

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА  
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту  
бакалавра

на тему **Проект тепlopостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для  
кліматичних умов м. Запоріжжя**

Виконав: студент 4 курсу,  
групи 401НТ  
спеціальності  
144 Теплоенергетика  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Куліш Д.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Череднікова О.В.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Зав.кафедрою Голік Ю.С.  
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2022 року

**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення навчально-науковий інститут нафти і газуКафедра, циклова комісія кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетикиОсвітньо-кваліфікаційний рівень бакалаври

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ****Завідувач кафедри, голова циклової  
комісії Голік Ю.С.**

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**Куліш Дмитро Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проект теплопостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжякерівник проекту (роботи) Череднікова Олександра Володимирівна к.т.н.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)затверджені наказом вищого навчального закладу №156 фа від "01" 04 2022 року2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.06.2022р.3. Вихідні дані до проекту (роботи) Схема генплану міста, мікрорайону, місце розташування мікрорайону в місті4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначення витрати тепла на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Побудова годинного графіку витрати тепла та графіку витрати тепла по тривалості. Побудова графіку регулювання температур теплової мережі. Визначення розрахункових витрат теплоносія. Гідравлічний розрахунок теплової мережі. Тепловий розрахунок. Підбір допоміжного обладнання. Висновки.5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Побудова годинного графіку витрати тепла та графіку витрати тепла по тривалості. Побудова графіку регулювання температур теплової мережі. Генплан з розташуванням теплової мережі. Монтажна

схема трубопроводів теплової мережі. Графік тиску в закритій тепловій мережі. Переріз каналу теплової мережі.

---

---

---

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.04.2022р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Визначення витрати тепла на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Побудова годинного графіку витрати тепла та графіку витрати тепла по тривалості.	05.05.2022	
2.	Генплан з розташуванням теплової мережі. Монтажна схема трубопроводів теплової мережі.	11.05.2022	
3.	Побудова графіку регулювання температур теплової мережі. Визначення розрахункових витрат теплоносія.	17.05.2022	
4.	Гідравлічний розрахунок теплової мережі.	24.05.2022	
5.	Тепловий розрахунок, визначення товщини теплової ізоляції.	31.05.2022	
6	Підбір підживлювальних та мережних насосів, сальникових, П-подібних компенсаторів, вибір перерізу каналу теплової мережі. Висновки.	14.06.2022	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Куліш Д.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Череднікова О.В.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	2
1.1 Мета проекту.....	2
1.2 Вибір кліматологічних даних.....	3
1.3 Характеристика об'єкту теплопостачання.....	3
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	5
2.1 Розрахунок витрат теплоти у мікрорайоні з відомою забудовою .....	5
2.2 Розрахунок витрат теплоти у мікрорайоні з невідомою забудовою .....	9
2.3 Графік витрати теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря....	11
2.4 Графік витрати теплоти в залежності від тривалості різних температур зовнішнього повітря .....	15
2.5 Річні витрати теплоти.....	17
2.6 Режим регулювання теплової мережі.....	21
2.6.1 Опалювальний графік температур теплоносія .....	21
2.7 Визначення розрахункових витрат теплоносія для теплової мережі.....	24
2.8 Гідравлічний розрахунок .....	31
2.8.1 Трасування теплової мережі міста (невідомої забудови).....	31
2.8.2 Гідравлічний розрахунок теплових мереж міста .....	31
2.9 Гідравлічний розрахунок трубопроводів теплової мережі для відомої забудови .....	43
2.9.1 Трасування теплової мережі відомої забудови .....	43
2.9.2. Гідравлічний розрахунок трубопроводів мікрорайону з відомою забудовою .....	44
2.10 Побудова графіку тиску в закритій тепловій мережі .....	50
2.11 Тепловий розрахунок .....	51
2.12 Вибір будівельних конструкцій теплової мережі .....	63
2.12.1 Розрахунок П-подібного компенсатора .....	63
2.12.2 Розрахунок Г-подібного компенсатора .....	66
2.12.3 Розрахунок сальникового компенсатора.....	67
2.13 Підбір мережних та живильних насосів.....	70
ВИСНОВОК.....	76
ЛІТЕРАТУРА.....	77

						401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Куліш				Проект теплопостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Череднікова					Н	1	64
Консул.						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Т. Контр.								
Н. Контр.								

# 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

## 1.1 Мета проекту

Завданням даного дипломного проекту є виконати проект системи тепlopостачання (проект теплової мережі) для умов міста Запоріжжя із застосуванням попередньоізольованих труб.

Метою проекту є:

- закріплення, поглиблення і узагальнення теоретичних знань та практичних навичок, одержаних за час вивчення дисципліни «Теплові мережі» та їх застосування при проектуванні системи тепlopостачання;
- систематизація, закріплення і розширення теоретичних і практичних знань за спеціальністю, застосування цих знань при розв'язанні конкретних технічних і виробничих задач;
- розвиток навичок ведення самостійної роботи і оволодіння методикою дослідження при вирішенні проблем і питань, що розробляються в дипломному проекті;
- вдосконалення навичок графічного оформлення результатів технічних розрахунків;
- вивчення сучасного обладнання систем тепlopостачання.

## Вхідні данні

Вихідні дані прийнято на основі виданого завдання. Вони містять:

- географічне розташування міста **Запоріжжя**;
- генплан житлового району міста з рельєфом місцевості **9**;
- варіант забудови мікрорайону **6**;
- кількість поверхів забудови мікрорайонів міста **5 поверхів**;
- місце розташування джерела теплоти **8**;
- розрахункова температура води в тепловій мережі **150-70°С**.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Вибір кліматологічних даних

Для умов міста Запоріжжя згідно [2] кліматичними даними є:

- розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування системи опалення –  $t_{zo} = -21$  °С;
- середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період –  $t_{сер} = +0,6$  °С;
- тривалість опалювального періоду –  $n_{оп} = 166$  доба;
- тривалість стояння температур зовнішнього повітря (табл. 1.2.1):

Таблиця 1.2.1 – Тривалість стояння температур зовнішнього повітря

Температура зовнішнього повітря °С	-29,9...-25	-24,9...-20	-19,9...-15	-14,9...-10	-9,9...-5	-4,9...0	0,1...+5	+5,1...+8	Всього
Число годин стояння	9	37	127	235	457	1142	1504	665	4176

## 1.3 Характеристика об'єкту теплопостачання

Теплова мережа – двотрубна, замкнена, тупикова, канална. Підключення абонентів до теплової мережі – залежне (20 м.вод.ст.). Теплообмінники для приготування води на потреби гарячого водопостачання підключені по паралельній схемі і розміщені у кожного абонента (ІТП). Компенсація температурних деформацій відбувається за допомогою П-подібних та сальникових компенсаторів, а також за рахунок ділянок самокомпенсації. В місцях відводів на магістральному трубопроводі передбачені теплофікаційні камери, в яких встановлюється запірна арматура.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3.1 – Характеристика забудови мікрорайону

№	Назва будівлі	Кількість будинків, шт.	Кількість поверхів, шт.	Площа забудови, м <sup>2</sup>	Житлова площа, м <sup>2</sup>
1	Житловий будинок №1	14	5	921	2427
2	Житловий будинок №2	4	9	1842	4040
3	Дитячий садок-ясла на 280 місць	3	2	1488	-
4	Школа на 1104 учня	1	3	2448	-

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок витрат теплоти у мікрорайоні з відомою забудовою

Теплові навантаження на опалення визначають по питомому збільшеному показнику.

Об'єм будівлі визначаю за формулою:

$$V_3 = F_{\text{заб}} \cdot n_{\text{пов}} \cdot h \quad (1)$$

де  $F_{\text{заб}}$  – площа забудови будівлі,  $\text{м}^2$ ;

$n_{\text{пов}}$  – кількість поверхів будівлі;

$h$  – висота поверху .

Витрати тепла на опалення згідно формула 9 [2], Вт, визначаються за формулою:

$$Q_0 = q_0 \cdot V_3 \cdot (t_g - t_{zo}) \cdot \eta \quad (2)$$

де  $q_0$  – питома опалювальна характеристика,  $\text{Вт}/\text{м}^3\text{°C}$ , залежить від призначення будівлі та її об'єму [2] додаток 6;

$V_3$  – об'єм будівлі по зовнішньому заміру,  $\text{м}^3$ ;

$t_g$  – температура внутрішнього повітря,  $\text{°C}$ ;

$t_{zo}$  – розрахункова для опалення температура зовнішнього повітря,  $\text{°C}$ ;

$\eta$  – поправочний коефіцієнт на теплову характеристику, що залежить від розрахункової температури зовнішнього повітря. Згідно [2] додаток 5  $\eta = 1,15$ .

Витрати тепла на вентиляцію згідно формула 10 [2], Вт, визначаю за формулою:

$$Q_g = q_g \cdot V_3 \cdot (t_g - t_{zo}) \quad (3)$$

де  $q_g$  – питома вентиляційна характеристика,  $\text{Вт}/\text{м}^3\text{°C}$  [2] додаток 6;

$V_3$  – об'єм будівлі по зовнішньому заміру,  $\text{м}^3$ ;

$t_g$  – температура внутрішнього повітря,  $\text{°C}$ ;

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$t_{30}$  – розрахункова для опалення температура зовнішнього повітря, °C;

Витрата тепла на гаряче водопостачання залежить від норми водоспоживання і кількості споживачів в будівлі.

Середньогодинну витрату тепла за опалювальний період на гаряче водопостачання згідно [2], Вт, визначаю за формулою:

$$Q_{зв}^{cp} = \frac{m \cdot a_{доб} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_r - t_x)}{3600 \cdot T} \quad (4)$$

де  $m$  – кількість споживачів гарячої води;

$a_{доб}$  – середньодобова за опалювальний період норма витрати гарячої води на одного споживача, л/доб додаток 3 [2];

$\rho = 1$  кг/л – густина води;

$c = 4187$  Дж/кг °C – питома теплоємність води;

$t_{z.cp}$  – середня температура гарячої води, при якій встановлені норми витрати води ( $t_{z.cp} = 60$  °C);

$t_x$  – температура холодної води, °C;

$T$  – період споживання гарячої води, год;

Витрату теплоти в години з максимальним споживанням води можна розрахувати за допомогою формули

$$Q_{зв}^{max} = \kappa_z Q_{зв}^{cp}, \quad (5)$$

де  $\kappa_z$  – коефіцієнт годинної нерівномірності;  $\kappa_z = 2,1$

Подальший розрахунок виконую аналогічно та записуємо в таблицю 2.1.1

Таблиця 2.1.1 – Вихідні дані для розрахунків

№ з/п	Призначення будівлі	$t_e, ^\circ\text{C}$	$V_z, \text{м}^3$	$q_o, \text{Вт}/^\circ\text{Cм}^3$	$q_e, \text{Вт}/^\circ\text{Cм}^3$	$a, \text{л/доб}$
1	Житловий будинок №1 (14 шт.)	20	13815	0,37	-	105
2	Житловий будинок №2 (4 шт.)	20	49734	0,34	-	105
3	Дитячий садок-ясла на 280 місць (3 шт.)	20	8928	0,4	0,12	28,5

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4	Школа на 1104 учня (1 шт.)	16	22032	0,38	0,08	3
---	-------------------------------	----	-------	------	------	---

1) Приклад для розрахунку житлового будинку №1:

$$V_3 = 921 \cdot 5 \cdot 3 = 13815 \text{ м}^3$$

$$Q_0 = 0,37 \cdot 13815 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1,15 = 241 \text{ кВт}$$

Для 14-и житлових будинків:

$$Q_0 = 241 \cdot 14 = 3374 \text{ кВт}$$

$m = 2427 \div 14 = 173$  (Приймаємо в роботі на одну особу в середньому 14 м<sup>2</sup> житлової площі, за Житловим кодексом на одну особу повинно припадати мінімум 9 м<sup>2</sup>).

$F_{ж} = 2427 \text{ м}^2$ .

$$Q_{ГВ}^{ср} = \frac{173 \cdot 105 \cdot 1 \cdot 4187 \cdot (60 - 5)}{3600 \cdot 24} = 48,4 \text{ кВт}$$

Для 14-и житлових будинків:

$$Q_{ГВ}^{ср} = 48,4 \cdot 14 = 677,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{ГВ}^{max} = 2,1 \cdot 677,6 = 1423 \text{ кВт}$$

2) Приклад для розрахунку житлового будинку №2:

$$V_3 = 1842 \cdot 9 \cdot 3 = 49734 \text{ м}^3$$

$$Q_0 = 0,34 \cdot 49734 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1,15 = 797 \text{ кВт}$$

Для 4-х житлових будинків:

$$Q_0 = 797 \cdot 4 = 3188 \text{ кВт}$$

$$m = 4040 \div 14 = 289$$

$$Q_{ГВ}^{ср} = \frac{289 \cdot 105 \cdot 1 \cdot 4187 \cdot (60 - 5)}{3600 \cdot 24} = 80,9 \text{ кВт}$$

Для 4-х житлових будинків:

$$Q_{ГВ}^{ср} = 80,9 \cdot 4 = 323,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{ГВ}^{max} = 2,1 \cdot 323,6 = 680 \text{ кВт}$$

3) Приклад для розрахунку дитячого садка на 280 місць:

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_3 = 1488 \cdot 2 \cdot 3 = 8928 \text{ м}^3$$

$$Q_0 = 0,4 \cdot 8928 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1,15 = 168,4 \text{ кВт}$$

Для 3-х дитсадків:

$$Q_0 = 168,4 \cdot 3 = 505,2 \text{ кВт}$$

$$Q_B = 0,12 \cdot 8928 \cdot (20 - (-21)) = 43,9 \text{ кВт}$$

Для 3-х дитсадків:

$$Q_B = 43,9 \cdot 3 = 131,7 \text{ кВт}$$

$$Q_{ГВ}^{ср} = \frac{280 \cdot 28,5 \cdot 1 \cdot 4187 \cdot (60 - 5)}{3600 \cdot 10} = 51 \text{ кВт}$$

Для 3-х дитсадків:

$$Q_{ГВ}^{ср} = 51 \cdot 3 = 153,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{ГВ}^{max} = 2,1 \cdot 153,1 = 321,6 \text{ кВт}$$

4) Приклад для розрахунку школи на 1104 учнів:

$$V_3 = 2448 \cdot 3 \cdot 3 = 22032 \text{ м}^3$$

$$Q_0 = 0,38 \cdot 22032 \cdot (16 - (-21)) \cdot 1,15 = 356,2 \text{ кВт}$$

$$Q_B = 0,08 \cdot 22032 \cdot (16 - (-21)) = 65,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{ГВ}^{ср} = \frac{1104 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 4187 \cdot (60 - 5)}{3600 \cdot 10} = 21,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{ГВ}^{max} = 2,1 \cdot 21,2 = 44,5 \text{ кВт}$$

Результати розрахунків занесено до таблиці 2.1.2.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1.2 – Розрахунок теплових навантажень

№ п/п	Найменування будинків	Розрахункові витрати теплоти , кВт			
		На опалення $Q_o$	На вентиляцію $Q_v$	На гаряче водопостачання	
				Середні $Q_{гв.сер}$	Максимальні $Q_{гв.макс}$
1	Житловий будинок №1 5 поверхів (14 шт.)	241	0	48,4	101,7
		3374		677,8	1423,4
2	Житловий будинок №2 9 поверхів (4 шт.)	797	0	80,9	169,8
		3189		323,5	679,4
3	Дитячий садок-ясла на 280 місць (3 шт.)	168	44	51,0	107,2
		505	132	153,1	321,6
4	Школа на 1104 учня (1 шт.)	356	65	21,2	44,5
		356	65	21,2	44,5
	Всього	7425	197	1176	2469

## 2.2 Розрахунок витрат теплоти у мікрорайоні з невідомою забудовою

Мікрорайони з невідомою забудовою – це ті мікрорайони, які планується забудувати в перспективі. У таких мікрорайонах, як правило, перелік будинків невідомий. Витрати теплоти на опалення будинків у них визначають за формулою

$$Q_o^{\text{ж}} = q_{\text{м}^2} \cdot F_{\text{ж}} \quad (6)$$

де  $q_{\text{м}^2}$  – витрати теплоти, Вт, на опалення 1 м<sup>2</sup> загальної площі житлового будинку додаток 1 [2];  $F$  – загальна площа житлових будинків у мікрорайоні, м<sup>2</sup> (табл. 3)

У мікрорайонах із невідомою забудовою витрати теплоти на опалення громадських будинків обчислюють як частку від витрат теплоти на опалення житлових будинків:

$$Q_o^{\text{грм}} = K_1 \cdot Q_o^{\text{ж}} \quad (7)$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\kappa_1 = 0,25$ .

Витрати теплоти на вентиляцію громадських будинків розраховують за формулою:

$$Q_B = \kappa_2 \cdot Q_o^{\text{ГРМ}} \quad (8)$$

де  $\kappa_2$  – коефіцієнт, котрий ураховує, яка частка витрат теплоти необхідна для вентиляції приміщень. За відсутності конкретних рекомендацій цей коефіцієнт приймають рівним  $\kappa_2=0,4$ .

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання будинків у мікрорайоні з невідомою забудовою дорівнює:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{ср}} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a_m^h + v) \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_x)}{3600 \cdot 24} \quad (9)$$

де  $a_m^h$  – витрата води на гаряче водопостачання одним мешканцем за добу в житлових будинках, л/добу додаток 2 [2];  $v$  – витрата води на гаряче водопостачання одним мешканцем у громадських будинках, л/добу;  $m$  – кількість мешканців у мікрорайоні.

Максимальну витрату теплоти на гаряче водопостачання для мікрорайону з невідомою забудовою визначають за допомогою рівняння:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{max}} = \kappa_{\text{Г}} \cdot Q_{\text{ГВ}}^{\text{ср}} \quad (10)$$

Коефіцієнт годинної нерівності приймають  $\kappa_{\text{Г}}=2,1$ .

Теплове навантаження для всього житлового мікрорайону міста обчислюють як суму витрат теплоти для окремих мікрорайонів.

Приклад розрахунку витрати теплоти для мікрорайону з невідомою забудовою (збудова 5-ти поверхова) №1:

1)  $S = 200 \cdot 600 = 120000 \text{ м}^2 / 10000 = 12 \text{ Га}$

2)  $F_{\text{ж}} = 12 \cdot 5800 = 69600 \text{ м}^2$

3)  $Q_o^{\text{жит}} = \frac{55 \cdot 69600}{1000} = 3828 \text{ кВт}$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$4) Q_{o}^{грм} = 3828 \cdot 0,25 = 957 \text{ кВт}$$

$$5) Q_{в} = 957 \cdot 0,4 = 382,8 \text{ кВт}$$

$$6) m = 69600 \div 14 = 4971$$

$$7) Q_{гв}^{ср} = \frac{1,2 \cdot 4971 \cdot (105 + 25) \cdot 1 \cdot 4187 \cdot (60 - 5)}{3600 \cdot 24 \cdot 1000} = 2067 \text{ кВт}$$

$$8) Q_{гв}^{max} = 2067 \cdot 2,1 = 4341 \text{ кВт}$$

Аналогічно виконується розрахунок витрати теплоти для інших районів з невідомою забудовою та записуються результати до таблиці 2.2.1.

Таблиця 2.2.1 – Розрахунок теплових навантажень для невідомої забудови

№ району	S, м <sup>2</sup>	F мікр, га	Fж, м <sup>2</sup>	Qожит ; МВт	Qогрм ; МВт	Q <sub>o</sub> ; МВт	Q <sub>в</sub> ; МВт	Q <sub>гв</sub> ср., МВт	Q <sub>гв</sub> max, МВт	ΣQ ; МВт	м, ЛЮД
F1(9)	120000	12	69600	3,8	1,0	4,8	0,4	2,067	4,341	7,2	4971
F2(8)	120000	12	69600	3,8	1,0	4,8	0,4	2,1	4,3	7,2	4971
F3(7)	120000	12	69600	3,8	1,0	4,8	0,4	2,1	4,3	7,2	4971
F4(1)	120000	12	69600	3,8	1,0	4,8	0,4	2,1	4,3	7,2	4971
F5(2)	467500	47	271150	14,9	3,7	18,6	1,5	8,1	16,9	28,2	19368
F6(6)	467500	47	271150	14,9	3,7	18,6	1,5	8,1	16,9	28,2	19368
F7(3)	258500	26	149930	6,6	1,2	7,4	0,2	1,2	2,5	8,8	10709
F8(5)	258500	26	149930	8,2	2,1	10,3	0,8	4,5	9,4	15,6	10709
F9(4)	204000	20	118320	6,5	1,6	8,1	0,7	3,5	7,4	12,3	8451
Σ		214	1238880	66,456	16,191	82,290	6,186	33,517	70,385	121,993	88491

### 2.3 Графік витрати теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря

Графік витрати теплоти дозволяє регулювати подачу теплоти споживачам залежно від температури зовнішнього повітря рис.2 [2]. Будують графік витрати теплоти для всього міста (рис.2.3.1).

Витрата теплоти на опалення при температурі зовнішнього повітря  $t_3$  буде:

$$Q_o = Q_o \cdot \frac{t_b - t_3}{t_b - t_{30}} \quad (11)$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $Q_0$  – розрахункова витрата тепла на опалення, кВт (таблиця 2.3.1) – сумарна витрата тепла на потреби опалення житлових та громадських будинків;

$$Q_0 = 66456 + 16191 = 82646 \text{ кВт};$$

$t_3$  – будь-яка температура зовнішнього повітря в діапазоні температур від +8 до  $t_{30}$ .

Аналогічно визначають витрату тепла на вентиляцію, при температурі зовнішнього повітря, відмінної від  $t_{3в}$ .

$$Q_B = Q_B \cdot \frac{t_B - t_3}{t_B - t_{30}} \quad (12)$$

При температурі зовнішнього повітря нижче  $t_{30}$  годинна витрата тепла на вентиляцію дорівнює розрахунковій.

Витрата тепла на гаряче водопостачання в опалювальний період не залежить від температури зовнішнього повітря.

Розрахунок теплових навантажень залежно від температури зовнішнього повітря занесені до таблиці 2.3.1.

