика об'єкту тепlopостачання

Завдання на проектування обираємо згідно додатку 1 методичних вказівок [1]:

Місто проектування	Донецьк
Розрахункова температура на опалення	-23 °C
Середня температура опалювального періоду	-1,8 °C
Тривалість опалювального періоду	183 діб
Система тепlopостачання	закрита
Номер джерела теплоти	№ 2
Номер плану	№ 3
1.0 2.0	140 / 65
Метод регулювання	o

## Розрахунок теплових потоків на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання

Розрахунок витрати теплоти є основою проектування систем теплопостачання. Для розрахунку системи теплопостачання потрібно визначити витрату теплоти за одиницю часу. При проектуванні теплових мереж розрахункові теплові потоки на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання житлових, громадських і виробничих споруд визначають за відповідними методиками. При розробці курсового проекту розрахункові теплові потоки можна визначити за методикою з використанням укрупнених показників.

Максимальний годинний тепловий потік на опалення житлових і громадських приміщень визначають за формулою:

$$Q_{o \max} = (1 + K_1) \cdot q_0 \cdot A,$$

де:

$q_0$  - укрупнений показник максимального теплового потоку на опалення  $1 \text{ м}^2$  загальної площі житлових приміщень  $\text{Вт}/\text{м}^2$ . Визначається згідно Додатку 2 методичних вказівок [1]

$K_1$  - коефіцієнт що враховує тепловий потік на опалення громадських приміщень

$$K_1 = 0,25$$

$A$  - загальна площа житлових споруд  $\text{м}^2$ , яку визначають з рівності:

$$A = F \cdot f_1,$$

де:

$F$  - площа кварталу з генплану,  $\text{га}$

$f_1$  - щільність житлового фонду, яка залежить від кількості поверхів будівлі,  $\text{м}^2/\text{га}$ . Визначається згідно

Додатку 6 методичних вказівок [1]

Максимальний годинний тепловий потік на вентиляцію громадських споруд дорівнює:

$$Q_{v \max} = K_2 \cdot K_1 \cdot q_0 \cdot A,$$

де:

$K_2$  - коефіцієнт що враховує тепловий потік на вентиляцію громадських приміщень

$$K_2 = 0,4$$

Середній годинний тепловий потік на гаряче водопостачання житлових та громадських споруд визначають за формулою:

$$Q_{hm} = q_h \cdot m,$$

де:

$q_h$  - укрупнений показник середнього теплового потоку на гаряче водопостачання на одного мешканця,  $\text{Вт}/\text{меш}$ . Визначається згідно Додатку 3 методичних вказівок [1]

$m$  - кількість мешканців, яку визначають за формулою:

$$m = A / f,$$

де:

$f$  - норма загальної площі на одного мешканця

$$f = 22 \text{ м}^2/\text{меш}$$

Максимальний годинний тепловий потік на гаряче водопостачання житлових і громадських споруд:

$$Q_{h \max} = 2,4 \cdot Q_{hm}$$

$$A = 13,5 \cdot 7100 = 95850 \text{ м}^2$$

Розрахунок на прикладі розрахунок кварталу:  $Q_{o \max} = 9,97$

$$Q_{v \max} = 0,25 \cdot 0,4 \cdot 83,2 \cdot 95850 = \text{MBm}$$

$$m = 95850 / 22 = 4357 \quad 0,8$$

$$Q_{hm} = 407 \cdot 4357 = \text{меш} \quad \text{MBm}$$

$$Q_{h \max} = 2,4 \cdot 1,78 = 4,27$$

Розрахунок решти кварталів виконується за аналогією та заноситься в таблицю 1.

Середній і максимальний годинні теплові потоки на ГВП в неопалювальний період:

$$Q_{hm}^s \square Q_{hm}^h \frac{t^s \square t^c \square t^h}{t^h \square t^c \square t^h},$$

$$Q_{h \max}^s \square Q_{h \max}^h \frac{t^s \square t^c \square t^h}{t^h \square t^c \square t^h},$$

де:

$t_s$  - відповідна температура водопровідної води, в опалювальний період ( $t = 5^\circ\text{C}$ ), та в

неопалювальний період ( $t = 15^\circ\text{C}$ )

$t_n$  - температура гарячої води в системі ГВП,

$\beta$  - коефіцієнт враховуючий зміну середньої витрати води на ГВП в неопалювальний період відносно до опалювального періоду