Таблиця 2.3.1 – Теплові навантаження залежно від температури зовнішнього повітря

Температура $t_3$ °С	$Q_0$ , кВт	$Q_B$ , кВт	$Q_{гв}^{сп}$ , кВт	$\Sigma Q$ , кВт
20	0	0	21451	21451
10	0	0	21451	21451
8	0	0	21451	21451
8	24085	1811	33517	59412
5	30106	2263	33517	65886
0	40141	3018	33517	76676
-5	50177	3772	33517	87466
-10	60212	4527	33517	98256
-15	70248	5281	33517	109045
-20	80283	6035	33517	119835
-21	82290	6186	33517	121993

Розрахунок витрат теплоти при  $t_{3,п} = +8$  °С:

$$Q_0 = 82290 \cdot \frac{20 - 8}{20 - (-21)} = 24085 \text{ кВт}$$

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ		Арк.
							12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$Q_B = 6186 \cdot \frac{20 - 8}{20 - (-21)} = 1811 \text{ кВт}$$

Приклад розрахунку сумарної витрати теплоти при  $t_{3,п} = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\Sigma Q = 24085 + 1811 + 33517 = 59412 \text{ кВт.}$$

Розрахунок витрат теплоти при  $t_{3,п} = +0 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$Q_o = 82290 \cdot \frac{20 - 0}{20 - (-21)} = 40141 \text{ кВт}$$

$$Q_B = 6186 \cdot \frac{20 - 0}{20 - (-21)} = 3018 \text{ кВт}$$

Приклад розрахунку сумарної витрати теплоти при  $t_{3,п} = +0 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\Sigma Q = 40141 + 3018 + 33517 = 76676 \text{ кВт.}$$

Розрахунок витрат теплоти при  $t_{3,п} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$Q_o = 82290 \cdot \frac{20 - (-15)}{20 - (-21)} = 70248 \text{ кВт}$$

$$Q_B = 6186 \cdot \frac{20 - (-15)}{20 - (-21)} = 5281 \text{ кВт}$$

Приклад розрахунку сумарної витрати теплоти при  $t_{3,п} = +0 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\Sigma Q = 70248 + 5281 + 33517 = 109045 \text{ кВт.}$$

Графік витрати теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря наведено на рис. 2.3.1.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



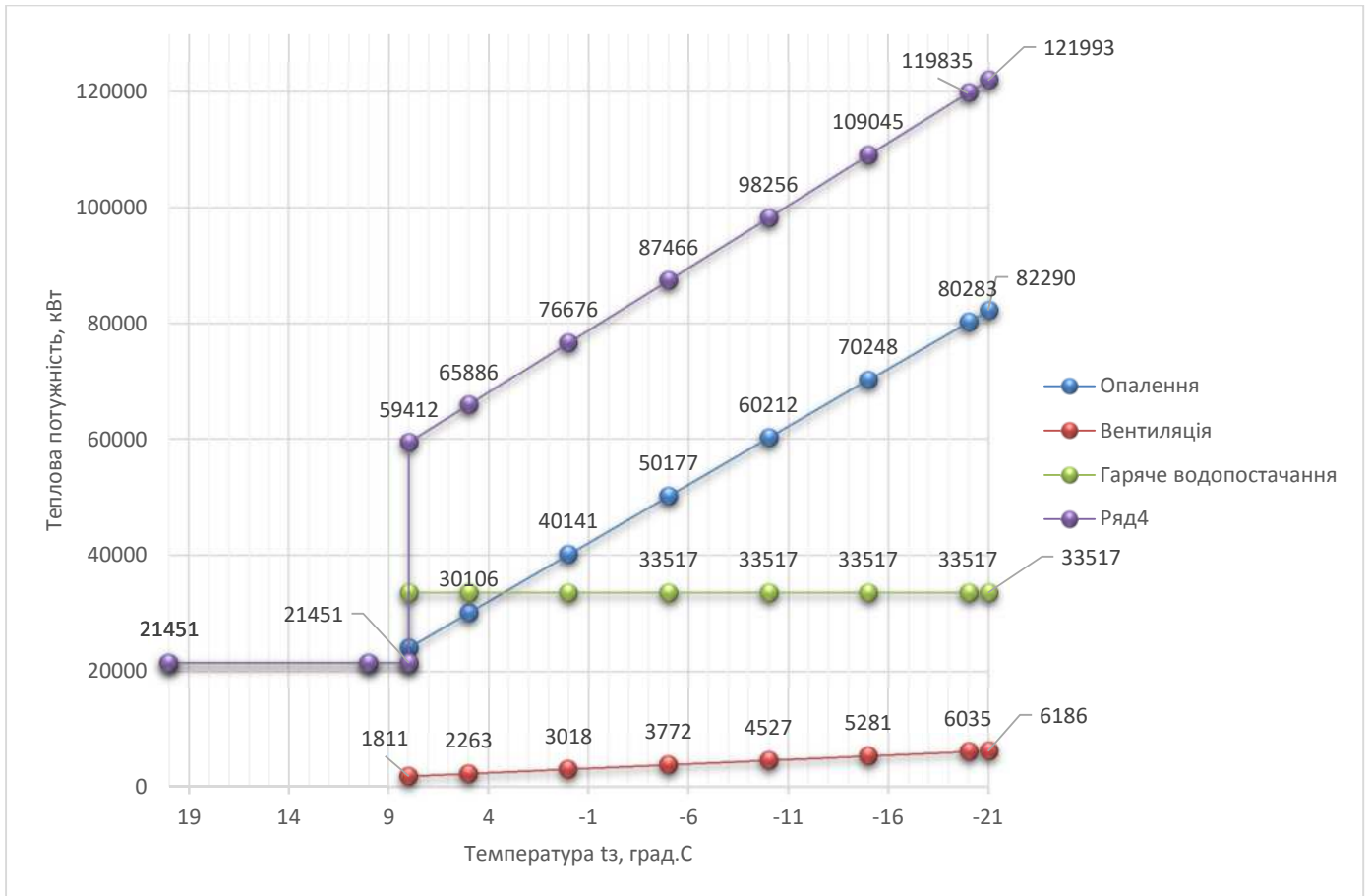


Рис. 2.3.1. Графік витрати теплоти в залежності від температури зовнішнього повітря

## 2.4 Графік витрати теплоти в залежності від тривалості різних температур зовнішнього повітря

Графік витрати теплоти по тривалості дозволяє визначити річну витрату теплоти, планувати завантаження обладнання тощо.

Графік по тривалості будують на основі сумарного графіка витрати тепла і тривалості стояння температур зовнішнього повітря.

Таблиця 2.4.1 – Число годин стояння температури зовнішнього повітря додаток 7 [2]:

$t_3, ^\circ\text{C}$	-25 і менше	-20 і менше	-15 і менше	-10 і менше	-5 і менше	0 і менше	+5 і менше	+8 і менше
Число годин стояння	9	46	173	408	865	2007	3511	4176

Витрата тепла на ГВП в літній період  $Q_{зв}^{сп.л}$  визначається за формулою:

$$Q_{зв}^{сп.л} = Q_{зв}^{сп} \cdot \frac{60 - t_{х.л}}{60 - t_x} \cdot \beta, \quad (13)$$

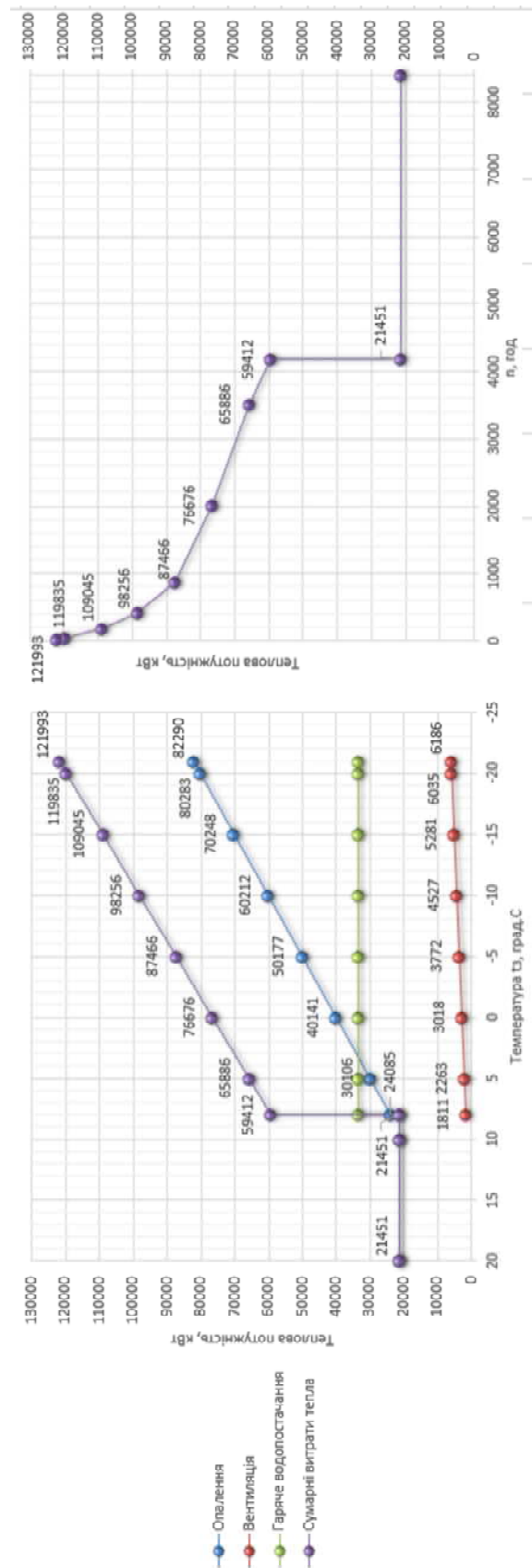
$$Q_{зв}^{сп.л} = 33517 \frac{60 - 15}{60 - 5} \cdot 0,8 = 21451 \text{ кВт}$$

де  $t_{х.л}$  – температура холодної водопровідної води в літній період,  $t_{х.л} = 15^\circ\text{C}$ ;  $Q_{зв}$  – температура холодної водопровідної води в опалювальний період,  $t_{х.л} = 5^\circ\text{C}$ ;  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує зниження середньогодинної витрати води в літній період ( $\beta = 0,8$ ).

Графік витрати теплоти в залежності від тривалості температури зовнішнього повітря наведено на рис. 2.4.1.

Рис.2.4.1

Графік витрати теплоти в залежності від тривалості температури зовнішнього повітря



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

16

## 2.5 Річні витрати теплоти

Річну витрату теплоти, ГДж, можна визначити аналітичним методом за формулою:

$$Q_{\text{річ}} = Q_{\text{о}}^{\text{річ}} + Q_{\text{в}}^{\text{річ}} + Q_{\text{г.в}}^{\text{річ}} \quad (14)$$

де  $Q_{\text{о}}^{\text{річ}}$ ,  $Q_{\text{в}}^{\text{річ}}$ ,  $Q_{\text{г.в}}^{\text{річ}}$  – річні витрати на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання, ГДж.

Річну витрату тепла на опалення, ГДж розраховую за формулою:

$$Q_{\text{о}}^{\text{річ}} = Q_{\text{о}}^{\text{сп}} \cdot 3600n_{\text{о}} \quad (15)$$

де  $Q_{\text{о}}^{\text{сп}}$  – середньогодина витрата теплоти на опалення, МВт;  $n_{\text{о}}$  – тривалість опалювального періоду, год додаток 4 [2].

Середньогодинна витрата тепла на опалення за опалювальний період, ГДж:

$$Q_{\text{о}}^{\text{сп}} = Q_{\text{о}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}^{\text{сп.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{зо}}} \quad (16)$$

де  $Q_{\text{о}}$  – розрахункова годинна витрата тепла на опалення, ГВт;  $t_{\text{з}}^{\text{сп.о}}$  – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, °С.

Річна витрата тепла на вентиляцію, ГДж:

$$Q_{\text{в}}^{\text{річ}} = Q_{\text{в}}^{\text{сп}} z_{\text{в}} \cdot \frac{3600n_{\text{о}}}{24} \quad (17)$$

де  $Q_{\text{в}}^{\text{сп}}$  – середньогодинна витрата тепла на вентиляцію витрата тепла на вентиляцію, ГВт;  $z_{\text{в}}$  – число годин роботи системи вентиляції за добу,  $n_{\text{о}}$  – тривалість опалювального періоду, год

Середньогодинна витрата тепла на вентиляцію в опалювальний період:

$$Q_{\text{в}}^{\text{сп}} = Q_{\text{в}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{сп.о}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н.о}}} \quad (18)$$

де  $t_{\text{н}}^{\text{сп.о}}$  - середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, °С.;

$Q_{\text{в}}$  – розрахункова годинна витрата тепла на вентиляцію, ГВт.;

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річну витрату тепла на гаряче водопостачання, ГДж визначаю за формулою:

$$Q_{ГВ}^{річ} = Q_{ГВ}^{ср} \cdot 3600 \cdot n_o + Q_{ГВ}^{ср.л} \cdot 3600 \cdot (8760 - n_o) \quad (19)$$

де  $Q_{ГВ}^{ср}$ ,  $Q_{ГВ}^{ср.л}$  – середньогодинна витрата теплоти за опалювальний і літній періоди, ГВт.

1) Розрахунок середньогодинної витрати тепла на опалення:

$$Q_o^{ср} = 82,29 \cdot \frac{20 - 0,6}{20 - (-21)} = 38,94 \text{ МВт}$$

2) Розрахунок річної витрати тепла на опалення:

$$Q_o^{річ} = 38,94 \cdot 3600 \cdot 166 \cdot 24 / 1000 = 558493,0 \text{ ГДж/рік}$$

3) Розрахунок середньогодинної витрати тепла на вентиляцію:

$$Q_{В}^{ср} = 6,19 \cdot \frac{20 - 0,6}{20 - (-21)} = 2,93 \text{ МВт}$$

4) Розрахунок річної витрати теплоти на вентиляцію:

$$Q_{В}^{річ} = \frac{2,93}{1000} \cdot 8 \cdot \frac{3600 \cdot 166 \cdot 24}{24} = 14007,74 \text{ ГДж/рік}$$

5) Річна витрата тепла на гаряче водопостачання:

$$Q_{ГВ}^{річ} = \frac{36,52}{1000} \cdot 3600 \cdot 3984 + \frac{21,45}{1000} \cdot 3600 \cdot (8760 - 3984) = 892587 \text{ ГДж}$$

6) Розрахунок річної витрати тепла:

$$Q^{річ} = 558493 + 14008 + 892587 = 1465088 \text{ ГДж}$$

Для побудови календарного графіка теплового споживання (рис. 2.5.1) прийнято з [6] Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:1010 середні місячні температури зовнішнього повітря для даного району будівництва (м. Запоріжжя).

За формулами визначено витрати теплоти на опалення і вентиляцію для кожного місяця із середньою температурою нижче +8°C. Наприклад, для січня, кВт:

$$Q_o^{січ} = Q_{o.макс} \cdot \frac{t_{В} - t_{з}^{січ}}{t_{В} - t_{р.о}} = 82290 \cdot \frac{20 - (-3,5)}{20 - (-21)} = 47166,$$

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_B^{сiч} = Q_{B.макс} \cdot \frac{t_B - t_{3.0}^{сiч}}{t_B - t_{3.0}} = 6186 \cdot \frac{20 - (-3,5)}{20 - (-21)} = 3546.$$

Сумарна витрата тепла в січні місяці, кВт:

$$\Sigma Q^{-3,5(сiч)} = Q_{O.макс} + Q_{B.макс} + Q_{Г.в.сеп.} = 47166 + 3546 + 33517 = 84229 \text{ кВт.}$$

Для березня, кВт:

$$Q_O^{бер} = Q_{O.макс} \cdot \frac{t_B - t_{3.0}^{бер}}{t_B - t_{3.0}} = 82290 \cdot \frac{20 - 2}{20 - (-21)} = 36127,$$

$$Q_B^{бер} = Q_{B.макс} \cdot \frac{t_B - t_{3.0}^{бер}}{t_B - t_{3.0}} = 6186 \cdot \frac{20 - 2}{20 - (-21)} = 2716.$$

Сумарна витрата тепла в січні місяці, кВт:

$$\Sigma Q^{+2,0(бер)} = Q_{O.макс} + Q_{B.макс} + Q_{Г.в.сеп.} = 36127 + 2716 + 33517 = 72360 \text{ кВт.}$$

Аналогічно виконують розрахунки і для інших місяців опалювального періоду.

Для неопалювального періоду сумарна витрата тепла буде рівна середній витраті на гаряче водопостачання  $Q_{гв.сеп}^л = 21451$  кВт. Розрахунок наведено в таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1

Місяць року	Середня температура повітря, °С	Середня витрата теплоти, кВт			
		$Q_o$	$Q_{\epsilon}$	$Q_{г.в.сеп.}$	Разом
I	-3,5	47166	3546	33517	<b>84229</b>
II	-2,6	45360	3410	33517	<b>82287</b>
III	2	36127	2716	33517	<b>72360</b>
IV	10,1	0	0	21451	<b>21451</b>
V	16,4	0	0	21451	<b>21451</b>
VI	20,2	0	0	21451	<b>21451</b>
VII	22,4	0	0	21451	<b>21451</b>
VIII	21,4	0	0	21451	<b>21451</b>
IX	16,2	0	0	21451	<b>21451</b>
X	9,6	0	0	21451	<b>21451</b>
XI	3,5	33117	2490	33517	<b>69123</b>
XII	-1,1	42349	3184	33517	<b>79050</b>

За даними таблиці 2.5.1 побудовано річний графік теплового споживання за

					<b>401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

місяцями року (рис. 2.5.1).

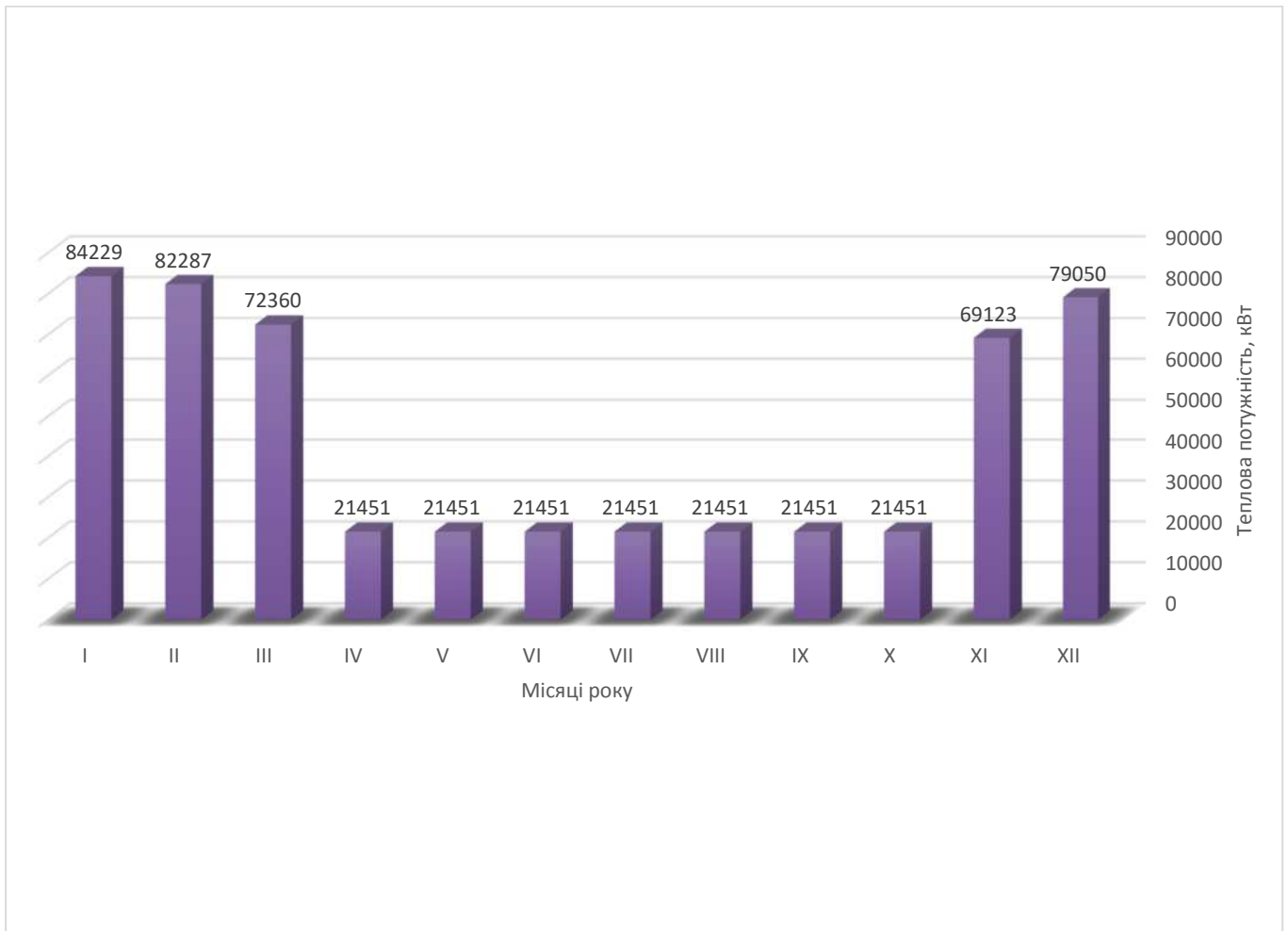


Рис. 2.5.1 Річний графік теплового споживання за місяцями року

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6 Режим регулювання теплової мережі

### 2.6.1 Опалювальний графік температур теплоносія

В основі режиму центрального якісного регулювання може бути опалювальний графік температур теплоносія. Опалювальний графік передбачають при паралельній схемі підключення підігрівачів чи двохступеневій змішаній.

В даному проекті передбачена замкнута тепла мережа з паралельною схемою підключення теплообмінників, тобто режим регулювання здійснюється по опалювальному графіку температур теплоносія.

Для побудови опалювального графіка визначають температуру теплоносія в подавальному трубопроводі теплової мережі  $\tau_1$ , при декількох значеннях температури зовнішнього повітря  $t_3$ . Значеннями  $t_3$  попередньо задаються в діапазоні від +8 до  $t_{3,0}$ :

$$\tau_1 = t_g + (\tau_{np.o} - t_g) \cdot \overline{Q_o^{0,8}} + (\tau_{1o} - \tau_{np.o}) \cdot \overline{Q_o} \quad (20)$$

$$\tau_1^{+8} = 20 + (82,5 - 20) \cdot 0,29^{0,8} + (150 - 82,5) \cdot 0,29 = 63,1^\circ C \text{ (менше } +65^\circ C)$$

$$\tau_1^{+8} = \tau_1^{+7,43} = 65^\circ C$$

$$\tau_1^{+0} = 20 + (82,5 - 20) \cdot 0,49^{0,8} + (150 - 82,5) \cdot 0,49 = 88,1^\circ C$$

$$\tau_1^{-10} = 20 + (82,5 - 20) \cdot 0,73^{0,8} + (150 - 82,5) \cdot 0,73 = 118,1^\circ C,$$

де  $\overline{Q_o}$  - відносна витрата тепла на опалення при температурі зовнішнього повітря  $t_3$ ,

$$\overline{Q_o} = \frac{t_g - t_3}{t_g - t_{3o}} \quad (21)$$

$$\overline{Q_o}^{+8} = \frac{20 - 8}{20 - (-21)} = 0,29$$

$$\overline{Q_o}^{+0} = \frac{20 - 0}{20 - (-21)} = 0,49$$

$$\overline{Q_o}^{-10} = \frac{20 - (-10)}{20 - (-21)} = 0,73$$

де  $t_b$  – розрахункова температура внутрішнього повітря, °C;  $\tau_{1o}, \tau_{2o}$  - температура теплоносія відповідно в подавальному і зворотному трубопроводах теплової

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



мережі при  $t_{30}$ ;  $\tau_{np.o}$  - середня температура теплоносія в нагрівальних приладах системи опалення, визначається за формулою:

$$\tau_{np.o} = \frac{\tau_{30} + \tau_{2o}}{2} \quad (22)$$

$$\tau_{np.o} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5^\circ C$$

$\tau_{3m} = \tau_{30} = 95$  - температура теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення;

Паралельно визначають і температуру в зворотному трубопроводі при температурі  $t_3$ :

$$\tau_2 = \tau_1 - (\tau_{1o} - \tau_{2o}) \cdot \overline{Q_o} = t_g + (\tau_{np.o} - t_g) \cdot \overline{Q_o}^{0,8} - 0,5 \cdot (\tau_{30} - \tau_{20}) \cdot \overline{Q_o} \quad (23)$$

$$\tau_2^{+8} = 63,1 - (150 - 70) \cdot 0,29 = 39,7^\circ C$$

температура зовнішня в діапазоні від +8 до  $t_3'$ , тому:

$$\tau_2^{+8} = \tau_2^{+7,43} = 65 - (150 - 70) \cdot 0,31 = 40,4^\circ C$$

$$\tau_2^{+0} = 88,1 - (150 - 70) \cdot 0,49 = 49,1^\circ C$$

$$\tau_2^{-10} = 118,1 - (150 - 70) \cdot 0,73 = 59,5^\circ C$$

де  $t_b$  – розрахункова температура внутрішнього повітря, °C;  $\tau_{1o}, \tau_{2o}$  - температура теплоносія відповідно в подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі при  $t_{30}$ ;  $\tau_{np.o}$  - середня температура теплоносія в нагрівальних приладах системи опалення.

Визначають температуру в подавальному трубопроводі системи опалення при температурі  $t_3$ :

$$\tau_3 = t_g + (\tau_{np.o} - t_g) \cdot \overline{Q_o}^{0,8} + 0,5 \cdot (\tau_{30} - \tau_{20}) \cdot \overline{Q_o}$$

$$\tau_3^{+8} = 20 + (82,5 - 20) \cdot 0,29^{0,8} + (95 - 82,5) \cdot 0,29 = 63,1^\circ C$$

температура зовнішня в діапазоні від +8 до  $t_3'$ , тому:

$$\tau_3^{+8} = \tau_3^{+7,43} = 48,1^\circ C$$

$$\tau_3^{+0} = 20 + (82,5 - 20) \cdot 0,49^{0,8} + (95 - 82,5) \cdot 0,49 = 61,3^\circ C$$

$$\tau_3^{-10} = 20 + (82,5 - 20) \cdot 0,73^{0,8} + (95 - 82,5) \cdot 0,73 = 77,8^\circ C$$

Розрахунок температури теплоносія занесені до таблиці 2.6.1.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6.1 – Розрахунок температури теплоносія

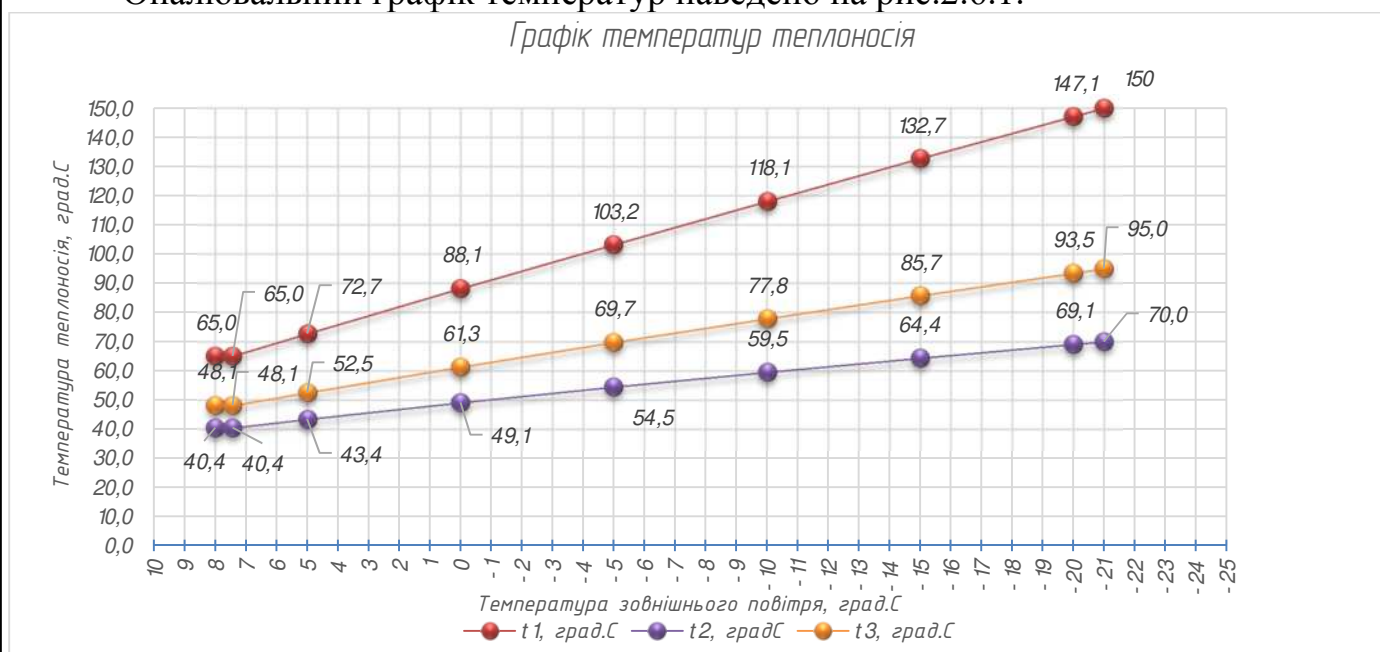
$t_3, ^\circ\text{C}$	Температура зовнішнього повітря									
	8	8	7,43	5	0	-5	-10	-15	-20	-21
$Q_0$	0,29	0,29	0,31	0,37	0,49	0,61	0,73	0,85	0,98	1,00
$\tau_1, ^\circ\text{C}$	63,1	65,0	65,0	72,7	88,1	103,2	118,1	132,7	147,1	150
$\tau_2, ^\circ\text{C}$	39,7	40,4	40,4	43,4	49,1	54,5	59,5	64,4	69,1	70,0
$\tau_3, ^\circ\text{C}$	47,0	48,1	48,1	52,5	61,3	69,7	77,8	85,7	93,5	95,0
$t_B, ^\circ\text{C}$	20	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	43,4	44,3	44,3	48,0	55,2	62,1	68,7	75,1	81,3	82,5

По отриманим результатам побудовано опалювальний графік температур теплоносія.

Температура теплоносія в тепловій мережі при закритій системі не повинна знижуватись нижче 65 °С. Лінії, що характеризують температуру мережної води в падаючому і зворотному трубопроводах, мають перелом.

Температура  $t_3^{\prime}=7,43$  °С ділить опалювальний період на дві зони з різним характером регулювання систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. В діапазоні температур від +8 до  $t_3^{\prime}$  передбачають місцеве кількісне регулювання, а від  $t_3^{\prime}=7,43$  °С до  $t_{30}=-21$  °С – центральне якісне (рис.2.6.1).

Опалювальний графік температур наведено на рис.2.6.1.



## 2.7 Визначення розрахункових витрат теплоносія для теплової мережі

Витрати теплоносія для окремих ділянок теплової мережі у відомій забудові згідно [3] розраховують за допомогою формули

$$G_p = G_o + G_B + k_3 G_{Г.В.}^{сер.} \quad (24)$$

$$G_p = 0,72 + 0,69 = 1,41 \text{ кг/с (житловий будинок №1, } Q_{26}^{cp} = Q_{26}^{max}, k_3 = 1,0)$$

де  $G_o, G_B, G_{Г.В.}^{сер.}$  – відповідно розрахункові витрати теплоносія на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання;  $k_3$  – коефіцієнт, що залежить від теплового навантаження на ділянку. При загальному тепловому навантаженні 100 МВт і більше  $k_3 = 1,0$ ; при тепловому навантаженні, меншому ніж 100 МВт, але більшому за 10 МВт  $k_3 = 1,2$ . Якщо теплове навантаження менше від 10 МВт, то у формулі замість  $Q_{26}^{cp}$  підставляють  $Q_{26}^{max}$ , а  $k_3 = 1,0$ .

Розрахункову витрату теплоносія на опалення  $G_o$  визначаю за формулою, кг/с:

$$G_o = \frac{Q_{p.o}}{c(\tau_{10} - \tau_{20})} \quad (25)$$

де  $Q_{p.o}$  – розрахункові витрати теплоти на опалення школи;

$\tau_{10}, \tau_{20}$  – розрахункові температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах; 150-70 °С;

$c$  – теплоємність води, яка становить  $c = 4,187 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С}$ .

$$G_o = \frac{Q_{p.o}}{c(\tau_{10} - \tau_{20})} \quad (26)$$

де  $Q_{p.в.}$  – розрахункові витрати теплоти на вентиляцію;

На гаряче водопостачання, при регулюванні по опалювальному графіку та підключенню теплообмінників за паралельною схемою, розрахункові витрати теплоносія  $G_{26}^{cp}$  обчислюю за допомогою рівняння, кг/с:

$$G_{26}^{cp} = \frac{Q_{26}^{cp}}{c(\tau_1' - \tau_3')} \quad (27)$$

де  $Q_{26}^{cp}$  - середня витрата теплоти на гаряче водопостачання, кВт;

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Виконується розрахунок витрат теплоносія та занесення даних до таблиці

2.7.1.

№ п/п	Найменування будинків	Розрахункові витрати теплоти , кВт			
		На опалення Q <sub>o</sub>	На вентиляцію Q <sub>в</sub>	На гаряче водопостачання	
				Середні Q <sub>гв.сер</sub>	Максимальні Q <sub>гв.макс</sub>
1	Житловий будинок №1 5 поверхів (14 шт.)	241	0	48,4	101,7
2	Житловий будинок №2 9 поверхів (4 шт.)	797	0	80,9	169,8
3	Дитячий садок-ясла на 280 місць (3 шт.)	168	44	51,0	107,2
4	Школа на 1104 учня (1 шт.)	356	65	21	44,5
	Всього	7425	197	1176	2469

Таблиця 2.7.1 – Розрахунок витрати теплоносія для відомої забудови

№ п/п	Споживач	G <sub>o</sub> , кг/с	G <sub>в</sub> , кг/с	G <sub>гв</sub> , кг/с	ΣG, кг/с
1	Житловий будинок №1 5 поверхів (14 шт.)	0,72	0,00	0,69	1,41
2	Житловий будинок №2 9 поверхів (4 шт.)	2,38	0,00	1,16	3,54
3	Дитячий садок-ясла на 280 місць (3 шт.)	0,50	0,13	0,73	1,37
4	Школа на 1104 учня (1 шт.)	1,06	0,19	0,30	1,56
	Мікрорайон F7	22,17	0,59	16,85	39,60

1) Розрахунок витрати теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання житлового будинку №1:

$$G_o = \frac{241}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 0,72 \text{ кг/с}$$

$$G_{гв}^{\max} = \frac{101,7}{4,187 \cdot (65 - 30)} = 0,69 \text{ кг/с.}$$

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Розрахунок витрати теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання житлового будинку №2:

$$G_o = \frac{797}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 2,38 \text{ кг/с}$$

$$G_{zg}^{\max} = \frac{169,8}{4,187 \cdot (65 - 30)} = 1,16 \text{ кг/с}$$

3) Розрахунок витрати теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання дитячого садка:

$$G_o = \frac{168}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 0,5 \text{ кг/с}$$

$$G_g = \frac{44}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 0,13 \text{ кг/с}$$

$$G_{zg}^{cp} = \frac{107,2}{4,187 \cdot (65 - 30)} = 0,73 \text{ кг/с}$$

4) Розрахунок витрати теплоносія на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання школи:

$$G_o = \frac{356}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 1,06 \text{ кг/с}$$

$$G_g = \frac{65}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 0,19 \text{ кг/с}$$

$$G_{zg}^{cp} = \frac{44,5}{4,187 \cdot (65 - 30)} = 0,3 \text{ кг/с}$$

Витрати теплоносія в мережі:

1) Житловий будинок №1:

$$G_p = 0,72 + 0,69 = 1,41 \text{ кг/с}$$

$$\text{Для 14-и житлових будинків } G_p = 14 * 1,41 = 19,79 \text{ кг/с.}$$

2) Житловий будинок №2:

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_p = 2.38 + 1.16 = 3,54 \text{ кг/с}$$

Для 4-х житлових будинків  $G_p = 4 \cdot 3,54 = 14,16 \text{ кг/с}$ .

3) Дитячий садок:

$$G_p = 0,5 + 0,13 + 0,73 = 1,37 \text{ кг/с}$$

Для 3-х дитячих садків  $G_p = 3 \cdot 1,37 = 4,10 \text{ кг/с}$ .

4) Школа:

$$G_p = 1,06 + 0,19 + 0,3 = 1,56 \text{ кг/с}$$

Сумарні витрати теплоносія в тепловій мережі мікрорайону з відомою забудовою складають:

$$\sum G = 19,79 + 14,16 + 4,10 + 1,56 = 39,6 \text{ кг/с}$$

Витрати теплоносія для окремих ділянок теплової мережі у невідомій забудові згідно [3] розраховують за допомогою формули

$$G_p = G_o + G_v + G_{гв} \quad (28)$$

де  $G_o$ ,  $G_v$ ,  $G_{гв}$  – відповідно розрахункові витрати теплоносія на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання;

Розрахункову витрату теплоносія на опалення  $G_o$  визначаю за формулою, кг/с:

$$G_o = \frac{Q_{p.o}}{c(\tau_{10} - \tau_{20})} \quad (29)$$

де  $Q_{p.o}$  - розрахункова витрата теплоти на опалення, сума витрат на житлові та громадські будинки;

$\tau_{10}$ ,  $\tau_{20}$  - розрахункові температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах; 150-70 °С;

$c$  - теплоємність води, яка становить  $c = 4,187 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{С}$

Розрахункову витрату теплоносія на вентиляцію  $G_v$  визначаю за формулою, кг/с:

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\epsilon} = \frac{Q_{p.\epsilon}}{c(\tau_{10} - \tau_{20})} \quad (30)$$

де  $Q_{p.\epsilon}$  - розрахункова витрата теплоти на вентиляцію;  $\tau_{10}$ ,  $\tau_{20}$  - розрахункові температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах; 150-70 °С;

Розрахункову витрату теплоносія на гаряче водопостачання  $G_{ГВ}$  визначаю за формулою, кг/с:

$$G_{\epsilon\epsilon} = \frac{Q_{ГВ}^{cp}}{c(\tau'_1 - \tau'_2)}$$

де  $Q_{ГВ}$  - розрахункова витрата теплоти на гаряче водопостачання;  $\tau'_1 = 65$  °С,  $\tau'_2 = 30$  °С - температури теплоносія перед та після теплообмінником.

Виконаний розрахунок витрат теплоносія та дані занесені до таблиці 2.7.2

Таблиця 2.7.2 – Розрахунок витрати теплоносія для невідомої забудови

№ району	$Q_o$ , МВт	$Q_b$ , МВт	$Q_{ГВ}^{cp}$ , МВт	$Q_{ГВ}^{max}$ , МВт
K1(9)	4,785	0,383	2,067	4,341
K2(8)	4,785	0,383	2,067	4,341
K3(7)	4,785	0,383	2,067	4,341
K4(1)	4,785	0,383	2,067	4,341
K5(2)	18,642	1,491	8,053	16,911
K6(6)	18,642	1,491	8,053	16,911
K7(3)	7,425	0,197	1,176	2,469
K8(5)	10,308	0,825	4,453	9,351
K9(4)	8,135	0,651	3,514	7,379
$\Sigma$	82,290	6,186	33,517	70,385

№ району	G <sub>o</sub> , кг/с	G <sub>в</sub> , кг/с	G <sub>гв</sub> , кг/с	ΣG, кг/с
K1(9)	14,29	1,14	29,62	45,05
K2(8)	14,29	1,14	29,62	45,05
K3(7)	14,29	1,14	29,62	45,05
K4(1)	14,29	1,14	29,62	45,05
K5(2)	55,65	4,45	65,94	126,05
K6(6)	55,65	4,45	65,94	126,05
K7(3)	22,17	0,59	16,85	39,60
K8(5)	30,77	2,46	36,46	69,70
K9(4)	24,28	1,94	28,78	55,00
Σ	245,67	18,47	332,46	596,60

- 1) Розрахунок витрати теплоносія на опалення та вентиляції першого K1, другого K2, третього K3, четвертого K4 мікрорайону з невідомою забудовою:

$$G_o = \frac{4785}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 14,29 \text{ кг/с}$$

$$G_v = \frac{383}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 1,14 \text{ кг/с}$$

$$G_{гв} = \frac{4341}{4,187 \cdot (65 - 30)} = 29,62 \text{ кг/с}$$

Розрахункова витрата теплоносія в мережі:

$$G_p = 14,29 + 1,14 + 29,62 = 45,05 \text{ кг/с}$$

- 2) Розрахунок витрати теплоносія на опалення та вентиляції п'ятого K5, шостого K6 мікрорайону з невідомою забудовою:

$$G_o = \frac{18642}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 55,65 \text{ кг/с}$$

$$G_v = \frac{1491}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 4,45 \text{ кг/с}$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$G_{26} = \frac{8053}{4,187 \cdot (65 - 30)} \cdot 1,2 = 65,94 \text{ кг/с}$$

Розрахункова витрата теплоносія в мережі:

$$G_p = 55,65 + 4,45 + 65,94 = 126,05 \text{ кг/с}$$

3) Розрахунок витрати теплоносія на опалення та вентиляції сьомого К7 мікрорайону з невідомою забудовою:

$$G_o = \frac{7425}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 22,17 \text{ кг/с}$$

$$G_v = \frac{197}{4,187 \cdot (150 - 70)} = 0,59 \text{ кг/с}$$

$$G_{26} = \frac{2469}{4,187 \cdot (65 - 30)} = 16,85 \text{ кг/с}$$

Розрахункова витрата теплоносія в мережі:

$$G_p = 22,17 + 0,59 + 16,85 = 39,60 \text{ кг/с}$$

Аналогічно виконується розрахунок витрати теплоносія для інших районів з невідомою забудовою.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.8 Гідравлічний розрахунок

### 2.8.1 Трасування теплової мережі міста (невідомої забудови)

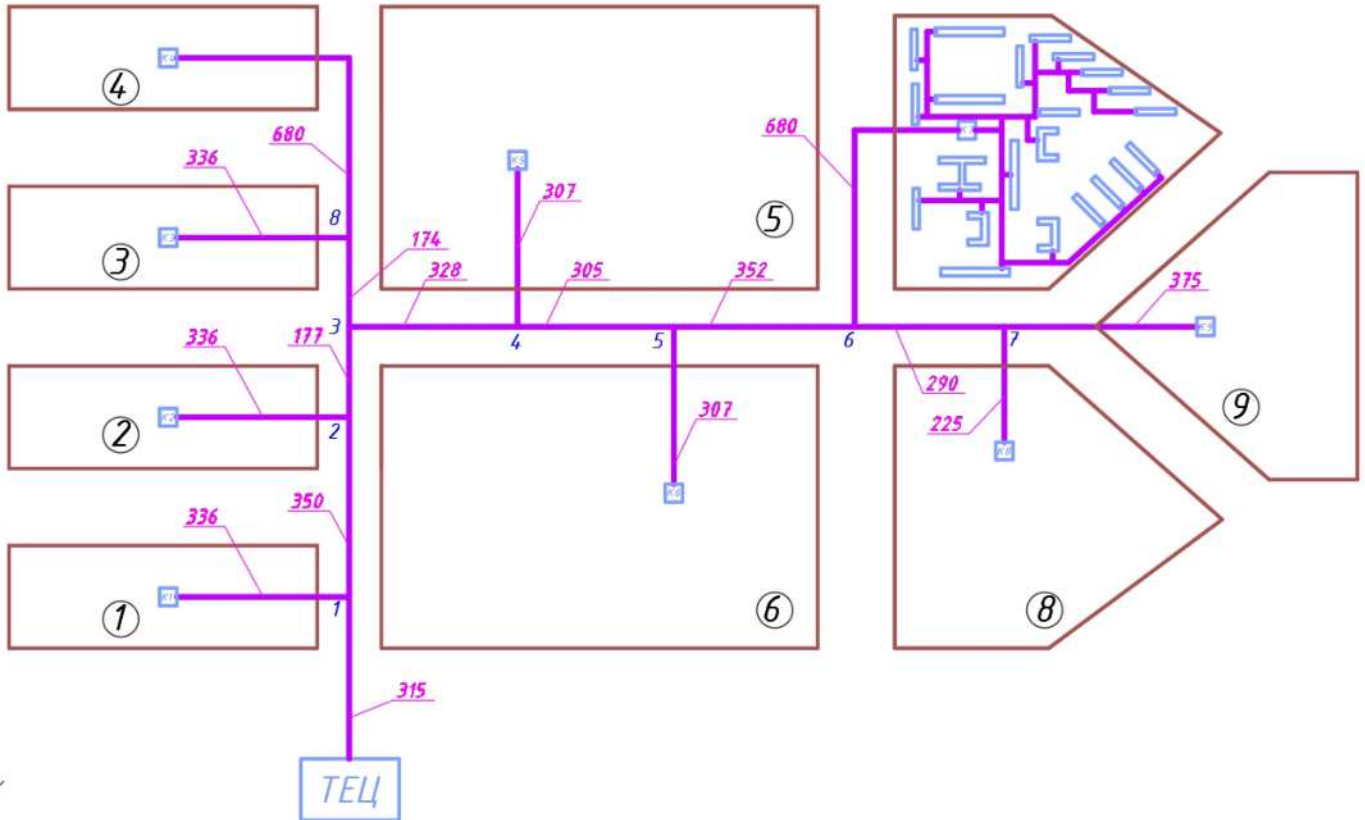


Рисунок 5 – План теплової мережі міста

### 2.8.2 Гідравлічний розрахунок теплових мереж міста

Гідравлічний розрахунок — це основний етап при проектуванні теплових мереж.