$$\beta = 0,8$$

$Q_{hmax}$  - максимальний годинний тепловий потік на ГВП

$Q_{hm}$  - середній годинний тепловий потік на ГВП

$$Q_{hmax} = 11,76 * 2,4 = 28,23 \text{ MBm}$$

$$Q_{hm} = \frac{55-15}{55-5} * 28,23 = 18,07 \text{ MBm}$$

$$Q_{hmax} = 28,23 * \frac{55-15}{55-5} * 0,8 = 18,07 \text{ MBm}$$

Значення розрахункових теплових потоків					Таблиця 1			
№ квартал у	Площа кварталу, га	Щільність житлового фонду, м <sup>2</sup> /га	Загальна площа житлових споруд, м <sup>2</sup>	Кількість мешканців, меш	Теплові потоки, МВт			
					опалення, $\dot{Q}_{o\ max}$	вентиляція, $\dot{Q}_{v\ max}$	ГВП, $Q_{hm}$	разом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	13,5	7100	95850	4357	9,97	0,80	1,78	12,55
2	6,1	4700	28670	1303	4,39	0,35	0,49	5,23
3	12,3	5200	63960	2907	9,79	0,78	1,09	11,66
4	6,9	5200	35880	1631	5,49	0,44	0,61	6,54
5	7,9	4700	37130	1688	5,68	0,45	0,63	6,77
6	7,0	4700	32900	1495	5,03	0,40	0,56	6,00
7	7,5	5200	39000	1773	5,97	0,48	0,67	7,11
8	7,5	6300	47250	2148	4,91	0,39	0,87	6,18
9	7,5	5200	39000	1773	5,97	0,48	0,67	7,11
10	7,5	6300	47250	2148	4,91	0,39	0,87	6,18
11	7,5	7800	58500	2659	6,08	0,49	1,08	7,65
12	7,5	5200	39000	1773	5,97	0,48	0,67	7,11
13	7,5	7800	58500	2659	6,08	0,49	1,08	7,65
14	7,5	5200	39000	1773	5,97	0,48	0,67	7,11
Всього	113,7	80600	661890	30086	86,21	6,90	11,76	104,86

				Таблиця 2	
Розрахунок теплових потоків					
Позначення	Тепловий потік при t				
	$t'_0 = -23^\circ\text{C}$	$t_n = -10^\circ\text{C}$	$t''_n = 4,1^\circ\text{C}$	$t_n = +8^\circ\text{C}$	$t_n > +8^\circ\text{C}$
Відносний тепловий потік, $Q_0$	1	0,7	0,37	0,28	-
Тепловий потік на опалення, МВт $Q_0$	86,22	60,15	31,88	24,06	-
Тепловий потік на вентиляцію, МВт $Q_v$	6,9	4,81	2,55	1,93	-
Середній тепловий потік на ГВП, МВт $Q_{hm}$	11,76	11,76	11,76	11,76	9,41
Максимальний тепловий потік на ГВП, МВт $Q_{h\ max}$	28,22	28,22	28,22	28,22	22,58
Середній сумарний тепловий потік, МВт $\Sigma Q_m = Q_0 + Q_v + Q_{hm}$	104,88	76,73	46,19	37,75	9,41
Максимальний сумарний тепловий потік, МВт $\Sigma Q_{max} = Q_0 + Q_v + Q_{h\ max}$	121,34	93,19	62,66	54,21	22,58

Розрахунок регулювання теплових потоків. Розрахунок теплових потоків на опалення. Розрахунок теплових потоків на ГВП. Розрахунок теплових потоків на вентиляцію

Проводимо регулювання закритої системи тепlopостачання по навантаженню опалення. Задача розрахунку регулювання теплових потоків полягає у визначенні температури і витрат мережної води в подаючому і зворотному трубопроводах теплових мереж. Ці величини обчислюють для характерних температур зовнішнього повітря. В закритій системі тепlopостачання останній забезпечує потрібний температурний потенціал гарячої води за рахунок зміни кількості мережної води, що надходить в підігрівач з подаючого трубопроводу.

Рівняння температурних графіків якісного регулювання представляються у вигляді:

- в подавальному трубопроводі теплової мережі

$$\tau_{1,0}(t) = t + (\tau' - t) * Q_{np}^{0,8} + (\tau' - \tau') * Q_{np} \quad \text{---}$$

- після системи опалення (в зворотному трубопроводі теплової мережі)

$$\tau_{2,0}(t) = t + (\tau' - t) * Q_{np}^{0,8} + (\tau' - \tau_{2,0}') * Q_{2,0}' \quad \text{---}$$

- перед системою опалення

$$\tau_{3,0}(t) = t + (\tau' - t) * Q_{np}^{0,8} + (\tau' - \tau_{3,0}') * Q_{np}' \quad \text{---}$$

де:

- $\tau_{1,0}(t_n)$  - температура мережної води в подавальному трубопроводі перед елеватором або змішувальним насосом, яка залежить від температури зовнішнього повітря
- $\tau_{2,0}(t_n)$  - температура мережної води в зворотньому трубопроводі після системи опалення, яка залежить від температури зовнішнього повітря
- $\tau_{3,0}(t_n)$  - температура води після елеватора або змішувального насоса, яка залежить від температури зовнішнього повітря
- $\tau_{1,0}'$  - температура мережної води в подавальному трубопроводі перед елеватором або змішувальним насосом, при розрахунковій температурі зовнішнього повітря на опалення
- $\tau_{2,0}'$  - температура мережної води в зворотньому трубопроводі після системи опалення, при розрахунковій температурі зовнішнього повітря на опалення
- $\tau_{3,0}'$  - температура води після елеватора або змішувального насоса системи опалення, при розрахунковій температурі зовнішнього повітря на опалення
- $\tau_{np}'$  - розрахункова середня температура опалювального пристрою, при розрахунковій температурі зовнішнього повітря на опалення

$$\tau_{np}' = 0,5 * (\tau_{1,0}' + \tau_{2,0}')$$

$t_i$  - температура внутрішнього повітря приміщення

$$t_i = 20 \quad ^\circ\text{C}$$

$t_n$  - температура зовнішнього повітря

$$t_n = 8 \quad ^\circ\text{C}$$

$\overline{Q}_0$  - відносний тепловий потік

$$\overline{Q}_0 = -10 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\overline{Q}_0 = \frac{t_i - t_n}{t_{нн} - t_n}$$

$$Q_0 = \frac{20 - 8}{20 - (-23)} = 0,28$$

$$\overline{Q}_0 = \frac{20 - (-10)}{20 - (-23)} = 0,7$$

Витрата мережної води на опалення, залежно від температури зовнішнього повітря:

$$G(t_n) \approx c \tau_{1,0} \frac{Q_0(t_n)}{2,2(t_n)}$$

$c$  - теплоємність води

$$c = 4,19 \quad \text{кДж}/(\text{кг} * \text{K})$$





Результати розрахунку графіка регулювання теплових потоків на опалення						Таблиця 3
Позначення	Одиниці вимірювання	Температура і витрата мережної води				
		$t_0 = -23^{\circ}\text{C}$	$t_{on} = -10^{\circ}\text{C}$	$t_u = -1,8^{\circ}\text{C}$	$t_u = 4,1^{\circ}\text{C}$	$t_u = +8^{\circ}\text{C}$
$t_{1,0}$	$^{\circ}\text{C}$	140	107,5	85,08	69,05	69,05
$t_{2,0}$	$^{\circ}\text{C}$	65	55	47,06	41,32	41,32
$t_{2,\sigma}$	$^{\circ}\text{C}$	90	72,5	59,73	50,56	50,56
$G_0$	$\text{кг/с}$	274,4	274,4	274,4	274,4	207,1

Таблиця 4

Результати розрахунку графіка регулювання теплових потоків на ГВП						
Позначення	Одиниці вимірювання	Температура і витрата мережної води				
		$t_0 = -23^{\circ}\text{C}$	$t_{on} = -10^{\circ}\text{C}$	$t_u = -1,8^{\circ}\text{C}$	$t_u = 4,1^{\circ}\text{C}$	$t_u = +8^{\circ}\text{C}$
$t_{2,0}$	$^{\circ}\text{C}$	65	55,0	47,06	41,32	41,32
$t'$	$^{\circ}\text{C}$	55	45,0	37,06	31,32	31,32
$G_{hm}$	$\text{кг/с}$	0,0	10,7	26,5	47,9	47,9

Результати розрахунку графіка регулювання теплових потоків на опалення						Таблиця 5
Позначення	Одиниці вимірювання	Температура і витрата мережної води				
		$t_0 = -23^{\circ}\text{C}$	$t_{on} = -10^{\circ}\text{C}$	$t_u = -1,8^{\circ}\text{C}$	$t_u = 4,1^{\circ}\text{C}$	$t_u = +8^{\circ}\text{C}$
$t_{1,0}$	$^{\circ}\text{C}$	140	107,5	85,08	69,05	69,05
$t_{2,0}$	$^{\circ}\text{C}$	65	55	47,06	41,32	41,32
$t_{2,\sigma}$	$^{\circ}\text{C}$	65	55	47,06	41,32	48,12
$G_v$	$\text{кг/с}$	22,0	22,0	22,0	22,0	16,6

### Розрахунок витрат теплоносія

Розрахункову витрату мережної води для визначення діаметрів труб в водяних теплових мережах при якісному регулюванні кількості теплоти визначають окремо для опалення, вентиляції і ГВП.

- витрата на опалення:

$$G_{o \max} = \frac{Q_{o \max}}{c \cdot (\Delta t_{o \max})} ,$$

- витрата на вентиляцію:

$$G_{v \max} = \frac{Q_{v \max}}{c \cdot (\Delta t_{v \max})} ,$$

- витрата на ГВП:

$$G_{hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (t_{hm} - t_c) \cdot \left( \frac{55-t_c}{55-t} + 0,2 \right)} ,$$

- сумарна витрата

$$G_d = G_{o \max} + G_{v \max} + K_3 \cdot G_{hm} ,$$

- розрахункова витрата води в двотрубних водяних теплових мережах в неопалювальний період

$$G_d = G_{hm \max}$$

де:

$Q_{o \max}$  - максимальний годинний тепловий потік на опалення житлових і громадських приміщень, М Вт  
 $Q_{v \max}$  - максимальний годинний тепловий потік на вентиляцію житлових і громадських приміщень, М Вт

$Q_{hm}$  - середній годинний тепловий потік на гаряче водопостачання житлових та громадських споруд, М Вт

$c$  - теплоємність води, кДж/(кг\*К)

$$c = 4,19 \text{ кДж/(кг*К)}$$

$K_3$  - коефіцієнт, що залежить від типу системи ТМ та теплового навантаження. Приймається згідно дод.4 [1]

$$K_3 = 1$$

$G_{hm \max}$  - максимальна витрата на

ГВП

$\beta$  -

$$\beta = 0,8$$

Розрахунок на прикладі першого кварталу:

$$G_{o \max} = \frac{0,97 \cdot 1000}{4,19 \cdot (140-65)} = 31,73 \text{ кг/с}$$

$$G_{v \max} = \frac{0,8 \cdot 1000}{4,19 \cdot (140-65)} = 2,55 \text{ кг/с}$$

$$G_{hm} = \frac{1,78 \cdot 1000}{4,19 \cdot (140-65) \cdot \left( \frac{55-5,5}{55-5} + 0,2 \right)} = 10,32 \text{ кг/с}$$

$$G_d = 31,73 + 2,55 + 1 \cdot 10,32 = 44,60$$

$$G^d = 0,8 \cdot 2,4 \cdot 10,32 = 19,81 \text{ кг/с}$$

Розрахунок решти кварталів виконується по аналогії та заноситься в таблицю 6.