Метою гідравлічного розрахунку є:

- визначення діаметрів трубопроводів;
- розрахунок втрат тиску в трубопроводах;
- ув'язування усіх гілок системи;
- визначення тиску в різних точках мережі.

На підставі гідравлічного розрахунку підбирають обладнання ТЕЦ та теплових пунктів (визначають характеристики насосів, підбирають авторегулятори, дросельні пристрої), визначають умови роботи джерел теплоти та абонентських вводів,

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

металоємність та основні капіталовкладення, розробляють режими експлуатації систем тепlopостачання.

Щоб виконати гідравлічний розрахунок потрібно 1) розробити схему теплової мережі, на якій вказують місця підключення споживачів, їх теплові навантаження, довжини розрахункових ділянок та нанесено джерело тепла, 2) накреслити профіль мережі з фізичними відмітками трубопроводів, споживачів та 3) визначити розрахункові витрати теплоносія.

### Гідравлічний розрахунок водяної теплової мережі

Під час руху теплоносія трубопроводами повні втрати тиску,  $\Delta p$ , складаються з втрат тиску на тертя,  $\Delta p_m$  і втрат тиску в місцевих опорах,  $\Delta p_{\text{л}}$ , Па:

$$\Delta p = \Delta p_m + \Delta p_{\text{л}}. \quad (2.8.1)$$

Втрати тиску на тертя,  $\Delta p_m$ , визначають за формулою Вейсбаха- Дарсі, Па:

$$\Delta p_m = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (2.8.2)$$

де  $\lambda$  — безрозмірний коефіцієнт гідравлічного тертя;  $d$  — внутрішній діаметр трубопроводу, м;  $\rho$  — густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>; ( $\omega$  — швидкість руху теплоносія, м/с;  $l$  — довжина трубопроводу, м.

Коефіцієнт гідравлічного тертя залежить від числа Рейнольдса ( $Re$ ) і відносної еквівалентної шорсткості труби ( $k_e/d$ ). Шорсткістю труби називають виступи і нерівності, які впливають на втрати напору під час турбулентного руху рідини. В реальних умовах ці виступи і нерівності різні за формою, величиною і нерівномірно розміщені по довжині труби. За еквівалентну шорсткість,  $k_e$ , умовно приймають рівномірну зернисту нерівність, виступи якої мають однакову форму і розміри, а втрати напору по довжині такі ж, як і в реальних трубах. Величину еквівалентної шорсткості внутрішньої поверхні стінок сталевих труб з урахуванням корозії рекомендовано приймати: для паропроводів 0,2 мм, для водяних теплових мереж — 0,5 мм, для мереж гарячого водопостачання і конденсатопроводів — 1 мм. Еквівалентну шорсткість внутрішньої поверхні труб зі структурованого поліетилену (PE-X) та інших термостійких термопластичних полімерів приймають для водяних

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплових мереж і мереж гарячого водопостачання 0,005 мм.

Для теплопроводів зовнішніх мереж характерний турбулентний режим руху теплоносіїв.

Якщо  $Re \cdot k_e / d \leq 22$ , то труби вважають гідравлічно гладкими. У цьому випадку ламінарний шар, суміжний з стінками, покриває їх шорсткість, тобто товщина суміжного шару більша ніж еквівалентна шорсткість і гідравлічні опори зумовлені лише силами тертя в рідині та залежать від числа Рейнольдса.

Для гідравлічно гладких труб і турбулентного руху коефіцієнт гідравлічного тертя визначають за формулою Е.А.Муріна:

$$\lambda_e = \frac{1,01}{\lg Re^{2.5}}. \quad (2.8.3)$$

В гідравлічно шорстких трубах ( $Re \cdot k_e / d \geq 560$ ) вирішальне значення для гідравлічного опору по усій довжині має сила тертя рідини об стінки трубопроводу, коефіцієнт гідравлічного тертя залежить лише від відносної еквівалентної шорсткості і визначають його за формулою професора Б.Л. Шифрінсона:

$$\lambda_{ш} = 0,11 \cdot \left( \frac{k_e}{d} \right)^{0,25}. \quad (2.8.4)$$

У перехідній області гідравлічних опорів ( $22 < Re \cdot k_e / d < 560$ ) рекомендована формула професора А.Д. Альтшуля:

$$\lambda_n = 0,11 \cdot \left( \frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.8.5)$$

яка дозволяє достатньо точно визначити коефіцієнт  $\lambda$  для усіх трьох зон гідравлічних опорів (гладкої, перехідної і шорсткої). Для  $Re \cdot k_e / d \leq 10$  результати розрахунку співпадають із даними Г.А. Муріна, а для  $Re \cdot k_e / d \geq 560$  — з даними Б.Л. Шифрінсона. Тому для побудови розрахункових номограм застосовують формулу А.Д. Альтшуля.

Втрати тиску в місцевих опорах,  $\Delta p_m$ , визначають за формулою Вейсбаха, Па:

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p_m = \Sigma \xi \cdot \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (2.8.6)$$

де  $\Sigma \xi$  - сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці трубопроводу.

Місцеві втрати напору можна замінити еквівалентними гідравлічними опорами по довжині, якщо в рівняння Вейсбаха- Дарсі замість  $l$  підставити  $l_e$ , — еквівалентну довжину місцевих опорів, тобто таку довжину прямолінійного трубопроводу, лінійні втрати напору в якому чисельно рівні втратам напору в місцевих опорах.

Вирішуючи разом рівняння (2.8.2) і (2.8.6), отримують, м:

$$l_e = \Sigma \xi \cdot \frac{d}{\lambda}. \quad (2.8.7)$$

Гідравлічний розрахунок розгалужених трубопроводів зручно виконувати методом середніх питомих втрат напору, тому часто використовують такі форми запису повних гідравлічних втрат, Па:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_m + \Delta p_m = \Delta p_m \cdot \left( 1 + \frac{\Delta p_m}{\Delta p_m} \right) = \\ &= R_m \cdot l \cdot (1 + \alpha) = R_m \cdot (l + l_e) \end{aligned} \quad (2.8.8)$$

де  $\alpha$  — коефіцієнт, що враховує частку втрат напору в місцевих опорах від опору по довжині;  $R_m$  — питомі втрати напору по довжині, Па/м, (з формули (2.8.2)):

Для характерних тепловим мережам місцевих опорів значення еквівалентних довжин наведено у спеціальних таблицях [21, табл. 9.12].

$$R_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 6.27 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\lambda}{d^5} \cdot \frac{G^2}{\rho} \quad (2.8.9)$$

де  $G$  — витрата теплоносія, т/год.

Для полегшення розрахунків за формулою (2.8.9) складено таблиці та номограми, якими користуються під час проектування теплових мереж [2] (додатки 10-12).

Гідравлічний розрахунок дозволяє визначити діаметри трубопроводів, втрати тиску та напір в різних точках мережі, а також ув'язати усю систему.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Послідовність виконання гідравлічного розрахунку:

- 1) Перед виконанням гідравлічного розрахунку розробляють схему теплових мереж, яку розбивають на розрахункові ділянки — трубопроводи, в яких витрата теплоносія не змінюється.
- 2) На розрахунковій схемі проставляють номери ділянок (спочатку головною магістраллю, а потім відгалуженнями), витрати теплоносія в кг/с або в т/год, довжини ділянок в метрах. **Головною магістраллю** є найбільш довгий і навантажений напрямок мережі від джерела теплоти (точки підключення) до найбільш віддаленого споживача.
- 3) Припускають, що падіння тиску вздовж головної магістралі є рівномірним. За відомим гарантованим тиском,  $\Delta p_p$ , для головної магістралі, а також для відгалужень визначають орієнтовні середні питомі втрати тиску, Па/м:

$$R_{сер} = \frac{\Delta p_p}{\Sigma l \cdot (1 + \alpha)} \quad (2.8.10)$$

де  $\Sigma l$  — сумарна довжина розрахункових ділянок, м, в яких використовується величина  $\Delta p_p$ ,  $\alpha$  — коефіцієнт, що враховує середню частку втрат тиску в місцевих опорах.

Для попередніх розрахунків частка втрат напору в місцевих опорах може бути орієнтовно визначена за формулою Б.Л. Шифрінсона:

$$\alpha = z \cdot \sqrt{G} \quad (2.8.11)$$

де  $z$  — коефіцієнт, який приймають рівним 0,01 для водяних мереж, 0,05...0,5 — для парових мереж;  $G$  — витрата теплоносія на початковій ділянці розгалуженого теплопроводу, т/год.

Якщо гарантований перепад тиску на початку теплотраси невідомий, то питомі втрати тиску  $R_{сер}$  приймають:

- а) на ділянках головної магістралі 20... 40, але не більш ніж 80 Па/м;
- б) на відгалуженнях — за гарантованим перепадом тиску, але не більше ніж 300 Па/м.

Гідравлічний розрахунок виконують за таблицями і номограмами, наведеними в літературі [2] (додатки 10-12)).

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Спочатку розраховують головну магістраль. За відомими витратами, орієнтуючись на рекомендовані величини питомих втрат тиску,  $R_{сер}$ , визначають діаметр трубопроводу,  $d_3 \times S$ . фактичні питомі втрати тиску,  $R_m$  Па/м, а також швидкість руху теплоносія,  $\omega$ , м/с. Умовний прохід труб, незалежно від розрахункової витрати, приймають в теплових мережах не меншим ніж 32 мм [5, п. 10.7]. Швидкість руху води не повинна перевищувати 3,5 м/с. Після визначення діаметрів трубопроводів, знаходять кількість компенсаторів на ділянках і інші види місцевих опорів. Втрати тиску в місцевих опорах обчислюють за формулою (2.8.6), або (2.8.7). Далі знаходять повні втрати тиску на ділянках головної магістралі і сумарні по всій її довжині.

5) Відтак виконують гідравлічний розрахунок відгалужень, ув'язують втрати тиску в них з відповідними частинами головної магістралі (від точки поділу потоків до кінцевих споживачів). Ув'язування втрат тиску виконують добиранням діаметрів трубопроводів відгалужень. Похибка ув'язування не повинна бути більшою ніж 10%. Якщо здійснити ув'язку діаметрами неможливо, то надлишковий напір на відгалуженнях повинен бути погашений соплами елеваторів, дросельними діафрагмами і авторегуляторами споживачів.

Таблиці і номограми для гідравлічного розрахунку, наведені в літературі [2], складено для еквівалентної шорсткості труб  $k_e = 0,5$  мм. Під час розрахунку трубопроводів із іншою шорсткістю до значень питомих втрат тиску  $R$  приймають поправний коефіцієнт  $\beta$ . Діаметри подавального і зворотного трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж для спільного подавання теплоти на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання приймають однаковими [5, п.10.6].

За результатами гідравлічного розрахунку можна встановити об'єм робіт для спорудження теплової мережі, кількість та характеристики циркуляційних та підживлювальних насосів, вибрати схеми приєднання абонентів, розробити режим експлуатації системи теплопостачання.

б) Якщо різниця тисків відгалуження та головної магістралі більша, ніж 10%, то на відгалуженні виконуємо ділянку, яка складається з двох діаметрів більшого та меншого.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.8.1. Розрахунок еквівалентних довжин місцевих опорів

№	$d_3 \times S$ , мм	$v$ м/с	$l$ , м	Вид місцевого опору	$\xi$	Кількість опорів	$\sum \xi$	$l_e$ , м	$l_{3e}$ , м
ТЕЦ-1	630x9	2,03	315	Засувка	0,5	1	0,8	26,32	341,32
				компенсатор	0,3	1			
1-2	630x9	1,88	350	Засувка	0,5	1	1,8	59,22	409,22
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
2-3	630x9	1,72	177	трійник	1	1	1,3	42,77	219,77
				компенсатор	0,3	1			0
3-4	530x8	2,01	328	Засувка	0,5	1	2,3	60,95	388,95
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
4-5	530x8	1,40	305	Засувка	0,5	1	1,8	47,7	352,7
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
5-6	377x9	1,62	352	Засувка	0,5	1	1,8	30,42	382,42
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
6-7	377x9	1,23	290	Засувка	0,5	1	1,8	30,42	320,42
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
7-K9	273x7	1,04	375	Засувка	0,5	1	1,8	20,16	395,16
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
7-K8	273x7	1,68	225	Засувка	0,5	1	2,3	10,396	235,396
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
6-K7	273x7	0,75	680	Засувка	0,5	1	2,8	31,36	711,36
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
				відвід	0,5	1			
5-K6	325x8	1,68	307	Засувка	0,5	1	2,3	32,2	339,2
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
4-K5	273x7	2,39	307	Засувка	0,5	1	2,3	25,76	332,76
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

37

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата



3-8	273x7	1,71	177	Засувка	0,5	1	1,8	20,16	197,16
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
6-К7	219x6	1,34	680	Засувка	0,5	1	2,3	19,55	699,55
				трійник	1	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
				відвід	0,5	1			
8-К3	219x6	1,34	336	Засувка	0,5	1	2,3	19,55	355,55
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
2-К2	219x6	1,34	336	Засувка	0,5	1	2,3	19,55	355,55
				трійник	1,5	1			0
				компенсатор	0,3	1			0
1-К1	219x6	1,34	116	Засувка	0,5	1	2	17	133
				трійник	1,5	1			0
	159x4,5	2,55	220	компенсатор	0,3	1	0,3	1,71	221,71

Таблиця 2.8.2. Гідралічний розрахунок трубопроводів теплової мережі міста

№ ділянки	Витрата, тон/год	D хδ, мм	Довжина ділянки, м			R, Па/м	V, м/с	Rl, Па
			за планом	еквівалентна	приведена			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Головна розрахункова магістраль ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9 <math>\Delta p_{\text{ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9}}=153651 \text{ Па}</math></b>								
ТЕЦ-1	2147,76	630x9	315	26,32	341,32	60,3	2,03	20569
1-2	1985,58	630x9	350	59,22	409,22	51,5	1,88	21086
2-3	1823,4	630x9	177	42,77	219,77	43,5	1,72	9554
3-4	1499,04	530x8	328	60,95	388,95	73,4	2,01	28544
4-5	1045,26	530x8	305	47,7	352,7	35,8	1,40	12613
5-6	591,48	377x9	352	30,42	382,42	75,3	1,62	28790
6-7	448,92	377x9	290	30,42	320,42	43,5	1,23	13923
7-К9	198	273x7	375	20,16	395,16	47,0	1,04	18572
$\Delta p_{\text{ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9}}=$								153651
<b>Відгалуження 7-К8. <math>\Delta p_{7-К8}=\Delta p_{7-К9}=18572 \text{ Па}</math>. Нев'язка 4,5%</b>								
7-К8	250,92	273x7	225	10,396	235,396	75,3	1,32	17731
<b>Відгалуження 6-К7. <math>\Delta p_{6-К7}=\Delta p_{6-7}+\Delta p_{7-К9}=32495 \text{ Па}</math>. Нев'язка 0,5%</b>								
6-К7	142,56	273x7	400	31,36	431,36	24,5	0,75	10549
6-К7	142,56	219x6	280	0	280	78,9	1,18	22101
$\Delta p_{6-К7}=$								32650
<b>Відгалуження 5-К6. <math>\Delta p_{5-К6}=\Delta p_{5-6}+\Delta p_{6-7}+\Delta p_{7-К9}=61285 \text{ Па}</math>. Нев'язка 3,8%</b>								
5-К6	453,78	325x8	100	32,2	132,2	97,4	1,68	12871
5-К6	453,78	273x7	207	0	207	245,5	2,39	50819

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

38

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

								$\Delta p_{5-К6} =$	63690
<b>Відгалуження 4-К5. <math>\Delta p_{4-К5} = \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 73898</math> Па. Нев'язка 9,5%</b>									
4-К5	453,78	273x7	307	25,76	332,76	245,5	2,39	81694	
								$\Delta p_{5-К6} =$	81694
<b>Відгалуження 3-8-К4. <math>\Delta p_{3-8-К4} = \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 102442</math> Па. Нев'язка 6,5%</b>									
3-8	324,36	273x7	177	20,16	197,16	125,7	1,71	24773	
8-К4	162,18	219x6	680	19,55	699,55	102,0	1,34	71387	
								$\Delta p_{3-8-К4} =$	96160
<b>Відгалуження 8-К3. <math>\Delta p_{8-К3} = \Delta p_{8-К4} = 71387</math> Па. Нев'язка 1,3%</b>									
8-К3	162,18	219x6	260	19,55	279,55	102,0	1,34	28527	
8-К3	162,18	159x4,5	76	0	76	551,6	2,55	41918	
								$\Delta p_{8-К3} =$	70446
<b>Відгалуження 2-К2. <math>\Delta p_{2-К2} = \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 111996</math> Па. Нев'язка 5,3%</b>									
2-К2	162,18	219x6	180	19,55	199,55	102,0	1,34	20363	
2-К2	162,18	159x4,5	156	0	156	551,6	2,55	86043	
								$\Delta p_{2-К2} =$	106406
<b>Відгалуження 1-К1. <math>\Delta p_{1-К1} = \Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 133082</math> Па. Нев'язка 2,0%</b>									
1-К1	162,18	159x4,6	220	1,71	221,71	551,6	2,55	122286	
1-К1	162,18	219x6	116	17	133	102,0	1,34	13572	
								$\Delta p_{1-К1} =$	135858

- 1) Гідрравлічний розрахунок виконується для подавального трубопроводу. За головну розрахункову магістраль приймаємо ділянки ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9 (рис.5).
- 2) На підставі розрахованих витрат теплоносія на кожній ділянці, орієнтуючись на питомі втрати тиску в межах 30-80 Па/м, задаємося діаметрами трубопроводів.
- 3) Задавшись діаметрами визначаємо втрати тиску в трубопроводі.
  - а) Ділянка ТЕЦ-1, задалися діаметром 630x9, визначили внутрішній діаметр трубопроводу  $d_v = 0,63 - 2 \cdot 0,009 = 0,612$  м.
  - б) Визначили швидкість теплоносія на ділянці трубопроводу:

$$v = \frac{4 \cdot G}{3600 \cdot \rho \cdot \pi \cdot d_v^2} = 2,03 \text{ м/с,}$$

де  $\rho = 958,4 \text{ кг/м}^3$  – густина води (теплоносія).

					<b>401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ</b>		Арк.
							39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

в) Визначили  $Re = \frac{v \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,03 \cdot 0,612 \cdot 958,4}{0,000295} = 4034474$  – коефіцієнт

Рейнольдса,

де  $\mu$  – динамічна в'язкість води, приймаємо  $\mu = 295,0 \cdot 10^{-6}$  Па\*с.

г) Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя за формулою професора А.Д. Альтшуля:

$$\lambda_n = 0,11 \cdot \left( \frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,0005}{0,612} + \frac{68}{4034474} \right)^{0,25} = 0,018692.$$

д) Питомі втрати напору по довжині визначаємо за формулою:

$$R_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \frac{0,018692}{0,612} \cdot \frac{958,4 \cdot 2,03^2}{2} = 60,3 \text{ Па/м.}$$

е) Усі розрахунки пункту а-д виконуємо в програмі Excel, задаючи формули (див. табл.2.8.3).

Таблиця 2.8.3. Визначення  $Re$ ,  $\lambda$ ,  $R$  в Excel

№ ділян	Витрата, тон/год	D, мм	Довжина ділянки, м			R, Па/м	V, м/с	Rl, Па	двнут, м	Re	$\lambda$
			за планом	еквів.	приведена						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Головна розрахункова магістраль ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9 <math>\Delta p_{\text{ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9}}=153651</math> Па</b>											
ТЕЦ-1	2147,76	630x9	315	26,32	341,32	60,3	2,03	20569	0,612	4034474	0,018692
1-2	1985,58	630x9	350	59,22	409,22	51,5	1,88	21086	0,612	3729826	0,0187
2-3	1823,4	630x9	177	42,77	219,77	43,5	1,72	9554	0,612	3425178	0,018709
3-4	1499,04	530x8	328	60,95	388,95	73,4	2,01	28544	0,514	3352762	0,019527
4-5	1045,26	530x8	305	47,7	352,7	35,8	1,40	12613	0,514	2337835	0,01957
5-6	591,48	377x9	352	30,42	382,42	75,3	1,62	28790	0,359	1894080	0,021386
6-7	448,92	377x9	290	30,42	320,42	43,5	1,23	13923	0,359	1437564	0,021428
7-К9	198	273x7	375	20,16	395,16	47,0	1,04	18572	0,259	878857	0,023285
								$\Delta p_{\text{ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9}}=$	153651		

ж) Визначаємо місцеві опори на ділянці ТЕЦ-1: засувка та компенсатор.

Заповнюємо таблицю 2.8.1. Значення КМО приймаємо з додатку 13 [2] або таблиці 2.8.4.