кг/с

№ кварталу	Розраункова витарата теплоносія $G$ , кг/с						Таблиця 6
	$G_{max}$	$G_{vmax}$	$G_{hm}$	$k_3 G_{hm}$	$G_d$	$G_d^s$	
1	31,73	2,55	10,32	10,32	44,59	19,81	
2	13,96	1,12	2,84	2,84	17,92	5,45	
3	31,14	2,49	6,34	6,34	39,97	12,17	
4	17,47	1,40	3,55	3,55	22,42	6,83	
5	18,08	1,45	3,68	3,68	23,20	7,06	
6	16,02	1,28	3,26	3,26	20,56	6,26	
7	18,99	1,52	3,86	3,86	24,37	7,42	
8	15,64	1,25	5,07	5,07	21,96	9,73	
9	18,99	1,52	3,86	3,86	24,37	7,42	
10	15,64	1,25	5,07	5,07	21,96	9,73	
11	19,36	1,55	6,27	6,27	27,18	12,05	
12	18,99	1,52	3,86	3,86	24,37	7,42	
13	19,36	1,55	6,27	6,27	27,18	12,05	
14	18,99	1,52	3,86	3,86	24,37	7,42	
Разом	274,34	21,95	68,13	68,13	364,42	130,8	

### Гідрравлічний розрахунок водяних теплових мереж

Гідрравлічний розрахунок теплової мережі виконуємо за методом еквівалентних довжин.

Згідно магістральних ділянок і відгалуджень (попередньо протрасувавши теплову мережу) визначаємо витрату теплоносія для кожної ділянки з табл. 6 ( $G_d$ ).

Розрахунок на прикладі останньої магістральної ділянки (7-8):

$$G_d(7-8) = 44,59 \text{ кг/с}$$

Визначаємо діаметр труб та товщину їх стінок згідно визначеної витрати та згідно ділянок з дод. 9 [1].

$$D^*_{\text{с}} = 273 * 5 \text{ мм}$$

Еквівалентну довжину ділянки визначають за формулою:

$$l_e = \alpha * l,$$

де:

$l$  - геометрична довжина ділянки

$$l = 44,04 \text{ м}$$

$\alpha$  - коефіцієнт втрат тиску в місцевих опорах. Приймається згідно дод. 8 [1]

$$\alpha = 0,3$$

$$l_e = 44,04 * 0,3 = 13,22 \text{ м}$$

Приведену довжину ділянки визначають за формулою:

$$l_{np} = l_e + l,$$

$$l_{np} = 13,22 + 44,04 = 57,26 \text{ м}$$

Швидкість теплоносія та питомі втрати визначаються згідно дод. 9 [1]. Питомі втрати приймають в таких межах:

1) для магістралі 40,80 Па/м; 2) для відгалуджень не перевищувати 300 Па/м.

$$R = 31,5 \text{ м/с}$$

Втрати тиску на ділянці визначаються за формулою:

$$\Delta P = l_{np} * R$$

$$\Delta P = 57,26 * 31,5 = 1,8 \text{ кПа}$$

Сумарні втрати на ділянці визначаються за формулою:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho g},$$

де:

$\rho$  - густина теплоносія

$$\rho = 958 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$H = \frac{1,8}{958 * 9,8} = 0,19 \text{ м}$$

Розрахунок для решти ділянок проводиться за аналогією та заноситься в таблицю 7. Після гідрравлічного розрахунку відбувається побудова п'єзометричного графіку.

Порядок побудови п'єзометричного графіку:

1. Креслимо головну магістраль по ділянках у вигляді розгортки.
2. Наносимо рельєф місцевості та висоти будівель.
3. Будуємо лінію статичного тиску. Лінія холодної статики проходить на 5 м вище за найвищий будинок з урахуванням рельєфу. ЛХС забезпечується живильними насосами, напір яких визначається як відстань від ЛХС до землі на джерелі теплоти.
4. За результатами гідрравлічного розрахунку визначаємо втрати тиску у зворотному трубопроводі головної магістралі та відкладаємо від точки перетину ЛХС з джерелом теплоти.
5. На останньому споживачі головної магістралі відкладаємо наявний тиск потрібний для роботи обладнання.
6. Будуємо графік тиску в подавальному трубопроводі.
7. Відкладаємо втрати тиску в обладнанні джерела теплоти.
8. Перевіряємо графік на відповідність вимогам до п'єзометричних графіків.
9. Визначаємо напір мережного насосу який складається з втрат тиску у подавальному та зворотному трубопроводах на абонентському вводі на джерелі теплоти з врахуванням встановлення насосних та дросельних станцій.

Таблиця 7.1

## Гідравлічний розрахунок теплової мережі (опалювальний період)

№	Розрахунок витрата теплоносія, $G$ кг/с	Діаметр трубопроводу $D^*$ , мм	Геометрична довжина $l$ , м	Еквівалентна довжина $le$ , м	Приведена довжина $l_{пр}$ , м	Швидкість $\omega$ , м/с	Питомі втрати тиску Па/м	Втрати тиску на ділянці кПа	Сумарні втрати тиску
Магістраль									
1-2	364,42	530*8	617,75	185,33	803,08	1,78	62,9	50,51	5,38
2-3	318,09	530*8	376,1	112,83	488,93	1,54	47,1	23,03	2,45
3-4	271,77	530*8	180	54	234	1,33	34,8	8,14	0,87
4-5	168,66	377*6	1128,72	338,62	1467,34	1,62	80,1	117,53	12,52
5-6	124,9	377*6	354,6	106,38	460,98	1,19	43,3	19,96	2,13
6-7	62,51	273*5	380	114	494	1,18	63,6	31,42	3,35
7-8	44,59	273*5	44,04	13,22	57,26	0,83	31,5	1,8	0,19
Відгалуження									26,88
4-5'	27,18	159*5	260,26	78,08	338,34	1,58	244	82,55	8,79
7-13'	17,92	133*4	54,63	16,39	71,02	1,47	255	18,11	1,93
2-1'	21,96	159*5	44,04	13,22	57,26	1,26	151	8,65	0,92
2-2'	24,37	159*5	54,63	16,39	71,02	1,38	184,55	13,11	1,4
3-3'	21,96	159*5	44,04	13,22	57,26	1,26	151	8,65	0,92
3-4'	24,37	159*5	54,63	16,39	71,02	1,38	184,55	13,11	1,4
5-9'	20,56	159*5	54,63	16,39	71,02	1,18	131,28	9,32	0,99
5-10'	23,2	159*5	44,04	13,22	57,26	1,31	167,8	9,61	1,02
6-11'	22,42	159*5	54,63	16,39	71,02	1,28	156,88	11,14	1,19
6-12'	39,97	219*5	44,04	13,22	57,26	1,17	83,4	4,78	0,51
20-6'	27,18	159*5	260,26	78,08	338,34	1,54	229,6	77,68	8,27
20-7'	24,37	159*5	260,26	78,08	338,34	1,38	184,55	62,44	6,65
20-8'	24,37	159*5	260,26	78,08	338,34	1,38	184,55	62,44	6,65
4-20	75,93	219*5	376,1	112,83	488,93	2,22	301	147,17	15,68
									56,32

Таблиця 7.2

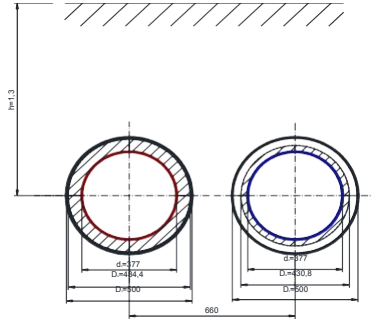
## Гідравлічний розрахунок теплової мережі (неопалювальний період)

№	Розрахунок витрата теплоносія, $G$ кг/с	Діаметр трубопроводу $D^*$ , мм	Геометрична довжина $l$ , м	Еквівалентна довжина $le$ , м	Приведена довжина $l_{пр}$ , м	Швидкість $\omega$ , м/с	Питомі втрати тиску Па/м	Втрати тиску на ділянці кПа	Сумарні втрати тиску
Магістраль									
1-2	130,8	530*8	617,75	185,33	803,08	1,78	8,1	6,51	0,69
2-3	113,65	530*8	376,1	112,83	488,93	1,54	6,01	2,94	0,31
3-4	96,51	530*8	180	54	234	1,33	4,39	1,03	0,11
4-5	57,58	377*6	1128,72	338,62	1467,34	1,62	9,34	13,7	1,46
5-6	44,26	377*6	354,6	106,38	460,98	1,19	5,44	2,51	0,27
6-7	25,27	273*5	380	114	494	1,18	10,39	5,13	0,55
7-8	19,81	273*5	44,04	13,22	57,26	0,83	6,22	0,36	0,04
Відгалуження									3,43
4-5'	12,05	159*5	260,26	78,08	338,34	1,58	47,91	16,21	1,73
7-13'	5,45	133*4	54,63	16,39	71,02	1,47	23,63	1,68	0,18
2-1'	9,73	159*5	44,04	13,21	57,25	1,26	29,65	1,7	0,18
2-2'	7,42	159*5	54,63	16,39	71,02	1,38	17,1	1,21	0,13
3-3'	9,73	159*5	44,04	13,21	57,25	1,26	29,65	1,7	0,18
3-4'	7,42	159*5	54,63	16,39	71,02	1,38	17,1	1,21	0,13
5-9'	6,26	159*5	54,63	16,39	71,02	1,18	12,16	0,86	0,09
5-10'	7,06	159*5	44,04	13,21	57,25	1,31	15,55	0,89	0,09
6-11'	6,83	159*5	54,63	16,39	71,02	1,28	14,54	1,03	0,11
6-12'	12,17	219*5	44,04	13,21	57,25	1,17	7,73	0,44	0,05
20-6'	12,05	159*5	260,26	78,08	338,34	1,54	45,09	15,25	1,62
20-7'	7,42	159*5	260,26	78,08	338,34	1,38	17,1	5,79	0,62
20-8'	7,42	159*5	260,26	78,08	338,34	1,38	17,1	5,79	0,62
4-20	26,88	219*5	376,1	112,83	488,93	2,22	37,74	18,45	1,97
									7,69

### Розрахунок теплової ізоляції трубопроводу теплової мережі

Теплову ізоляцію передбачають для трубопроводів теплових мереж, арматури, фланцевих з'єднань, компенсаторів і опор трубопроводів незалежно від температури теплоносія і місця прокладання. Товщину основного шару теплоізоляційної конструкції трубопроводів водяних теплових мереж визначають за нормами або на основі техніко-економічних розрахунків.

Задачі теплового розрахунку – визначення втрат теплоти через трубопровід і ізоляцію в навколишнє середовище. Значення теплових втрат належить порівнювати з нормативними (дод. 17) [1]. Якщо теплові втрати відрізняються більше ніж на 10% від нормативних, належить перевірити прийняте рішення щодо ізоляції