					<b>401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ</b>						Арк.
											40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Таблиця 2.8.4. Значення коефіцієнтів місцевих опорів

№ з/п	Характеристика місцевого опору	Значення $\xi$
1	Засувка	0,5
2	Вентиль з косим шпинделем	0,5
3	Вентиль с вертикальним шпинделем	6
4	Зворотний клапан підйомний	7
5	Зворотний клапан поворотний	3
6	Компенсатор сальниковий	0,3
7	Компенсатор П-подібний:	
	с гладкими відводами	1,7
	с крутовигнутими відводами	2,4
	із зварними відводами	2,8
8	Відводи гнуті під кутом 90° із складками:	
	якщо R/d = 3	0,8
	якщо R/d = 4	0,5
9	Відводи зварні одношовні під кутом, град:	
	60	0,7
	45	0,3
	30	0,2
10	Відводи зварні двохшовні під кутом 90°	0,6
11	Відводи зварні трьохшовні під кутом 90°	0,5
12	Відводи гнуті під кутом 90° гладкі:	
	якщо R/d = 1	1
	якщо R/d = 3	0,5
	якщо R/d = 4	0,3
13	Трійник для потоків, які зливаються:	
	прохід*	1,5
	відгалуження	2
14	Трійник для потоків, які розділяються:	
	прохід*	1
	відгалуження	1,5
15	Трійник для потоків,	
	що розходиться	2
	що зустрічається	3
16	Грязьовик	10

з) Розраховуємо сумарний коефіцієнт місцевих опорів ділянки:

$$\Sigma \xi = 0,5 \cdot 1 + 0,3 \cdot 1 = 0,8.$$

і) Еквівалентну довжину сталеві труби ( $k_e=0,0005$ ) для труб  $\Sigma \xi = 1$  приймаємо з

додатка 14 [2], за формулою  $l_e = \Sigma \xi \cdot \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,612}{0,018692}$  або таблиці:

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

dз x S, мм	1420x14	1020x12	820x10	720x10	630x9	530x8	480x7	426x9	377x9	325x8
0,0005	91,9	60,5	46	38,9	32,9	26,5	23,4	19,8	16,9	14

Для діаметра 630x9 – 32,9 м.

Еквівалентна довжина труби ділянки ТЕЦ-1 дорівнює:

$$l_e = \sum \xi \cdot l_{e \sum \xi = 1} = 0,8 \cdot 32,9 = 26,32 \text{ м.}$$

к) Зведена довжина ділянки визначається за формулою:

$$l_{36} = l + l_e = 315 + 26,32 = 341,32 \text{ м,}$$

l=315 м – довжина ділянки за планом.

л) Повні гідравлічні втрати тиску на ділянці, Па:

$$\Delta p = R_m \cdot (l + l_e) = 60,3 \cdot (315 + 26,32) = 20569 \text{ Па.}$$

4) Визначаємо втрати тиску по кожній ділянці головної розрахункової магістралі ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9 (згідно пункту 3) та знаходимо їх суму:

$$\Delta p_{\text{ТЕЦ-1-2-3-4-5-6-7-К9}} = \Delta p_{\text{ТЕЦ-1}} + \Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 153651 \text{ Па}$$

5) Наступним етапом виконується гідравлічний розрахунок відгалужень, діаметр трубопроводів задаємо так, щоб виконати рівність втрат тиску в паралельних ділянках та розраховуючи втрати тиску згідно пункту 3.

Для ділянки 7-К8:  $\Delta p_{7-К8} = \Delta p_{7-К9} = 18572 \text{ Па}$ . Нев'язка 4,5%.

Для ділянки 6-К7.  $\Delta p_{6-К7} = \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 32495 \text{ Па}$ . Нев'язка 0,5%.

Для ділянки 5-К6.  $\Delta p_{5-К6} = \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 61285 \text{ Па}$ . Нев'язка 3,8%.

Для ділянки 4-К5.  $\Delta p_{4-К5} = \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 73898 \text{ Па}$ . Нев'язка 9,5%.

Для ділянок 3-8-К4.  $\Delta p_{3-8-К4} = \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 102442 \text{ Па}$ . Нев'язка 6,5%.

Для ділянки 8-К3.  $\Delta p_{8-К3} = \Delta p_{8-К4} = 71387 \text{ Па}$ . Нев'язка 1,3%.

Для ділянки 2-К2.  $\Delta p_{2-К2} = \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 111996 \text{ Па}$ . Нев'язка 5,3%.

Для ділянки 1-К1.  $\Delta p_{1-К1} = \Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-К9} = 133082 \text{ Па}$ . Нев'язка 2,0%.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ					Арк.
										42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

## 2.9 Гідралічний розрахунок трубопроводів теплової мережі для відомої забудови

### 2.9.1 Трасування теплової мережі відомої забудови

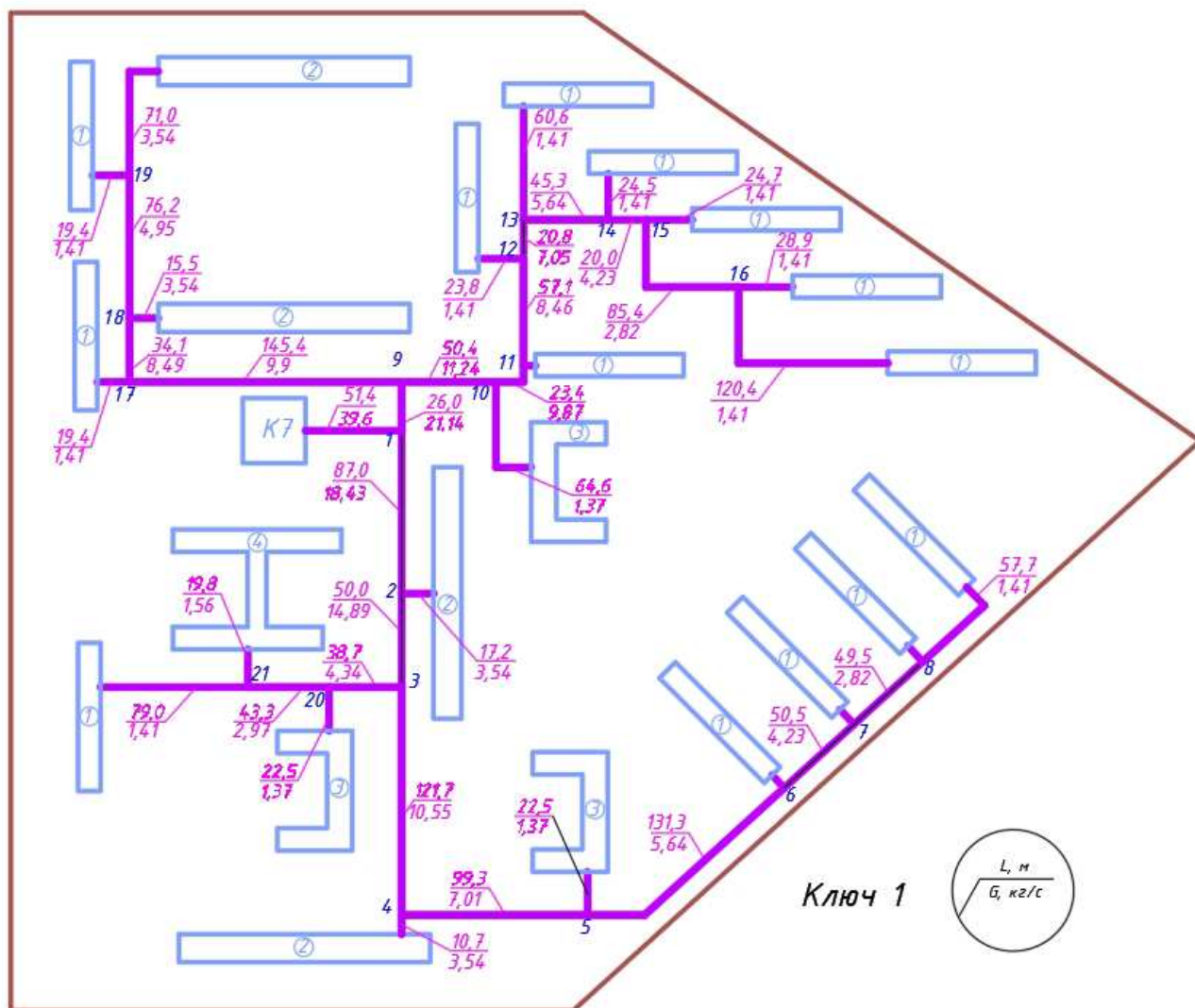


Рисунок 6 – Монтажна схема теплової мережі мікрорайону відомої забудови

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## 2.9.2. Гідравлічний розрахунок трубопроводів мікрорайону з відомою забудовою

Таблиця 2.9.1 – Розрахунок еквівалентних довжин місцевих опорів

№	$d_3 \times S$ , мм	$v$ м/с	$l$ , м	Вид місцевого опору	$\xi$	Кількість опорів	$\Sigma\xi$	$l_e$ , м	$l_{зв}$ , м
K7-1	219x6	1,18	51,4	Засувка	0,5	1	0,8	6,7	58,1
				компенсатор	0,3	1			
1-2	159x4,5	1,04	87	Засувка	0,5	1	4,8	27,0	114,0
				трійник	1,5	1			0
				П-под.комп.	2,8	1			0
2-3	159x4,5	0,84	50	трійник	1	1	4,3	24,1	74,1
				засувка	0,5	1			
				П-под.комп.	2,8	1			0
3-4	133x4	0,86	121,7	Засувка	0,5	1	4,3	19,2	140,9
				трійник	1	1			0,0
				П-под.комп.	2,8	1			0,0
4-5	133x4	0,57	99,3	Засувка	0,5	1	4,8	21,3	120,6
				трійник	1,5	1			0
				П-под.комп.	2,8	1			0
5-6	108x4	0,72	131,3	Засувка	0,5	1	1,8	6,1	137,4
				трійник	1	1			0
				відвід 45град.	0,3	1			0
6-7	89x4	0,82	50,5	Засувка	0,5	1	4,3	11,2	61,7
				трійник	1	1			0,0
				П-под.комп.	2,8	1			0,0
7-8	89x4	0,55	49,5	Засувка	0,5	1	4,3	11,1	60,6
				трійник	1	1			0,0
				П-под.комп.	2,8	1			0,0
8- ж.б.1	57x3	0,69	57,7	Засувка	0,5	1	2,3	3,3	61,0
				трійник	1	1			0
				відвід 90град.	0,8	1			0
1-9	159x4,5	1,20	26	Засувка	0,5	1	4,8	27,0	53,0
				трійник	1,5	1			0
				П-под.комп.	2,8	1			0
9-10	133x4	0,92	50,4	Засувка	0,5	1	4,8	21,4	71,8
				трійник	1,5	1			0
				П-под.комп.	2,8	1			0

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

44

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

10-11	133x4	0,80	23,4	Засувка	0,5	1	2,3	10,3	33,7
				трійник	1	1			0
				відвід 90град.	0,8	1			0
11-12	133x4	0,69	57,1	Засувка	0,5	1	4,3	19,1	76,2
				трійник	1	1			0
				П-под.комп.	2,8	1			0
12-13	108x4	0,90	20,8	Засувка	0,5	1	4,3	14,5	35,3
				трійник	1	1			
				П-под.комп.	2,8	1			
13-14	108x4	0,72	45,3	Засувка	0,5	1	4,8	16,2	61,5
				трійник	1,5	1			
				П-под.комп.	2,8	1			
14-15	89x4	0,82	20	Засувка	0,5	1	1,5	3,9	23,9
				трійник	1	1			
15-16	76x3	0,73	85,4	Засувка	0,5	1	2,8	6,0	91,4
				трійник	1,5	1			
				відвід90град.	0,8	1			
16- ж.б.1	57x3	0,69	120,4	Засувка	0,5	1	2,8	4,1	124,5
				трійник	1,5	1			
				відвід90град.	0,8	1			
9-17	108x4	1,26	145,4	Засувка	0,5	1	4,8	16,3	161,7
				трійник	1,5	1			
				П-под.комп.	2,8	1			
17-18	108x4	1,08	34,1	Засувка	0,5	1	2	6,8	40,9
				трійник	1,5	1			
18-19	108x4	0,63	76,2	Засувка	0,5	1	4,3	14,5	90,7
				трійник	1	1			
				П-под.комп.	2,8	1			
19- ж.б.2	89x4	0,69	71	Засувка	0,5	1	2,8	7,2	78,2
				трійник	1,5	1			
				відвід 90град.	0,8	1			
3-20	76x3	1,13	38,7	Засувка	0,5	1	2	4,3	43,0
				трійник	1,5	1			
20-21	76x3	0,77	43,3	Засувка	0,5	1	1,5	3,2	46,5
				трійник	1	1			
21- ж.б.1	57x3	0,69	79	Засувка	0,5	1	4,3	6,2	85,2
				трійник	1	1			
				П-под.комп.	2,8	1			

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

45



1) Гідравлічний розрахунок виконується для подавального трубопроводу. За головну розрахункову магістраль приймаємо ділянки К7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1 (рис.6).

2) На підставі розрахованих витрат теплоносія на кожній ділянці, орієнтуючись на питомі втрати тиску в межах 30-80 Па/м, задаємося діаметрами трубопроводів.

3) Задавшись діаметрами визначаємо втрати тиску в трубопроводі.

а) Ділянка К7-1, задалися діаметром 219х6, визначили внутрішній діаметр трубопроводу  $d_b = 0,29 - 2 \cdot 0,006 = 0,207$  м.

б) Визначили швидкість теплоносія на ділянці трубопроводу:

$$v = \frac{4 \cdot G}{3600 \cdot \rho \cdot \pi \cdot d_g^2} = \frac{4 \cdot 142,6}{3600 \cdot 958,4 \cdot 3,14 \cdot 0,207^2} = 1,18 \text{ м/с,}$$

де  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup> – густина води (теплоносія).

в) Визначили  $Re = \frac{v \cdot d_g \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,03 \cdot 0,207 \cdot 958,4}{0,000295} = 791735$  – коефіцієнт

Рейнольдса,

де  $\mu$  – динамічна в'язкість води, приймаємо  $\mu = 295,0 \cdot 10^{-6}$  Па\*с.

г) Знаходимо коефіцієнт гідравлічного тертя за формулою професора А.Д. Альтшуля:

$$\lambda_n = 0,11 \cdot \left( \frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,0005}{0,207} + \frac{68}{791735} \right)^{0,25} = 0,0246.$$

д) Питомі втрати напору по довжині визначаємо за формулою:

$$R_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \frac{0,0246}{0,207} \cdot \frac{958,4 \cdot 1,18^2}{2} = 78,9 \text{ Па/м.}$$

е) Усі розрахунки пункту а-д виконуємо в програмі Excel, задаючи формули (див. табл.2.9.3-2.9.4).

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ж) Визначаємо місцеві опори на ділянці К7-1: засувка та компенсатор.

Заповнюємо таблицю 2.9.1. Значення КМО приймаємо з додатку 13 [2] або таблиці 2.8.4.

з) Розраховуємо сумарний коефіцієнт місцевих опорів ділянки:

$$\Sigma\xi = 0,5 \cdot 1 + 0,3 \cdot 1 = 0,8.$$

і) Еквівалентну довжину сталеві труби ( $k_e=0,0005$ ) для труб  $\Sigma\xi = 1$

приймаємо з додатка 14 [2], за формулою 
$$l_e = \Sigma\xi \cdot \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,207}{0,0246}$$

Еквівалентна довжина труби ділянки К7-1 дорівнює:

$$l_e = \Sigma\xi \cdot l_{e\Sigma\xi=1} = 0,8 \cdot 8,41 = 6,7 \text{ м.}$$

к) Зведена довжина ділянки визначається за формулою:

$$l_{зв} = l + l_e = 51,4 + 6,7 = 58,1 \text{ м,}$$

$l=315$  м – довжина ділянки за планом.

л) Повні гідравлічні втрати тиску на ділянці, Па:

$$\Delta p = R_m \cdot (l + l_e) = 78,9 \cdot (51,4 + 6,7) = 4588 \text{ Па.}$$

4) Визначаємо втрати тиску по кожній ділянці головної розрахункової магістралі К7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1 (згідно пункту 3) та знаходимо їх суму:

$$\Delta p_{K7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1} = \Delta p_{K7-1} + \Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-8} + \Delta p_{8-ж.б.1} = 65856 \text{ Па}$$

5) Наступним етапом виконується гідравлічний розрахунок відгалужень, діаметр трубопроводів задаємо так, щоб виконати рівність втрат тиску в паралельних ділянках та розраховуючи втрати тиску згідно пункту 3.

Для відгалуження 1-9-10-11-12-13-14-15-16-ж.б.1.:

$$\Delta p_{1-9-10-11-12-13-14-15-16-ж.б.1} = \Delta p_{1-2} + \Delta p_{2-3} + \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-8} + \Delta p_{8-ж.б.1} = 61267 \text{ Па. Нев'язка } 0,1\%.$$

Для відгалуження 9-17-18-19-ж.б.2.:  $\Delta p_{9-17-18-19-ж.б.2} = \Delta p_{9-10} + \Delta p_{10-11} + \Delta p_{11-12} + \Delta p_{12-13} + \Delta p_{13-14} + \Delta p_{14-15} + \Delta p_{15-16} + \Delta p_{16-ж.б.1} = 54745 \text{ Па. Нев'язка } 0,6\%.$

Для відгалуження 3-20-21-ж.б.1.:

$$\Delta p_{3-20-21-ж.б.1} = \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-8} + \Delta p_{8-ж.б.1} = 46184 \text{ Па. Нев'язка } 45,8\%$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

б) Якщо різниця тисків відгалуження і головної магістралі більша 10%, то потрібно вмонтувати діафрагму. В цьому випадку на відгалуженні 3-20-21-житл.б.1 різниця тисків дорівнює 45,8%.

Діаметр діафрагми становитиме:

$$d = 11.3 * \sqrt{\frac{G}{\sqrt{\Delta P_{\text{гол}} - \Delta P_{\text{відг.}}}}} \quad (2.9.1)$$

Де, G – витрата теплоносія на діафрагмі-шайбі, т/год,

$\Delta p$  – втрати тиску на діафрагмі, м.вод.ст.

$$d = 10 * \sqrt{\frac{15,6}{\sqrt{4,62 - 3,17}}} = 36 \text{ мм.}$$

Після розрахунку діафрагма встановлюється на ділянці 3-20.

Таблиця 2.9.2 – Гідравлічний розрахунок теплової мережі в мікрорайоні К7

№ ділянки	Витрата, тон/год	D хδ, мм	Довжина ділянки, м			R, Па/м	V, м/с	Rl, Па
			за планом	еквівалентна	приведена			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Головна розрахункова магістраль К7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1</b>								
<b><math>\Delta p_{\text{К7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1}} = 65856 \text{ Па}</math></b>								
К7-1	142,6	219х6	51,4	6,7	58,1	78,9	1,18	4588
1-2	66,3	159х4,5	87	27,0	114,0	92,8	1,04	10582
2-3	53,6	159х4,5	50	24,1	74,1	60,7	0,84	4502
3-4	38,0	133х4	121,7	19,2	140,9	79,4	0,86	11187
4-5	25,2	133х4	99,3	21,3	120,6	35,3	0,57	4252
5-6	20,3	108х4	131,3	6,1	137,4	73,4	0,72	10081
6-7	15,2	89х4	50,5	11,2	61,7	124,6	0,82	7681
7-8	10,2	89х4	49,5	11,1	60,6	55,7	0,55	3375
8-ж.б.1	5,1	57х3	57,7	3,3	61,0	157,4	0,69	9607
<b><math>\Delta p_{\text{К7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1}} =</math></b>								<b>65856</b>
<b>Відгалуження 1-9-10-11-12-13-14-15-16-ж.б.1.</b>								
<b><math>\Delta p_{\text{1-9-10-11-12-13-14-15-16-ж.б.1}} = \Delta p_{\text{1-2}} + \Delta p_{\text{2-3}} + \Delta p_{\text{3-4}} + \Delta p_{\text{4-5}} + \Delta p_{\text{5-6}} + \Delta p_{\text{6-7}} + \Delta p_{\text{7-8}} + \Delta p_{\text{8-ж.б.1}} = 61267 \text{ Па.}</math></b>								
<b>Нев'язка 0,1%</b>								
1-9	76,1	159х4,5	26	27,0	53,0	122,0	1,20	6467
9-10	40,5	133х4	50,4	21,4	71,8	90,1	0,92	6470
10-11	35,5	133х4	23,4	10,3	33,7	69,5	0,80	2341
11-12	30,5	133х4	57,1	19,1	76,2	51,2	0,69	3904

12-13	25,4	108x4	20,8	14,5	35,3	114,4	0,90	4040
13-14	20,3	108x4	45,3	16,2	61,5	73,4	0,72	4512
14-15	15,2	89x4	20	3,9	23,9	124,6	0,82	2976
15-16	10,2	76x3	85,4	6,0	91,4	119,3	0,73	10910
16-ж.б.1	5,1	57x3	120,4	4,1	124,5	157,4	0,69	19591
$\Delta p_{1-9-10-11-12-13-14-15-16-ж.б.1} =$								61212
<b>Відгалуження 9-17-18-19-ж.б.2.</b> $\Delta p_{9-17-18-19-ж.б.2} = \Delta p_{9-10} + \Delta p_{10-11} + \Delta p_{11-12} + \Delta p_{12-13} + \Delta p_{13-14} + \Delta p_{14-15} + \Delta p_{15-16} + \Delta p_{16-ж.б.1} = 54745 \text{ Па.}$ <b>Нев'язка 0,6%</b>								
9-17	35,6	108x4	145,4	16,3	161,7	224,8	1,26	36339
17-18	30,6	108x4	34,1	6,8	40,9	165,5	1,08	6765
18-19	17,8	108x4	76,2	14,5	90,7	56,6	0,63	5135
19-ж.б.2	12,7	89x4	71	7,2	78,2	87,5	0,69	6843
$\Delta p_{9-17-18-19-ж.б.2} =$								55083
<b>Відгалуження 3-20-21-ж.б.1.</b> $\Delta p_{3-20-21-ж.б.1} = \Delta p_{3-4} + \Delta p_{4-5} + \Delta p_{5-6} + \Delta p_{6-7} + \Delta p_{7-8} + \Delta p_{8-ж.б.1} = 46184 \text{ Па.}$ <b>Нев'язка 0,0%</b>								
3-20	15,6	76x3	38,7	4,3	43,0	281,2	1,13	12104
диафраг.	15,6	36	мм					14508
20-21	10,7	76x3	43,3	3,2	46,5	132,2	0,77	6155
21-ж.б.1	5,1	57x3	79	6,2	85,2	157,4	0,69	13417
$\Delta p_{3-17-18-19-ж.б.2} =$								46184

Таблиця 2.9.4. Визначення Re,  $\lambda$ , R в Excel

№ ділянки	Витрата, т/год	D хд, мм	Довжина ділянки, м			R, Па/м	v, м/с	Rl, Па	двн, м	Re	$\lambda$	Витрата, кг/с
			за планом	еквівал.	приведена							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Головна розрахункова магістраль К7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1</b> $\Delta p_{K7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1} = 65856 \text{ Па}$												
K7-1	142,6	219x6	51,4	6,7	58,1	78,9	1,18	4588	0,207	791735	0,0246	39,6
1-2	66,3	159x4,5	87	27,0	114,0	92,8	1,04	10582	0,15	508498	0,02669	18,43
2-3	53,6	159x4,5	50	24,1	74,1	60,7	0,84	4502	0,15	410827	0,02675	14,89
3-4	38,0	133x4	121,7	19,2	140,9	79,4	0,86	11187	0,125	349299	0,02799	10,55
4-5	25,2	133x4	99,3	21,3	120,6	35,3	0,57	4252	0,125	232094	0,02815	7,01
5-6	20,3	108x4	131,3	6,1	137,4	73,4	0,72	10081	0,1	233418	0,02966	5,64
6-7	15,2	89x4	50,5	11,2	61,7	124,6	0,82	7681	0,081	216128	0,03121	4,23
7-8	10,2	89x4	49,5	11,1	60,6	55,7	0,55	3375	0,081	144085	0,03140	2,82
8-ж.б.1	5,1	57x3	57,7	3,3	61,0	157,4	0,69	9607	0,051	114421	0,03512	1,41
$\Delta p_{K7-1-2-3-4-5-6-7-8-ж.б.1} =$								65856				

					<b>401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ</b>					Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

## 2.10 Побудова графіку тиску в закритій тепловій мережі

На основі результатів гідравлічного розрахунку будують графік тиску теплової мережі.

Порядок побудови графіка тиску наступний:

- Необхідно вибрати горизонтальний та вертикальний масштаби та нанести рельєф місцевості траси та відгалуджень;
- В місці розміщення джерела теплоти відкладаємо вертикально вгору 0,05 МПа, отримуємо точку А;
- Від точки А відкладаємо вертикально вгору втрати тиску у зворотньому трубопроводі на ділянці К-1 і будуємо точку В;
- Від точки В відкладаємо вертикально вгору втрати тиску на ділянці 1-2 і будуємо точку С, і т.д.

Після побудови графіку необхідно перевірити, чи виконуються наступні умови:

- умова не закипання (тиск в подаючому трубопроводі повинен бути вищим, ніж тиск закипання);
- умова збереження міцності нагрівальних приладів системи опалення ( тиск в системі опалення не повинен перевищувати 0,6 МПа;
- умова відсутності вакууму на вході в мережеві насоси (тиск у зворотньому трубопроводі теплової мережі повинен бути не нижче 0,05 МПа).

Графік тиску наведено на аркуші 3 (А3) графічної частини дипломного проекту.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.11 Тепловий розрахунок

Розрахунок товщини теплової ізоляції виконується для ділянки ТЕЦ-1 (рис.7), діаметр якої становить 159 мм.

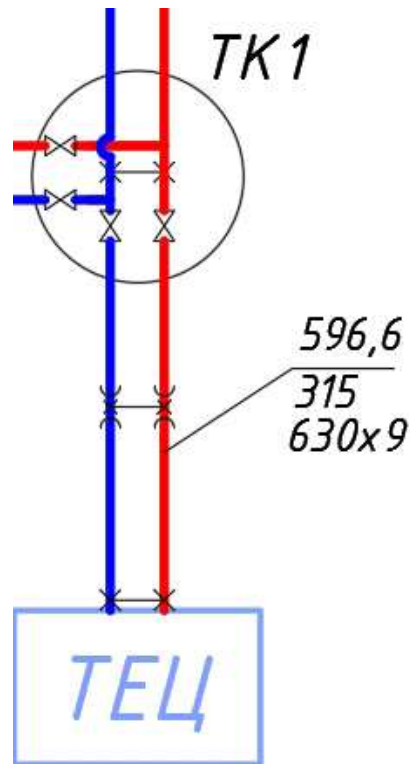


Рис.2.11.1 Ділянка теплової мережі ТЕЦ-1

Метою теплового розрахунку ізоляційних конструкцій є визначення:

- втрат тепла під час його транспортування;
- товщини теплової ізоляції;
- величини зменшення температури вздовж траси трубопроводу;
- температури зовнішньої поверхні ізоляційної конструкції, а також температурного поля навколо трубопроводу (визначення температури ґрунту, повітря в каналі, стінок каналу).

Вихідними даними для теплового розрахунку є температура теплоносія, теплофізична характеристика та товщина шарів теплоізоляційної конструкції, температура навколишнього середовища.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

[5] Теплові мережі: ДБН В.2.5-39:2008. п.13.6 При визначенні теплових втрат трубопроводами розрахункову температуру теплоносія для подавальних теплопроводів водяних теплових мереж слід приймати:

- за постійної температури мережної води та кількісному регулюванні - максимальну температуру теплоносія;
- за змінної температури мережної води та якісному регулюванні - середньорічну температуру теплоносія ПО °С за температурним графіком регулювання 180-70 °С; 90 °С- при 150-70 °С; 65 °С - при 130-70 °С, 55 °С - при 95-70 °С і 45 °С - при 80-50 °С.

Середньорічну температуру для зворотних трубопроводів водяних теплових мереж слід приймати 50°С.

Вибирати товщину теплоізоляційних виробів із ущільнювальних матеріалів слід за нормативними документами з урахуванням кліматичних даних місцевості будівництва, вартості теплоізоляційної конструкції і теплової енергії (додаток Е).

#### 12.11.1 ГРАНИЧНІ ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ ТРУБОПРОВОДІВ

Зовнішній діаметр сталевих труб, мм	Спосіб прокладання трубопроводів			
	надземний	у тунелі		у непрохідному каналі
	Граничні товщини теплоізоляційного шару, мм, за температури, °С			
	20 і більше	20 і більше	до 150 включно	151 і більше
18	80	80	50	60
25	120	100	60	80
32	140	100	80	100
45	140	100	80	100
57	150	120	90	120
76	160	140	90	140
89	170	160	100	140
108	180	160	100	160
133	200	160	100	160
159	220	160	120	180
219	230	180	120	200
273	230	180	120	200
325	240	200	120	200
377	240	200	120	200
426	250	220	140	220
476	250	220	140	220
530	260	220	140	220
630	280	240	140	220
720	280	240	140	220
820	300	240	140	220
920	300	260	140	220
1020 і більше	320	260	140	220

**Примітка.** У випадках, коли розрахункова товщина ізоляції більше граничної, слід приймати більш ефективний теплоізоляційний матеріал та обмежитися граничною товщиною теплової ізоляції, якщо це допустимо за умовами технологічного процесу.

Вихідними даними для теплового розрахунку є температура теплоносія, теплофізична характеристика та товщина шарів теплоізоляційної конструкції, температура навколишнього середовища.

## НОРМИ ЩІЛЬНОСТІ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ЧЕРЕЗ ІЗОЛЮВАНУ ПОВЕРХНУ ТРУБОПРОВІДІВ ДВУХТРУБНИХ ВОДЯНИХ МЕРЕЖ ПРИ ПРОКЛАДЖЕННІ У НЕПРОХІДНИХ КАНАЛАХ (СНиП 2.04.14)

Таблиця 12.11.2

НОРМИ ЩІЛЬНОСТІ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ПРИ ЧИСЛІ ГОДИНИ РОБОТИ НА РІК БІЛЬШ НІЖ 5000 ГОД, Вт/м

Умов- ний прохід Трубо- про- воду, мм	Трубопровід					
	пода- вал.	звор.	пода- вал.	звор.	пода- вал.	звор.
	Середньорічна температура теплоносія, °С					
25	16	11	23	10	28	9
30	17	12	24	11	30	10
40	18	13	26	12	32	11
50	20	14	28	13	35	12
65	23	16	34	15	40	13
80	25	17	36	16	44	14
100	28	19	41	17	48	15
125	31	21	42	18	50	16
150	32	22	44	19	55	17
200	39	27	54	22	68	21
250	45	30	64	25	77	23
300	50	33	70	28	84	25
350	55	37	75	30	94	26
400	58	38	82	33	101	28
450	67	43	93	36	107	29
500	68	44	98	38	117	32
600	79	50	109	41	132	34
700	89	55	126	43	151	37
800	100	60	140	45	163	40
900	106	66	151	54	186	43
1000	117	71	158	57	192	47
1200	144	79	185	64	229	52
1400	152	82	210	68	252	56

Розрахунок товщини ізоляції проводять [20, п. 3.1]:

- за нормативною щільністю теплового потоку крізь ізолювану поверхню теплопроводу (за унормованими тепловтратами);
- за заданою величиною зменшення температури теплоносія. Забезпечити задану температуру теплоносія в окремих точках теплової мережі необхідно для паропроводів з гарантованим подаванням перегрітої пари абонентам;
- за заданою кількістю конденсату в паропроводах;
- за заданою температурою на поверхні ізоляції. Якщо трубопровід прокладено



під підлогою, в службових приміщеннях, підвалах житлових будинків, то за умовами безпеки температура на його поверхні повинна становити не більше ніж 40°C [5, п. 13.7].

За розрахункову температуру навколишнього середовища приймають:

- температуру повітря в прохідних каналах і тунелях не більше ніж 40°C [5, п. 13.14];
- для трубопроводів прокладених в межах службових приміщень, технічного простору під підлогою, підвалів житлових будинків 20°C [5, п. 13.7];
- для надземного прокладання — середню температуру зовнішнього повітря впродовж року або середню температуру зовнішнього повітря опалювального сезону — для мереж, які працюють лише в опалювальний період [20, п. 3.9];
- для підземного прокладання в каналах і безканального — середню температуру ґрунту на глибині прокладання осі трубопроводу [20, п. 3.9].

Теплофізичні характеристики матеріалів теплоізоляційної конструкції приймають згідно з СНиП 2.04.14-88 [20, дод. 1-3].

Питомі втрати тиску крізь поверхню трубопроводу визначають за формулою, Вт/м:

$$q = \frac{\tau - t_{\text{зов}}}{R_{\text{tot}}},$$

де  $\tau$  - температура теплоносія, °C;  $t_{\text{зов}}$  - температура навколишнього середовища, °C;  $R_{\text{tot}}$  - повний термічний опір трубопроводу, м·К/Вт.

Найбільш складним є тепловий розрахунок для каналного прокладання двотрубною мережі. В цьому випадку тепловий потік (тепловтрати) від кожного з трубопроводів поступає в канал, а потім відводиться крізь стінки каналу і ґрунт. Тому трубопроводи розраховують як для випадку надземного прокладання, але за температуру навколишнього середовища приймають температуру повітря в каналі, а сам канал — як для випадку однострубного безканального прокладання, але замість температури теплоносія приймають ту ж таки температуру повітря в каналі.

Тоді повний термічний опір такої конструкції становитиме, м·К/Вт:

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$R_{tot} = R_{iz} + R_{ни} + R_{зов} + R_{нк} + R_{ск} + R_{зр},$$

де  $R_{iz}$  - термічний опір ізоляційного шару, м·К/Вт, з внутрішнім діаметром  $d_{iz}^{вн} = d$  і зовнішнім діаметром  $d_{iz}^{зов}$ . Зовнішній діаметр ізоляційного шару можна розрахувати, знаючи зовнішній діаметр трубопроводу,  $d$ , і товщину ізоляційного шару  $\delta_{iz}$ , м:  $d_{iz}^{зов} = d + 2 \cdot \delta_{iz}$ ;

$R_{ни}$  - термічний опір покривного шару, м·К/Вт, з внутрішнім діаметром  $d_{ни}^{вн} = d_{iz}^{зов}$  і зовнішнім діаметром  $d_{ни}^{зов} = d_{ни}^{вн} + 2 \cdot \delta_{ни}$ ;

$R_{зов}$  - опору теплопередачі зовнішньої поверхні ізоляції

Термічний опір циліндричної поверхні  $R_{вн}$  або  $R_{зов}$  дорівнює:

$$R_{нов} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha}, \alpha - \text{коефіцієнт тепловіддачі або теплосприйняття, Вт/(м}^2\cdot\text{°C)},$$

$\pi \cdot d$  - довжина кола, або площа поверхні 1 м довжини труби, м.

$R_{нк}$ ,  $R_{ск}$  - відповідно, опір теплосприйняття внутрішньої поверхні стінки каналу і термічний опір стінки каналу, м·К/Вт. Для розрахунку цих величин за формулами (126) і (129), відповідно, розраховують еквівалентний діаметр, м:

- внутрішній

$$d_{екв}^{вн} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b};$$

- зовнішній

$$d_{екв}^{зов} = \frac{2 \cdot A \cdot B}{A + B},$$

де  $a$  і  $b$  — внутрішні розміри прямокутного каналу, м;  $A$  і  $B$  - зовнішні розміри прямокутного каналу, м.

Термічний опір стінки трубопроводу, ізоляційного, покривного та інших шарів, обмежених циліндричними поверхнями з внутрішнім діаметром  $d^{вн}$  і зовнішнім

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$d^{306H}$ , м, знаходять з основного рівняння теплопередачі в циліндричних об'єктах [20, п. 3.3;], м·К/Вт:

$$R_{ш} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ш}} \cdot \ln \frac{d^{306}}{d^{6H}},$$

де  $\lambda_{ш}$  - теплопровідність сухого матеріалу шару конструкції, Вт/(м·К). Теплопровідність основного шару теплоізоляції підземних безканалєвих трубопроводів визначають за формулою [20, п. 3.11], Вт/(м·К):

$$\lambda_{ш}' = \lambda_{ш} \cdot K,$$

де  $K$  - коефіцієнт зволоження, який враховує збільшення теплопровідності вологого матеріалу, приймають за [36, табл. 3].

Якщо відомі теплофізичні характеристики ізоляційного матеріалу та опір шару ізоляції, то з врахуванням формули (128) із формули (129) знаходять необхідну товщину ізоляційного шару, м:

$$\delta_{із} = \frac{d}{2} \cdot (\exp(2 \cdot \pi \cdot \lambda_{із} \cdot R_{із}) - 1).$$

Якщо відношення зовнішнього діаметра ізоляції  $d_{із}^{306}$  до зовнішнього діаметра труби  $d$  ( $d = d_{із}^{6H}$ ) позначити літерою  $B$ :

$$B = \frac{d_{із}^{306}}{d},$$

то формулу (133) можна записати так, м:

$$\delta_{із} = \frac{d}{2} \cdot (B - 1).$$

Для визначення товщини ізоляційного шару циліндричних об'єктів діаметром менше ніж 2 м [20, п. 3.2] рекомендована формула СНиП 2.04.14-88. Величину  $B$  визначають так [36, п. 3.2]:

$$\ln B = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{із} \cdot \left( R_{tot} - R_{тр} - \frac{1}{\alpha_{306} \cdot \pi \cdot (d + 0.1)} \right),$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

а, якщо розрахунок виконують за заданою температурою на поверхні ізоляції, то за формулою [20, п. 3.4]:

$$B \ln B = \frac{2 \cdot \lambda_{i3} \cdot (\tau - t_{i3})}{\alpha_{306} \cdot d \cdot (t_{i3} - t_{306})}$$

Товщину ізоляційного шару визначають із врахуванням усіх термічних опорів шарів теплоізоляційної конструкції, а також ґрунту, каналу і взаємного впливу трубопроводів [20, прим, до п. 3.2].

Термічний опір ґрунту визначають за формулою, м·К/Вт:

$$R_{ep} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ep}} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot h}{d_{ни}^{306}} + \sqrt{\left( \frac{2 \cdot h}{d_{ни}^{306}} \right)^2 - 1} \right),$$

де  $h$  - заглиблення від поверхні ґрунту до осі трубопроводу, м;

$\lambda_{ep}$  - теплопровідність ґрунту, Вт/(м·К).

Якщо  $\frac{h}{d_{ни}^{306}} \geq 2$ , то термічний опір ґрунту можна розрахувати за спрощеною

формулою, м·К/Вт:

$$R_{ep} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ep}} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot h}{d_{ни}^{306}} \right).$$

Для ділянки ТЕЦ-1 Ø630x9 визначити товщину теплової ізоляції для двотрубної мережі, яку прокладено в каналі Л21-12 внутрішнім розміром (1840x1200мм) рис.2.11.2.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

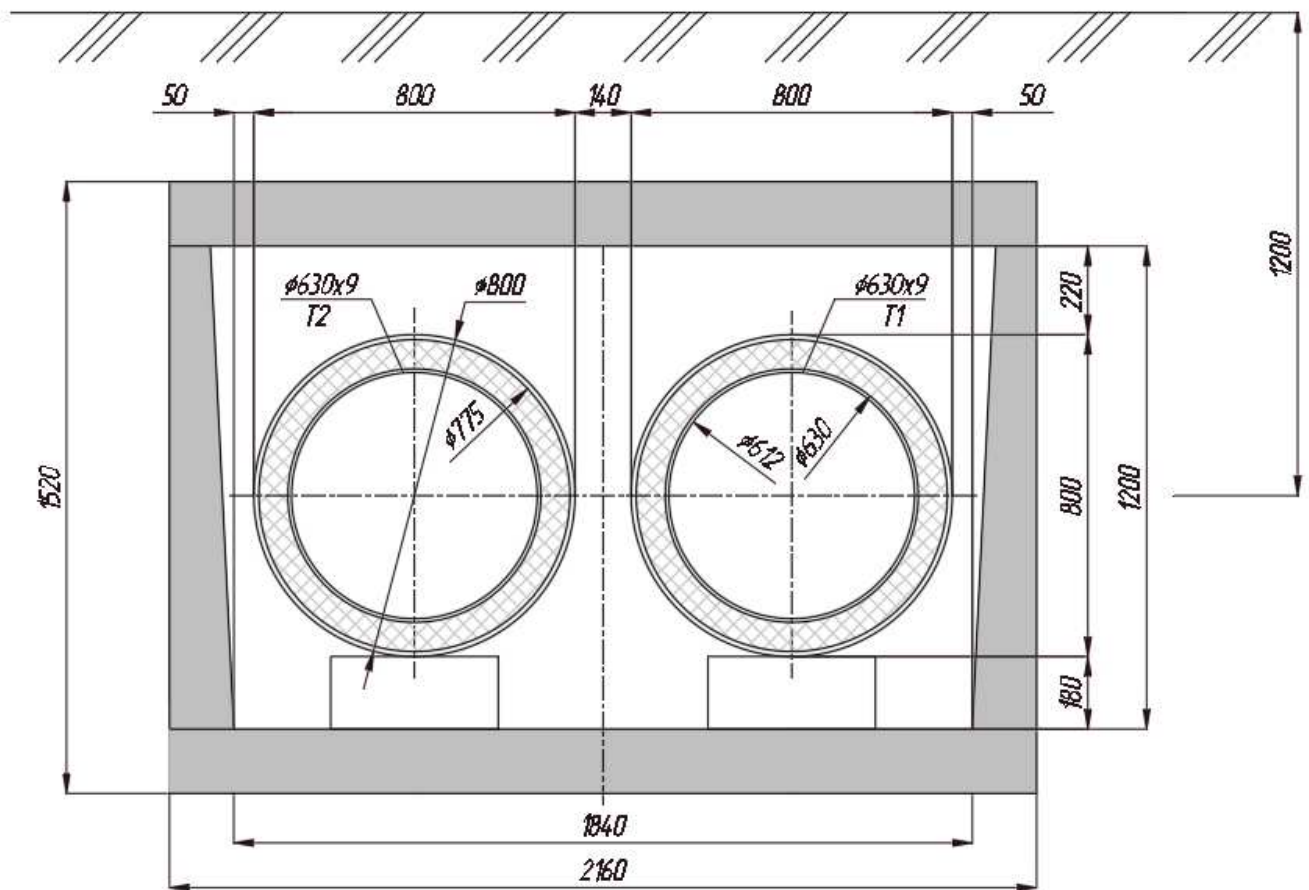


Рис.2.11.2 Схема двотрубної теплової мережі на ділянці ТЕЦ-1

При температурному графіку 150-70°C середньорічна температура води в подавальному трубопроводі  $\tau_1 = 90^\circ\text{C}$ , в зворотньому трубопроводі -  $\tau_2 = 50^\circ\text{C}$ .

Нормовану щільність теплового потоку крізь ізольовану поверхню трубопроводу, який прокладений в непрохідних каналах [20, дод.7, табл.2] або табл.12.11.2.

$q_1 = 109$  Вт/м для подавального трубопроводу з температурою теплоносія  $\tau_1 = 90^\circ\text{C}$ ;

$q_2 = 41$  Вт/м для зворотнього трубопроводу з температурою теплоносія  $\tau_2 = 50^\circ\text{C}$ .

Канал влаштований в суглинністому ґрунті з густиною 1200 кг/м<sup>3</sup>. Середньорічна температура ґрунту  $t_{\text{ср}} = +5^\circ\text{C}$ .

В якості ізоляції прийнята ізоляція з пінополіурітану  $\lambda_{\text{із}} = 0,035$  Вт/(м·°C),

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\rho_{из} = 80$  кг/м<sup>3</sup> з поліетиленовою захисною оболонкою  $\delta_{ми} = 0,012$  м,  
 $\lambda_{ми} = 0,43$  Вт/(м·°C),  $\rho_{ми} = 945$  кг/м<sup>3</sup>.

Повний термічний опір теплоізоляційної конструкції для кожного трубопроводу (подавального та зворотного), (м·К)/Вт:

$$R_{tot1} = \frac{\tau_1 - t_{зоб}}{q_1} = \frac{90 - 5}{109} = 0,78 \text{ м·К/Вт};$$

$$R_{tot2} = \frac{\tau_2 - t_{зоб}}{q_2} = \frac{50 - 5}{41} = 1,1 \text{ м·К/Вт}.$$

Прийнято коефіцієнт тепловіддачі для труб прокладених в каналах  $\alpha_{зоб} = 8$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) [20, дод.9, прим.1], тоді для подавального трубопроводу:

$$\ln B_1 = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из1} \cdot \left( R_{tot1} - \frac{1}{\alpha_{зоб} \cdot \pi \cdot (d + 0.1)} \right) =$$

$$2 \cdot 3,14 \cdot 0,035 \cdot \left( 0,78 - \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot (0,63 + 0.1)} \right) = 0,159'$$

З цього  $B_1 = 1,17$ .