Вихідні дані для розрахунку теплової ізоляції:

$$t_1 = 140 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ - температура в подавальному трубопроводі ТМ}$$

$$t_2 = 65 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ - температура у зворотньому трубопроводі ТМ } t_p$$

$$= 1,5 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C} \text{ - теплопровідність ґрунту}$$

$$\lambda_{cp} = 1,92 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C} \text{ - теплопровідність каналу}$$

$$\lambda_k = 0,377 \text{ м} \text{ - зовнішній діаметр трубопроводу}$$

$$d_s = 0,009 \text{ м} \text{ - товщина стінки трубопроводу}$$

$$\delta_{mp} = 0,5 \text{ м} \text{ - діаметр труби з теплоізоляцією}$$

Товщина ізоляція – мати мінераловатні прошивні М100 (ГОСТ 21880-86)

$$n_o = 4392 \text{ діб} \text{ - тривалість опалювального періоду}$$

Теплопровідність теплової ізоляції визначається за формулою:

$$\lambda_M = 0,045 + 0,00021 \cdot t_M$$

де:

$$t_M \text{ - середня температура теплоізоляційного шару}$$

$$t_M = (t_1 + t_2) / 2$$

де:

$t_w$  - температура мережної води

$$t_{M1} = (140 + 40) / 2 = t_{M2} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= (65 + 40) / 2 = 52,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Отже теплопровідність теплової ізоляції:

$$\text{при } t_{M1} \quad \lambda_{M1} = 0,045 + 0,00021 \cdot 90 = 0,064 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{при } t_{M2} \quad \lambda_{M2} = 0,045 + 0,00021 \cdot 52,5 = 0,057 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

Допустима товщина теплової ізоляції для даного трубопроводу становить 65мм.

Термічний опір теплоізоляції визначається за формулою:

$$R_{i,j} = \frac{1}{2 \cdot \ln \frac{d_{i+2}}{d_{i+1}}} \cdot \frac{d_{i+2}}{d_{i+1}}$$

де:

$d_s$  - зовнішній діаметр трубопроводу  $\lambda_i$  -

теплопровідність теплової ізоляції  $\delta_i$  -

товщина теплової ізоляції

$$\delta_{i3в} = 0,0537 \text{ м}$$

$$= 0,0269 \text{ м}$$

- для подавального трубопроводу:

$$R_{i3н} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,064} \cdot \ln \frac{0,377 + 2 \cdot 0,0537}{0,377} = 0,624 \text{ м}^2\text{K/Вт}$$

- для зворотнього трубопроводу:

$$R_{i3в} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,057} \cdot \ln \frac{0,377 + 2 \cdot 0,0269}{0,377} = 0,373 \text{ м}^2\text{K/Вт}$$

Термічний опір тепловіддачі від поверхні ізоляції до повітря в каналі визначається за формулою:

$$R_{i \square / \square} = \frac{1}{\alpha_3 \square_3 \square_2 \square_i}$$

де:

$\alpha_3$  - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції до повітря

$$\alpha_3 = 25 \text{ Вт/м}^2$$

- для подавального трубопроводу:

$$R_n = \frac{1}{3,14 * 25 * (0,377 + 2 * 0,0537)} = 0,027 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

- для зворотнього трубопроводу:

$$R_{ze} = \frac{1}{3,14 * 25 * (0,377 + 2 * 0,0269)} = 0,030 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

Термічний опір тепловіддачі від повітря в каналі до внутрішньої поверхні каналу визначається за формулою:

$$R_{нк} = \frac{1}{\alpha_{нк} \square_{нк} d_{ев}}$$

де:

$\alpha_{нк}$  - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до внутрішньої поверхні каналу

$$\alpha_{нк} = 25 \text{ Вт/м}^2$$

$d_{ев}$  - еквівалентний діаметр внутрішньої поверхні каналу

$$d_{ев} = \frac{4 \square_{F \square}}{\square_{\square \square \square}}$$

де:

$F_{\square}$  - площа внутрішнього поперечного перерізу каналу

$$F_{\square} = 1,26 \text{ м}^2$$

$\square_{\square \square \square}$  - периметр внутрішнього перерізу каналу

$$\square_{\square \square \square} = 4,68 \text{ м}$$

$$d_{ев} = \frac{4 * 1,26}{4,68} = 1,08 \text{ м}$$

$$R_{нк} = \frac{1}{3,14 * 25 * 1,08} = 0,012 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

Термічний опір стінок каналу визначається за формулою:

$$R_{\square \square} = \frac{1}{2 \square_{\square \square} \square_{\square \square} \frac{d_{ев}}{d_{ез}}}$$

де:

$d_{ез}$  - еквівалентний діаметр зовнішньої поверхні каналу

$$d_{ез} = \frac{4 \square_{F_3}}{\square_{\square \square \square}}$$

де:

$F_3$  - площа зовнішнього поперечного перерізу каналу

$$F_3 = 1,88 \text{ м}^2$$

$\square_{\square \square \square}$  - периметр зовнішнього перерізу каналу

$$\square_{\square \square \square} = 5,64 \text{ м}$$

$$d_{ез} = \frac{4 * 1,88}{5,64} = 1,34 \text{ м}$$

$$R_{\square \square} = \frac{1}{2 * 3,14 * 1,92 * \ln \frac{1,34}{1,08}} = 0,018 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

Термічний опір ґрунту визначається за формулою:

$$R_{rp} = \frac{1}{\square_{\square \square} \ln \frac{4h_e}{d_{сп}}}$$

де:

$h_e$  - еквівалентна глибина закладання трубопроводу

$$h_e = h \square_{\square_{rp}} / \square_{\square}$$

де:

$h$  - відстань від поверхні землі до осі трубопроводу

$$h = 1,3 \text{ м}$$

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні землі у повітря

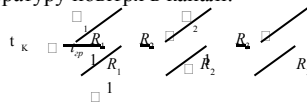
$$R_{rp} = \frac{1}{\alpha \square_{\square \square} \ln \frac{4 * 1,45}{1,45}} = 0,156 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