для зворотнього трубопроводу:

$$\ln B_2 = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из2} \cdot \left( R_{tot2} - \frac{1}{\alpha_{зоб} \cdot \pi \cdot (d + 0.1)} \right) =$$

$$2 \cdot 3,14 \cdot 0,035 \cdot \left( 1,1 - \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot (0,63 + 0.1)} \right) = 0,2298'$$

З цього  $B_2 = 1,26$ .

Товщина ізоляційного шару розраховується за формулою:

$$\delta_{из1} = \frac{d}{2} \cdot (B_1 - 1) = \frac{0,63}{2} \cdot (1,17 - 1) = 0,053;$$

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$\delta_{i32} = \frac{d}{2} \cdot (B_2 - 1) = \frac{0,63}{2} \cdot (1,26 - 1) = 0,082.$$

Приймаємо товщину ізоляції однаковою для трубопроводів Т1, Т2, як попередньоізольованих трубах ПП 630/800.  $\delta_{i31} = \delta_{i32} = 0,0725$  м.

Розраховуємо термічний опір ізоляції для трубопроводів Т1, Т2, (м·К)/Вт:

$$R_{i31} = R_{i32} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{i3}} \cdot \ln \frac{d_{i3}^{306}}{d_{i3}^{6H}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,035} \cdot \ln \frac{0,775}{0,63} = 0,94.$$

Термічний опір покривного шару для обох труб, (м·К)/Вт:

$$R_{ни} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ни}} \cdot \ln \frac{d_{ни}^{306}}{d_{ни}^{6H}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,43} \cdot \ln \frac{0,800}{0,775} = 0,012.$$

Термічний опір на поверхні обох трубопроводів, (м·К)/Вт:

$$R_{306} = \frac{1}{\pi \cdot d_{ни}^{306} \cdot \alpha} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 8} = 0,05.$$

Термічний опір кожного трубопроводу, (м·К)/Вт:

$$R_1 = R_2 = R_{i3} + R_{ни} + R_{306} = 0,94 + 0,012 + 0,05 = 1,002.$$

Також потрібно розрахувати опір теплопередачі каналу й ґрунту

Внутрішній еквівалентний діаметр каналу розрахований за формулою, м:

$$d_{екв}^{6H} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} = \frac{2 \cdot 1,84 \cdot 1,2}{1,84 + 1,2} = 1,45.$$

Зовнішній еквівалентний діаметр каналу розрахований за формулою, м:

$$d_{екв}^{306} = \frac{2 \cdot A \cdot B}{A + B} = \frac{2 \cdot 2,16 \cdot 1,52}{2,16 + 1,52} = 1,78.$$

Прийнято коефіцієнт тепло сприйняття внутрішньої поверхні каналу каналів

$\alpha_{нк} = 8$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [20, дод.9, прим.3], тоді термічний опір поверхні каналу, (м·К)/Вт:

$$R_{нк} = \frac{1}{\pi \cdot d_{екв}^{6H} \cdot \alpha_{нк}} = \frac{1}{3,14 \cdot 1,45 \cdot 8} = 0,027.$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Коефіцієнт теплопровідності залізобетону прийнято  $\lambda_{ск} = 1,92$  Вт/(м·°С) [21, дод.А]. Опір теплопередачі стінки каналу, (м·К)/Вт:

$$R_{ск} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ск}} \cdot \ln \frac{d_{ск}^{зов}}{d_{ск}^{вн}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,92} \cdot \ln \frac{1,78}{1,45} = 0,017.$$

Термічний опір ґрунту з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda_{зр} = 0,62$  Вт/(м·°С) [21, дод.А] розраховується за формулою, (м·К)/Вт:

$$R_{зр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{зр}} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot h}{d_{екв}^{зов}} + \sqrt{\left( \frac{2 \cdot h}{d_{екв}^{зов}} \right)^2 - 1} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,62} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot 1,2}{1,78} + \sqrt{\left( \frac{2 \cdot 1,2}{1,78} \right)^2 - 1} \right) = 0,21.$$

Термічний опір потоку тепла від повітря в каналі в ґрунт, (м·К)/Вт:

$$R_{кан} = R_{нк} + R_{ск} + R_{зр} = 0,027 + 0,017 + 0,21 = 0,254.$$

Для визначення дійсних втрат тепла обчислюється температура повітря всередині каналу за формулою, °С:

$$t_{кан} = \frac{\frac{\tau_1}{R_1} + \frac{\tau_2}{R_2} + \frac{t_{зов}}{R_{кан}}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{кан}}};$$

$$t_{кан} = \frac{\frac{90}{1,002} + \frac{50}{1,002} + \frac{5}{0,254}}{\frac{1}{1,002} + \frac{1}{1,002} + \frac{1}{0,254}} = 26,9.$$

Фактичні питомі втрати тепла подавальним і зворотнім трубопроводом визначаються за формулою, Вт/м:

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$q_1 = \frac{\tau_1 - t_{кан}}{R_1} = \frac{90 - 26,9}{1,002} = 62,9;$$

$$q_2 = \frac{\tau_2 - t_{кан}}{R_2} = \frac{50 - 26,9}{1,002} = 23,1.$$

Фактичні питомі втрати тепла подавальним і зворотнім трубопроводом менші нормованої щільності теплового потоку крізь ізольовану поверхню трубопроводу, який прокладений в непрохідних каналах  $q_1 = 109$  Вт/м та  $q_2 = 41$  Вт/м, тобто робимо висновок, що товщина теплової ізоляції достатня для таких умов прокладання.

Сумарні втрати обома трубопроводами, Вт/м:

$$q_{из} = q_1 + q_2 = 62,9 + 23,1 = 86.$$

У випадку коли трубопроводи неізольовані, то їх термічний опір дорівнював опору зовнішньої поверхні трубопроводу,  $(\text{м}\cdot\text{К})/\text{Вт}$ :

$$R_{неиз} = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha_{зов}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 8} = 0,063.$$

Температура повітря всередині каналу з неізольованими трубопроводами визначаємо, °С:

$$t_{кан} = \frac{\frac{\tau_1}{R_1} + \frac{\tau_2}{R_2} + \frac{t_{зов}}{R_{кан}}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{кан}}};$$

$$t_{кан}^{неиз} = \frac{\frac{90}{0,063} + \frac{50}{0,063} + \frac{5}{0,254}}{\frac{1}{0,063} + \frac{1}{0,063} + \frac{1}{0,254}} = 62,8.$$

Питомі втрати тепла неізольованими трубопроводом визначаються за формулою, Вт/м:

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{1неіз} = \frac{\tau_1 - t_{кан}^{неіз}}{R_{1неіз}} = \frac{90 - 62,8}{0,063} = 431,7;$$

$$q_{2неіз} = \frac{\tau_2 - t_{кан}^{неіз}}{R_{2неіз}} = \frac{50 - 62,8}{0,063} = -203,2.$$

Від'ємний тепловий потік вказує на те, що втрати тепла від зворотнього трубопроводу не будуть надходити в канал. Отже сумарний тепловий потік неізолюваних труб, Вт/м:

$$q_{неіз} = q_{1неіз} = 431,7.$$

Ефективність теплової ізоляції визначаємо за формулою:

$$\eta = \frac{q_{неіз} - q_{із}}{q_{неіз}} = \frac{431,7 - 86}{431,7} = 0,8.$$

## 2.12 Вибір будівельних конструкцій теплової мережі

### 2.12.1 Розрахунок П-подібного компенсатора

При нагріванні трубопровід теплової мережі видовжується. Для зменшення напруг та зусиль, що при цьому виникають передбачають осьову та радіальну компенсацію температурних видовжень. Осьову компенсацію виконують за допомогою осьових (сальникових чи лінзових) компенсаторів, радіальну – за допомогою П-подібних компенсаторів, кутів повороту трубопроводу, Z-подібних ділянок. Кути повороту рекомендується використовувати на самокомпенсацію при величині від 90 до 120°.

П-подібні компенсатори виготовляють із відводів і прямих ділянок за допомогою зварювання, використовуючи діаметр, товщину стінки та марку сталі труб, як і для ділянки, на якій встановлюється компенсатор.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

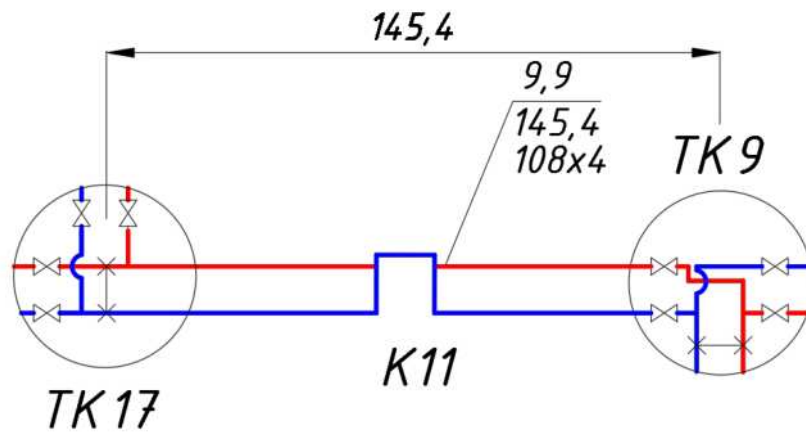


Рисунок 2.12.1– Схема встановлення П-подібного компенсатора на ділянці 9-17

Розрахунок П-подібного компенсатора згідно [5] полягає у визначенні його спинки В, м та вильоту Н, м.

Повне теплове видовження ділянки станове, мм:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot (\tau - t_{z.o.}),$$

$$\Delta l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 145,4 \cdot (150 - (-21)) \cdot 10^3 = 298,4 \text{ мм}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення сталі, що станове  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$l$  – довжина ділянки (відстань між нерухомими опорами), м;

$\tau$  – розрахункова температура теплоносія,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{z.o.}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ .

Розрахункове видовження ділянки обчислюється за формулою, мм:

$$\Delta l = \varepsilon \cdot \Delta l,$$

$$\Delta l = 0,5 \cdot 298,4 = 149,2 \text{ мм}$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт попереднього розтягування компенсатора, що залежить від розрахункової температури теплоносія  $\tau$  ( $\varepsilon = 0,5$  при  $\tau$  до  $250 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Задавшись спинкою  $V=2,5$  м по номограмі рис.2.12.2 визначаємо, що виліт компенсатора  $H=3,5$  м. Компенсуюча здатність компенсатора  $V=2,5$  м,  $H=3,5$  м буде складати 168 мм.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

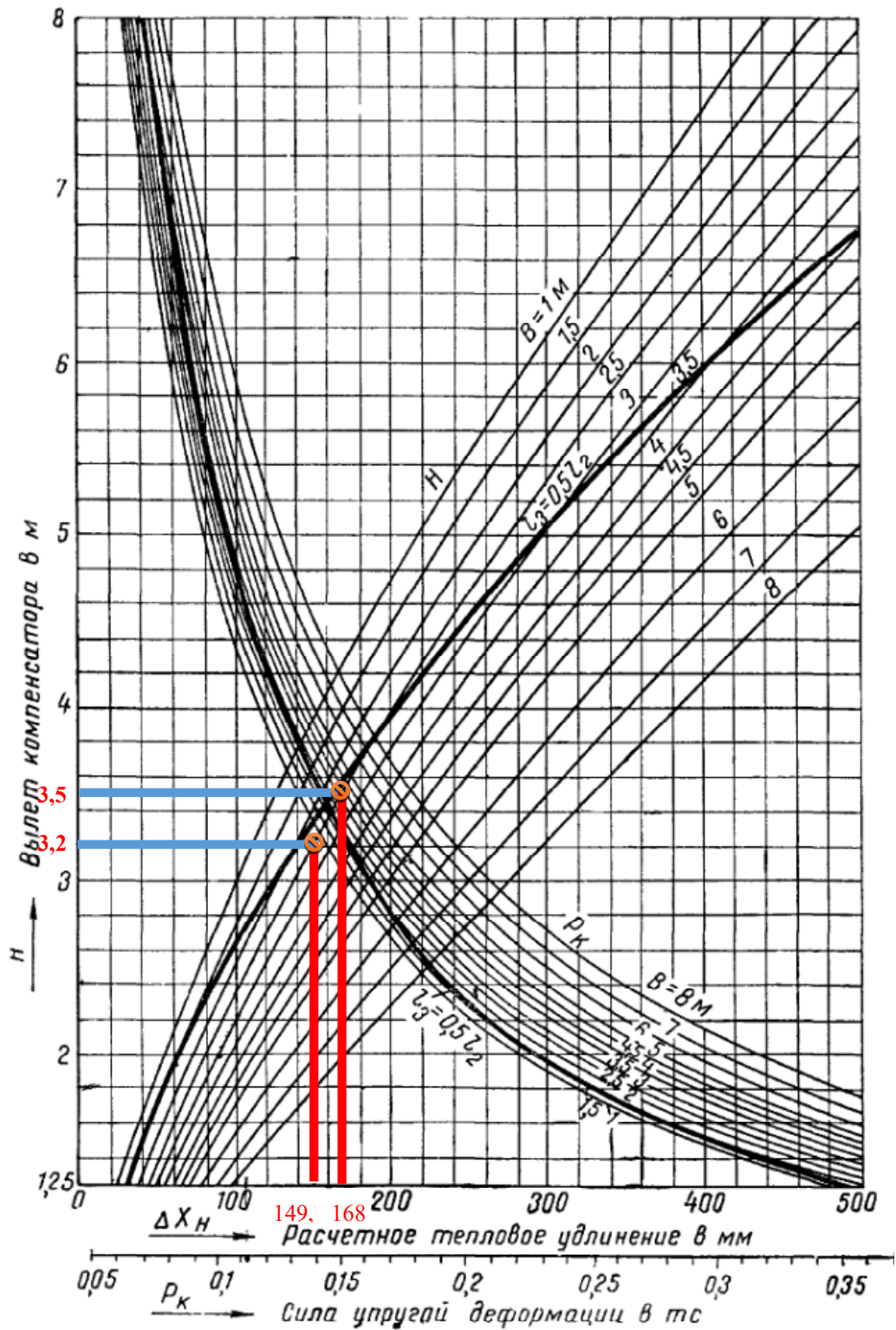


Рис 10.54. Номограмма для расчета П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами

$D_H = 108 \text{ мм}$ ;  $s = 4 \text{ мм}$ ;  $R = 500 \text{ мм}$ ,  $W = 32,8 \text{ см}^3$

Рисунок 2.12.2– Номограмма выбора П-подобного компенсатора на ділянці 9-17

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

65

## 2.12.2 Розрахунок Г-подібного компенсатора

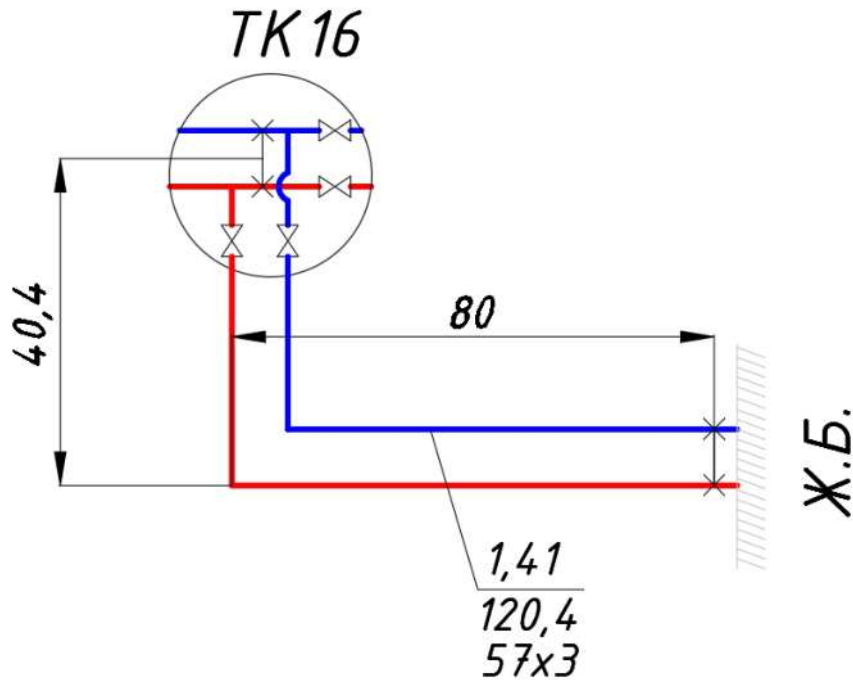


Рисунок 2.12.3 – Схема встановлення Г-подібного компенсатора  
(ділянка самокомпенсації 16-ж.б.1)

Розрахунковий кут компенсатора визначаю за такою формулою

$$\beta = 90 - 90 = 0^\circ$$

Відношення плеч компенсатора:

$$n = \frac{l_{\text{б}}, \text{м}}{l_{\text{м}}, \text{м}}$$

$$n = \frac{80}{40,4} = 1,98$$

де  $l_{\text{б}}$  - довжина більшого плеча ділянки;  $l_{\text{м}}$  - довжина меншого плеча ділянки компенсатора.

Розрахункова різниця температур:

$$\Delta t = 150 - (21) = 171^\circ \text{C}$$

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$\Delta L = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40,4 \cdot (150 - (-21)) = 0,0829 \text{ м.}$$

Основною метою самокомпенсації є визначення максимального напруження прогину, яке обчислюється за формулою для кутів 90°, МПа:

$$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta L \cdot E \cdot d \cdot (n + 1)}{l^2},$$

де  $\Delta L$  - теплове подовження короткого плеча, м;  $d$  - зовнішній діаметр труби, м;  $l$  - довжина короткого плеча, м;  $E$  - модуль поздовжньої пружності, МПа;

$n = \frac{l_{\sigma}}{l_m}$  - відношення довжин довгого плеча до короткого.

$$\sigma = \frac{1,5 \cdot 0,0829 \cdot 1,893 \cdot 10^5 \cdot 0,057 \cdot (1,98 + 1)}{40,4^2} = 2,45 \text{ МПа.}$$

Значення напруження прогину не більше ніж допустиме 106МПа. Тому даний кут повороту на ділянці 1—ж.б.1 можна використати для самокомпенсації.

### 2.12.3 Розрахунок сальникового компенсатора

Установку сальникових компенсаторів передбачують на ділянках трубопроводу з діаметром більше 100 мм (при підземній прокладці). Сальникові компенсатори, на відміну від П-та Г-подібних, вимагають обслуговування: в період експлуатації періодично виникає необхідність заміни або ущільнення сальникової набивки. Для обслуговування сальникових компенсаторів передбачені камери.

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

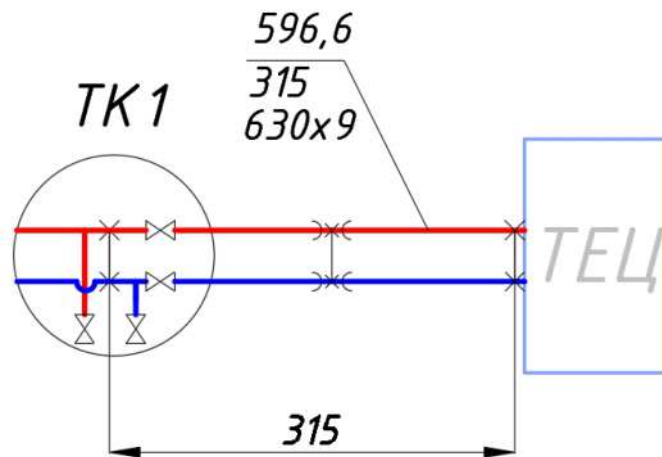


Рисунок 2.12.4 – Схема встановлення сальникова компенсатора на ділянці ТЕЦ-1

Для влаштування меншої кількості камер встановлюються двосторонні сальникові компенсатори, установка яких дешевша, ніж установка двох односторонніх.

Для прикладу розрахую двосторонній сальниковий компенсатор для ділянки ТЕЦ-1 діаметром 630 мм довжиною 315 м.