Загальний термічний опір визначається за формулою:

$$\Sigma R = R_{ізп} + R_{іззв} + R_n + R_{ze} + R_{нк} + R_{\square \square} + R_{rp} = 0,624 + 0,373 + 0,027 + 0,03 + 0,012 + 0,018 + 0,156 = 1,24 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$



При прокладці кількох трубопроводів у однолотковому каналі спостерігається їх вплив один на одного. В цьому випадку належить попередньо визначити температуру повітря в каналі:



$R_1$

- сума термічного опору теплоізоляції подавального трубопроводу та термічного опору тепловіддачі від поверхні ізоляції до повітря в каналі подавального трубопроводу

$$R_1 = 0,624 + 0,027 = 0,651 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

$R_2$  - сума термічного опору теплоізоляції зворотнього трубопроводу та термічного опору тепловіддачі від поверхні ізоляції до повітря в каналі зворотнього трубопроводу

$$R_2 = 0,373 + 0,03 = 0,403 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

$R_3$  - сума термічного опору тепловіддачі від повітря в каналі до внутрішньої поверхні каналу, термічного опору стінок каналу та термічного опору ґрунту

$$R_3 = 0,01 \frac{20(0,651 + 0,525 + 0,036 + 5,0186)}{1,0,651 + 1,0,403 + 1,0,186} = 31,45 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тепловтрати в подавальному і зворотньому трубопроводах визначаються за формулами:

$$q_1 = \frac{t_k - t_{\text{вн}}}{R_1}, \quad q_2 = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}}{R_2}$$

де:

$\beta$

- коефіцієнт який враховує теплові втрати опорами трубопроводів, фланцевими з'єднаннями і арматурою

$$\beta = 0,2$$

$$q_1 = \frac{(90 - 31,45)(1 + 0,2)}{0,651} = 107,93 \text{ Вт/м}$$

$$q_2 = \frac{(52,5 - 31,45)(1 + 0,2)}{0,403} = 62,68 \text{ Вт/м}$$

Тепловтрати подавального і зворотнього трубопроводів порівнявши з нормативними, які складають у подавальному 124 Вт/м і у зворотньому 76 Вт/м відповідно, робимо висновок, що вони менше нормативних і ізоляція відповідає нормам і правилам.

Визначаємо коефіцієнт ефективності теплової ізоляції за формулою:

$$\eta = \frac{q_{\text{н}} - q_{\text{н}}}{q_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

$q_{\text{н}}$  - тепловтрати неізованих трубопроводів

$q_{\text{н}}$  - тепловтрати ізованих трубопроводів

Термічні опори неізованих трубопроводів:

$$R = \frac{1}{\pi \cdot \alpha_3 \cdot d}$$

$$R_1 = 3,14 \cdot 25 \cdot 0,377 = 0,034 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

$$R_1 = R_2 = 0,034 \text{ м}^2\text{К/Вт}$$

Перерахована температура в каналі буде становити:

$$t_k = \frac{90 \cdot 0,034 + 52,5 \cdot 0,034 + 5,0186}{1,0,034 + 1,0,034 + 1,0,186} = 65,71 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тепловтрати подавальним і зворотнім неізованими трубопроводами становитиме:

$$q_{\text{н1}} = \frac{(90 - 65,71)(1 + 0,2)}{0,034} = 857,30 \text{ Вт/м}$$

$$q_{\text{н2}} = \frac{(52,5 - 65,71)(1 + 0,2)}{0,034} = -466,24 \text{ Вт/м}$$

Отже:

$$\eta = \frac{857,3 - 107,93}{857,3} \cdot 100 = 87,41 \%$$

**Висновок:** коефіцієнт ефективності теплової ізоляції становить 87,41% (при нормативному значенні коефіцієнта ефективності 85-95%). Це означає, що розрахована товщина теплової ізоляції підходить для трубопроводу діаметром 377\*9 мм.

Підбір мережних та живильних насосів.Мережні насоси:

$$H = 88,94 \text{ м} \quad - \text{опалювальний період}$$

$$G = 364,42 \text{ кг/с}$$

Приймаємо до установки 1 насос СЭ-800-100 та 2 насоси СЭ-320-110, один з яких резервний (приймаємо згідно

дод. 10 [1]):

$$\text{Подача} - 399$$

$$\text{Напір} - \text{кг/с}$$

$$100$$

Живильні насоси:

Продуктивність живильних насосів визначається за формулою:

$$V_{\text{жив}} = Q \cdot (V_c + V_m)$$

де:

$Q$  - теплова потужність системи ТМ

$$Q = 104,87 \text{ МВт}$$

$V_c, V_m$  - питомі об'єми мережної води, яка знаходиться в зовнішніх мережах з підігрівачами та в місцевих систе

$$V_c = 40$$

$$\text{м}^3/\text{МВт} \quad V_m =$$

$$26 \text{ м}^3/\text{МВт}$$

$$G_{\text{жив}} = 0,0075 \cdot 104,87 \cdot (40 + 26) = 51,91 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\text{Напір} - 89 \text{ м}$$

Приймаємо до установки 3 насоси WILO-Norm-NP 40/250 (приймаємо згідно дод. 11 [1] або каталогу WILO) один

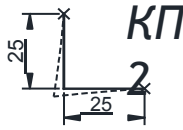
$$\text{з яких є резервним}$$

$$\text{Напір} - 26 \text{ м}$$

$$\text{Витрата} - \text{м}^3/\text{год}$$

### Розрахунок трубопроводів на міцність та компенсацію теплових подовжень

Розрахунок Г-подібного компенсатору КП2 на ділянці 1-2



Максимальні згинаючі напруження на ділянці з кутовою конфігурацією виникають в замурувці меншого плеча визначають за формулою:

$$\sigma = \frac{1,5 \cdot L \cdot E \cdot d}{L_k^2 \cdot \cos \beta} \cdot \frac{1 + n^3}{\sin n} \cdot \frac{1 + n^3}{(n \cdot L)}$$

де:

$\Delta L_k$  - подовження меншого плеча, м:

$$\Delta L_k = L_k \cdot \alpha \cdot t = 0,000012 \cdot (140 - 0) \cdot 25 = 0,042$$

$\alpha$  - коефіцієнт лінійного розширення металу, 1/К м

$$\alpha = 0,000012$$

$t$  - максимальна температура теплоносія в трубопроводі °С

$t_o$  - температура навколишнього повітря при будівництві ТМ, °С

$$t_o = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$L$  - довжина меншого плеча

$$L_k = 25$$

$E$  - модуль Юнга, МПа

$$E = 200000 \text{ МПа}$$

$n$  - відношення довжини більшого плеча до меншого плеча

$$n = 1$$

$\beta$  - коефіцієнт врахування кута повороту компенсатора, при 90°

$$\beta = 0$$

$d$  - внутрішній діаметр т-ду, м

$$d = 0,514$$

$d_n$  - зовнішній діаметр т-ду, м

$$d_n = 0,53$$

$$\sigma = \frac{1,5 \cdot 0,042 \cdot 200000 \cdot 0,53}{25 \cdot 25 \cdot \cos(0)} \cdot \left( 1 + \frac{1}{1} + \frac{1+3}{1 \cdot (1+1)} \cdot \sin(0) \right) = 21,37$$

Максимальні бічні зміщення довгого і короткого плечей визначаються за формулами:

$$K \cdot L \cdot \frac{1 + n^3}{\sin n} \cdot 0,042 \cdot \frac{(1 + 1 \cdot \sin(0))}{\cos(0)} = 0,042 \text{ м}$$

$$D \cdot L \cdot \frac{1 + n^3}{\sin n} \cdot 0,042 \cdot \frac{(1 + \sin(0))}{\cos(0)} = 0,042 \text{ м}$$

Сила пружної деформації в замурувці меншого плеча для зварних компенсаторів:

$$P = 10^3 \cdot I \cdot B \cdot E \cdot \alpha \cdot t^2$$

$I$  - момент інерції труби, м<sup>4</sup>

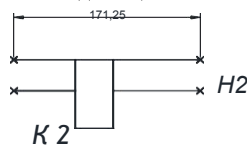
$$I = 0,05 \cdot d^4 = 0,0004553 \text{ м}^4$$

Коефіцієнт  $B$  визначаємо з рівняння:

$$B = \frac{3n^3 + 4n + 1 + n^2 \sin^2 n + n^2 + 7n}{n^3 \cos^2 n} = 4,00$$

$$P = 1000 \cdot 0,0004553 \cdot 4 \cdot 200000 \cdot 0,0004553 \cdot (140 - 0) / 25^2 = 0,24 \text{ кН}$$

Розрахунок П-подібного компенсатора К2 на ділянці 1-2



Розміри компенсатора визначають залежно від значення компенсуючої здатності, яка дорівнює тепловому подовженню трубопроводу, мм:

де:  $L$

$L$  - відстань між опорами, м

$$L = 171,25 \text{ м}$$

Згідно додатку 13 [1] маємо наступні значення  $B$  та  $H$  зварних компенсаторів:

$$\Delta L = 287,7 \text{ Н мм}$$

$$= 8 * D_y = B = 8 * 500 = 4000 \text{ мм}$$

$$4 * H = 4 * 4000 = 16000 \text{ мм}$$

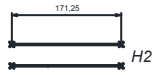
Знаходимо комплексний геометричний параметр компенсатора, м:

$$A \approx 0,67 \sqrt[3]{H^3 * B} = 298,88 \text{ м}$$

Сила пружної деформації для П-подібного компенсатора зі зварними відводами, кН:

$$P_k \approx 10^3 \sqrt[3]{L * E * I / A} = 87,65 \text{ кН}$$

Розрахунок осьового зусилля на нерухому опорі



Визначаємо осьове зусилля на нерухому опорі за формулою:

$$P_{pl} = (f * g * L + P_k) * 0,3 = 2800,5 \text{ кН}$$

$f$  - коефіцієнт тертя рух.опор

$$f = 0,3$$

$g$  - маса погонної довжини трубопроводу теплових мереж, ізоляції, кг/м (згідно дод. 14 [1])

$$g = 360 \text{ кг/м}$$

Підбираємо нерухому опору (згідно [2] ст 37 табл.3.8) тип П-МВН 1329-45, яка здатна витримати гавантаження в 1112,06 кН для діаметру 529мм.

$$H_c = P_k - 0,7 * P_k = 840,16 \text{ кН}$$

Список літератури

- 1.Централізоване тепlopостачання міста. Методичні вказівки до курсового проекту/ Уклад.: Худенко А.А., Швачко Н.А., Лисицький М.Ф., Приймак О.В. – К.: КНУБА, 2003. - 56с
2. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей/п.р. А.А.Николаева - М.: Стройиздат, 1965. - 361 с.
3. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов ВУЗов - М.: Высш.школа, 1980. - 408 с.
4. ДБН В.2.5-39:88 Теплові мережі. - К.: ВАТ УкрНДІнжпроект, 2008. - 56 с.
- 5.Тепlopостачання (частина I "Теплові мережі та споруди")/Єнін П.М., Швачко Н.А. Навчальний посібник. - К.: Кондор, 2007, - 244 с.