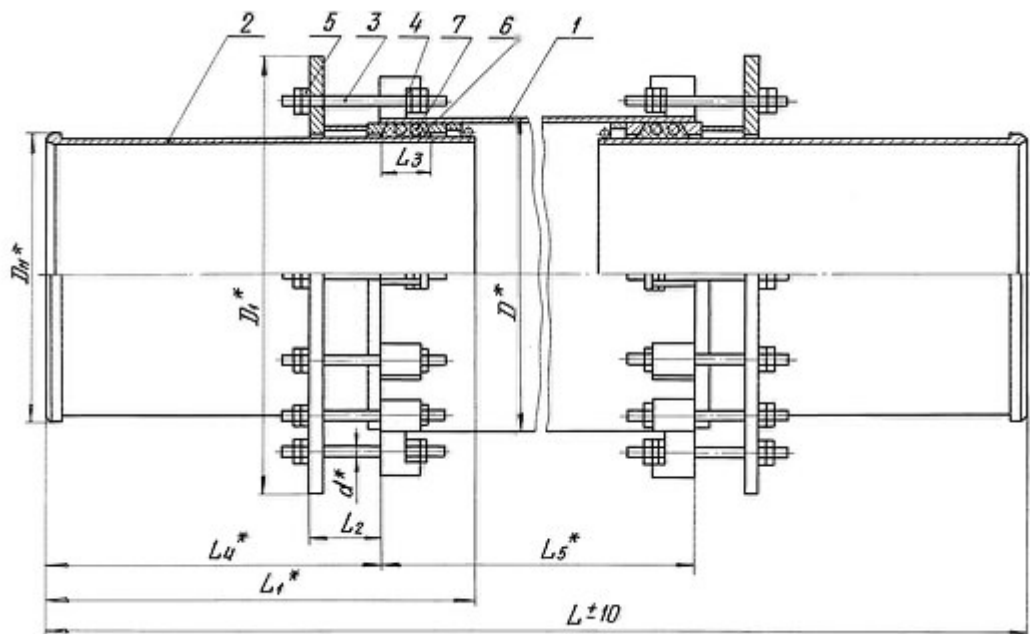


Рисунок 2.12.5 - Компенсатор сальниковий двосторонній без ущільнювального пристосування

поз.1-корпус, поз.2- патрубок у зборі, поз.3- шпилька, поз.4- пластина, поз.5 – гайка, поз.6, 7– ущільнення

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ		Арк.
							68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 2.12.1. Основні розміри компенсаторів двосторонніх по альбому серії 5.903-13 випуск 4

Позначення		Dy	Компенсаційна здатність, мм	Робочий тиск Ру, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Dн	D <sub>1</sub>		L	Вага, кг, не більш		
						Рис.1	Рис.2		Рис.1	Рис.2	
ТС-580.00.000	ТС-580.00.000 -29	100	240x2	2,5 (25)	108	200	400	1500	42	110	
-01	-30	125			133	220	420	1620	53	121	
-02	-31	150			159	290	520	1720	95	220	
-03	-32	200			190x2	219	360	580	2320	176	352
-04	-33				340x2				1720	212	386
-05	-34	250			190x2	273	420	630	1720	230	417
-06	-35				340x2				2320	279	468
07	-36	300			190 x2	325	470	670	1720	302	548
-08	-37				340 x2				2320	367	613
-09	-38	350			190 x2	377	530	720	1800	368	626
-10	-39				340 x2				2400	445	703
-11	-40	400			250x2	426	590	780	2230	516	826
-12	-41				450x2				3030	608	918
-13	-42	500			250x2	530	720	900	2230	723	1197
-14	-43				450x2				3030	850	1224
-15	-44	600			250x2	630	820	1000	2230	913	1368
-16	-45				450x2				3030	1077	1532
-17	-46	700			250x2	720	910	1090	2230	1122	1672
-18	-47				450x2				3030	1324	1874
-19	-48	800			250x2	820	1020	1190	2230	1390	1970
-20	-49		450x2	3030	1650				2230		
-21	-50	500	250x2	530	680	900	2230	612	960		
-22	-51		450x2				3030	730	1078		
-23	-52	600	250x2	630	780	1000	2230	730	1132		
-24	-53		450x2				3030	870	1272		
-25	-54	700	250x2	720	880	1090	2230	876	1382		
-26	-55		450x2				3030	1034	1540		
-27	-56	800	250x2	820	990	1190	2230	1113	1650		
-28	-57		450x2				3030	1325	1862		

Конструктивні характеристики сальникового компенсатора серії 5.903-13 вип.4:

A=3030 мм – довжина компенсатора;

$l_k = 450$  мм – максимальна компенсуюча здатність;

Розрахункове видовження компенсатора обчислюється за формулою:

$$\Delta l = \alpha \cdot l(\tau - t_{н.р}) \cdot 10^3,$$

$$\Delta l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 315 \cdot (150 - (-21)) \cdot 10^3 = 646 \text{ мм}$$

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						69



де  $a = 1,2 \cdot 10^{-5}$  – коефіцієнт лінійного розширення,  $l$  – довжина ділянки;  $\tau$  – максимальна температура теплоносія;  $t_{н.р.}$  – розрахункова температура навколишнього повітря, середня в період найхолоднішої п'ятиденки, °С.

Довжина встановлення компенсатора, мм, обчислюється за формулою:

$$L_{вст} = L - lk + \Delta l$$

$$L_{вст} = 3030 - 450 \cdot 2 + 646 = 2776 \text{ мм}$$

Для монтажу визначається монтажна довжина компенсатора:

$$L_m = L_{вст} - \alpha \cdot l \cdot (t_m - t_{н.р.}) \cdot 10^3$$

де  $t_m$  - температура повітря, при якій виконується монтаж компенсатора, яку приймаємо +20 °С.

$$L_m = 2776 - 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 315 \cdot (20 - (-21)) \cdot 10^3 = 2621 \text{ мм}$$

### 2.13 Підбір мережних та живильних насосів

Підбір мережних та живильних насосів виконується для міста та мікрорайону К7 з відомою забудовою.

Вибір насосів здійснюється по витраті води (подачі) та по тиску, який повинен розвивати насос (напір).

Подача мережних насосів дорівнює розрахунковій витраті теплоносія на виході із джерела тепла (ТЕЦ)  $G_{ТЕЦ-Г} = 596,6$  кг/с або 2147,76 м<sup>3</sup>/год

Тиск мережних насосів визначають по формулі, м вод.ст:

$$p_{м.н} = \Delta p_k + \Delta p_{под} + \Delta p_{зв} + \Delta p_{аб},$$

де  $\Delta p_k$  – втрати тиску в котельні, приймаються 5–10 м вод.ст.;

$\Delta p_{под}$  – втрати тиску в подаючому трубопроводі теплової мережі (з гідравлічного розрахунку  $\Delta p_{под} = \Delta p_{ТЕЦ-К9} + \Delta p_{К7-ж.б.1} = 15,3651 + 6,5856 = 21,95$  м);

$\Delta p_{аб}$  – втрати тиску у абонента, для опалювальних систем при залежному приєднанні з приймаються не менше 15 м вод. ст.;

$\Delta p_{зв}$  – втрати тиску у зворотному трубопроводі теплової мережі ( $\Delta p_{зв} = \Delta p_{под}$ ).

$$p_{м.н} = 5 + 21,95 + 21,95 + 15 = 63,9 \text{ м вод. ст.}$$

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатковий 10 %-ти відсотковий запас потужності насосу:

$$P_{с.н} = P_{м.н.} \cdot 1,1$$

$$P_{с.н} = 63,9 \cdot 1,1 = 70,29 \text{ м. вод. ст.}$$

Розрахунок мережного насосу:

$$\Delta P = S \cdot G^2$$

Звідси:

$$S = \frac{\Delta P}{G^2} \text{ - характеристика теплової мережі.}$$

$$S = \frac{70,29}{2147,76^2} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м.вод.ст./}(м^3/\text{год})^2$$

$$\Delta P = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000^2 = 15 \text{ м.вод.ст.}$$

$$\Delta P = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1500^2 = 33,75 \text{ м.вод.ст.}$$

$$\Delta P = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2500^2 = 93,75 \text{ м.вод.ст.}$$

$G, \text{ м}^3/\text{год}$	1000	1500	2500
$\Delta P, \text{ м.вод.ст.}$	15	33,75	93,75

Отже при витраті  $G=2147,76 \text{ м}^3/\text{год}$ , тиск становить  $\Delta P = 70,29 \text{ м}$   
Підбирається насос по витраті і тиску в мережі:

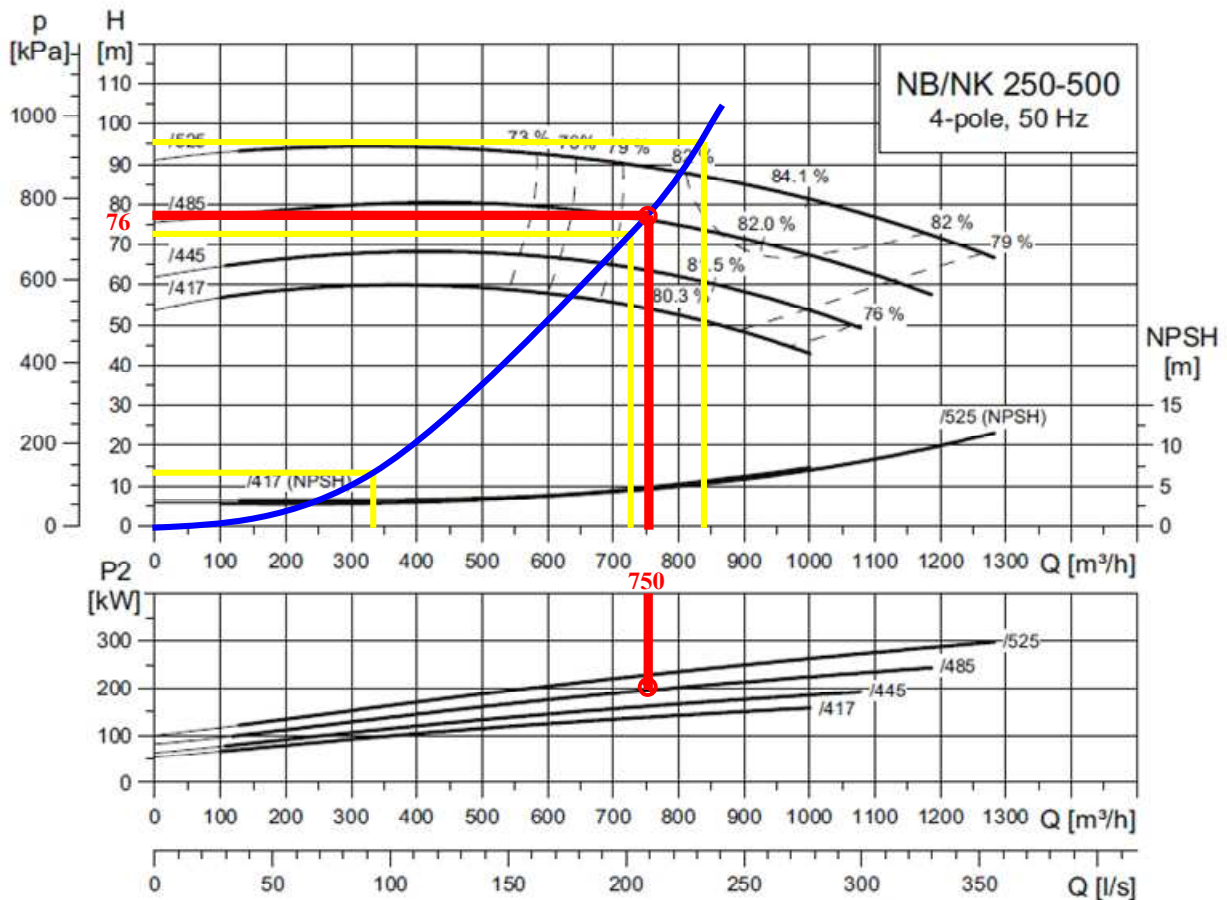


Рис.2.13.1 Діаграма робочих характеристик насосу NB/NK

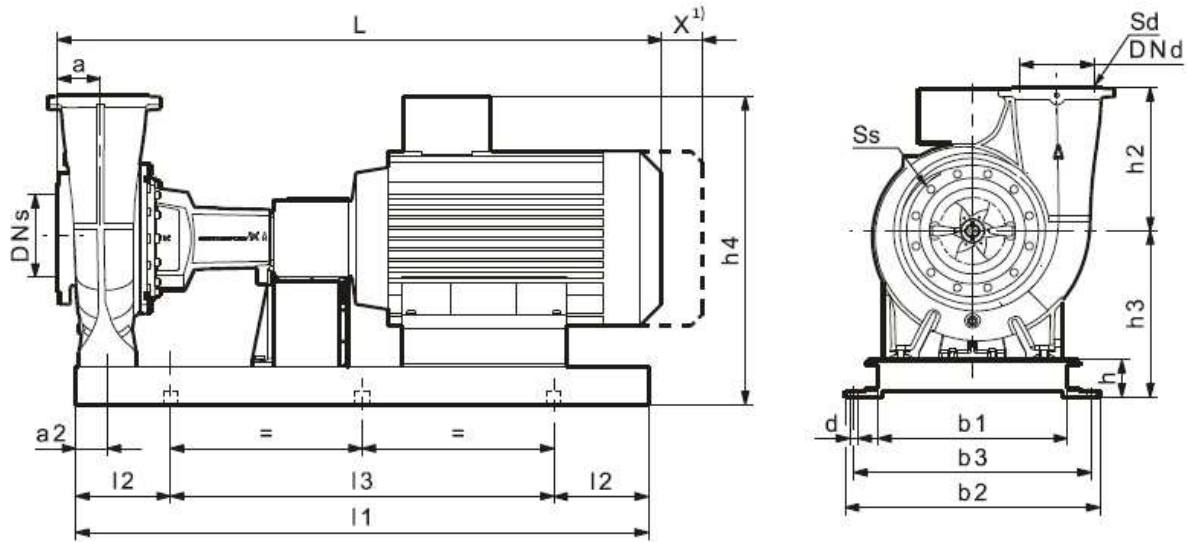


Рис.2.13.2 Габаритні креслення та технічні дані обраного насосу NK250-500/485

Таблиця.2.13.1 Технічні дані та розміри насосу NK250-500/485

Типорозмір насоса Колічність полюсів P2 [кВт]	Фактичний розмір рабочего колеса	Фланцы		Размеры НК [мм]														Рама- основание №1,3					
		PN	DN <sub>s</sub>	DN <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>	S <sub>d</sub>	a	a <sup>2</sup>	b1	b2	b3	d	h	h <sup>2</sup>	h <sup>3</sup>	h <sup>4</sup>	I1 <sup>1</sup>	I2 <sup>1</sup>	I3 <sup>1</sup>	L <sup>1</sup>		EN/ISO	С- образная
																				NK	NKE		
250-450	75	325	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1013/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1833/2009	-/-	10F/10 D	66/66s				
	90	341	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1013/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1943/2119	-/-	10F/10 D	66/66s				
	110	361	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1955/2131	-/-	10F/10 D	78/78s				
	132	381	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	2120/2296	-/-	10F/10 D	83/83s				
	160	401	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	2120/2296	-/-	10F/10 D	83/83s				
	200	445	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	2275/2451	-/-	10F/10 D	83/83s				
	18,5	313	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	895/-	1690/1880	330/330	1030/1220	1594/1770	-/-	10E/10 F	47/47s				
	22	325	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	895/-	1690/1880	330/330	1030/1220	1619/1795	-/-	10E/10 F	47/47s				
	30	357	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	918/-	1690/1880	330/330	1030/1220	1721/1897	-/-	10E/10 F	50/50s				
	37	377	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	990/-	1690/1880	330/330	1030/1220	1760/1936	-/-	10E/10 F	58/58s				
250-500	45	397	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1013/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1833/2009	-/-	10F/10 D	66/66s				
	55	433	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1013/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1723/1899	-/-	10F/10 D	66/66s				
	160	417	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	2125/2301	-/-	10F/10 D	83/83s				
	200	445	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	2280/2456	-/-	10F/10 D	83/83s				
	250	485	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1080/-	2110/2290	330/330	1450/1630	2280/2456	-/-	10D/10 G	98/98s				
	315	525	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1080/-	-/2290	-/330	-/1630	-/2600	-/-	-/10G	-/98s				
	45	409	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1013/-	1690/2110	330/330	1030/1450	1838/2014	-/-	10E/10 D	66/66s				
	55	437	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1013/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1726/1904	-/-	10F/10 D	66/66s				
	75	485	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	1960/2136	-/-	10F/10 D	78/78s				
	90	525	10 300	250 12x23	12x23	165	110	730 890	830 28	130	500 580	1100/-	1880/2110	330/330	1220/1450	2125/2301	-/-	10F/10 D	83/83s				

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

72

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

До установки приймаємо шість мережних насосів, три з яких резервні, типу Grundfos NK250-500/485 4-х полюсні P2=250 кВт.

### Підбір живильних насосів

Розрахункова витрата води для живлення закритої теплової мережі, м<sup>3</sup>/год, приймається рівною 0,75% об'єму води в системі тепlopостачання:

$$G_{жив} = \frac{0,75 \cdot V}{1000}$$

$$G_{жив} = \frac{0,75 \cdot 5258}{1000} = 3,9 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Звідси

$$V = \frac{Q_{роз} \cdot 50}{1,16}$$

$$V = \frac{122 \cdot 50}{1,16} = 5258 \text{ м}^3.$$

де –  $\Sigma Q_{роз}$  розрахункова витрата теплоти,  $Q_{роз} = 122$  МВт; (табл.2.2.1).

Напір живильних насосів визначається при побудові графіку тисків, для даного дипломного проекту приймаємо  $p_{жив} = 20$  м. вод. ст.

До установки приймаю два живильних насоси, один з яких резервний типу, що має наступні технічні характеристики:

Тип СМ 5-3

Кількість 1 шт.

Двигун 0.6 кВт

Витрата 4.281 м<sup>3</sup>/год. (+9%)

Напруга 24.08 м (+18%)

Потужність P1 0.648 кВт

Потужність P2 0.532 кВт

ККД насоса 52.7 %

ККД агрегату 43.3 % = ККД насоса \* ККД електродвигуна

Споживання електроенергії 3006 кВт-год./Рік

Вартість життєвого циклу 15456 € /15Років.

					401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

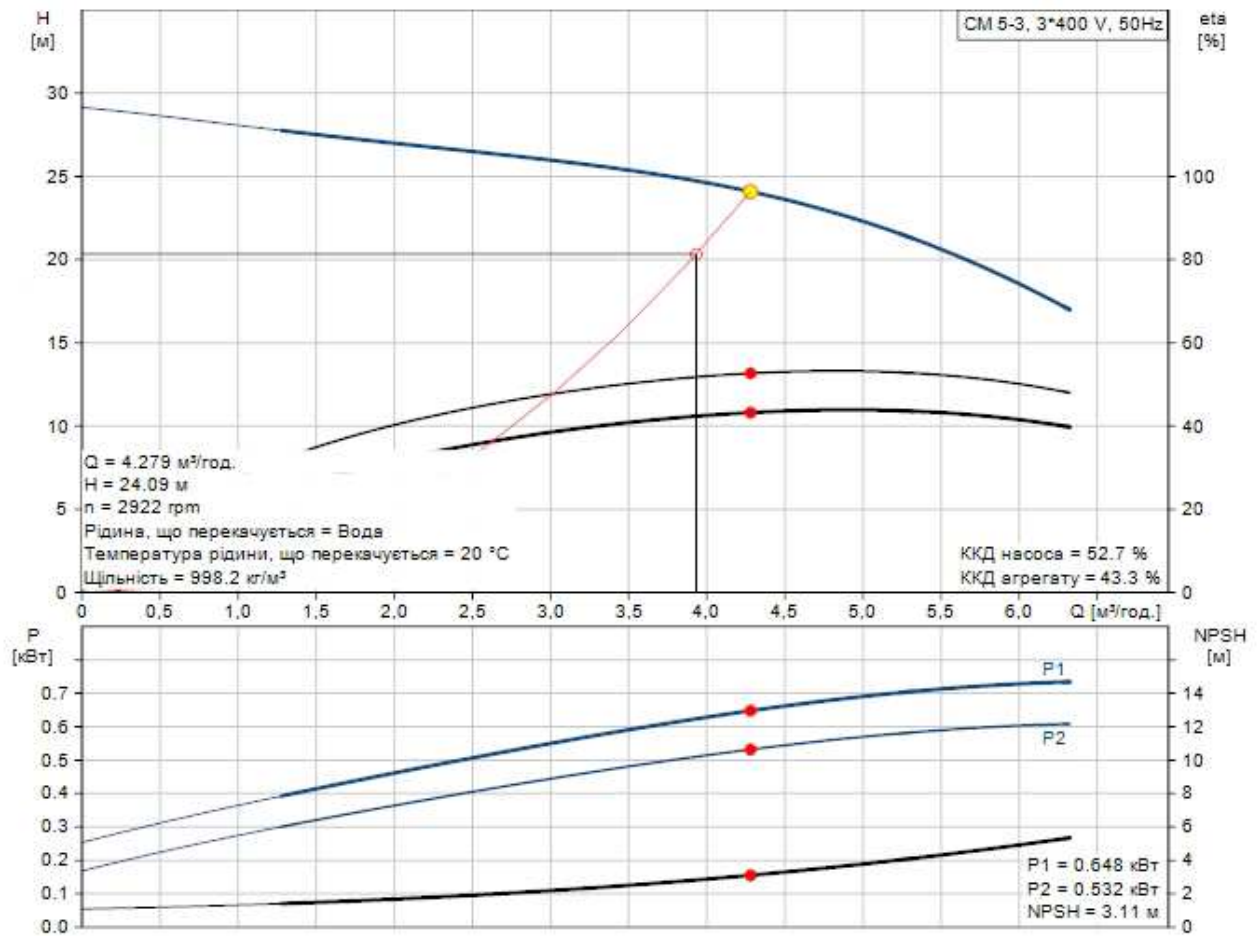


Рис.2.13.3 Крива характеристик насосу SM 5-3

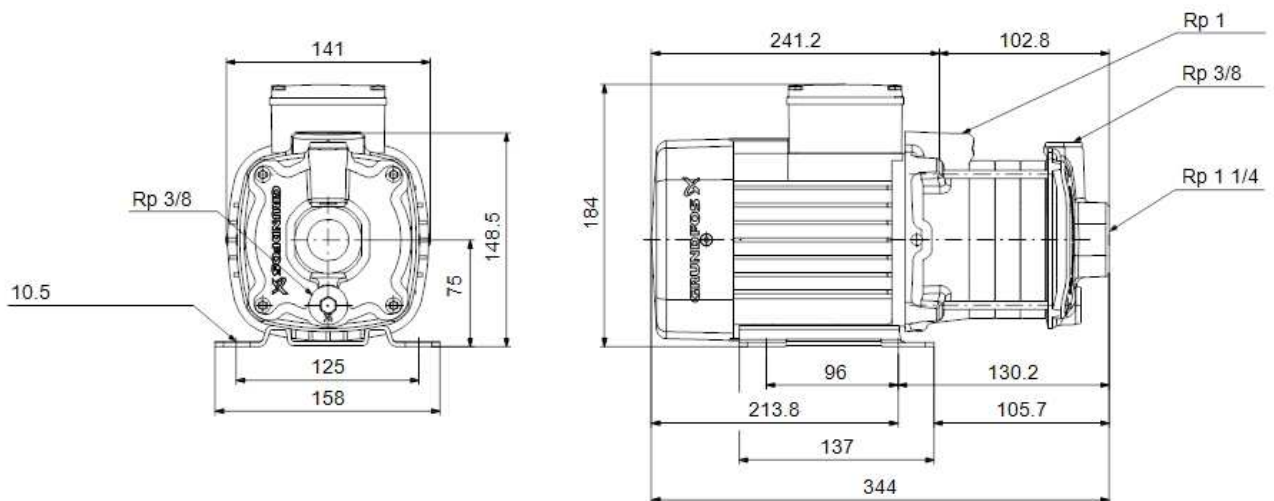


Рис.2.13.4 Габаритне креслення насосу SM 5-3



Рис.2.13.5 3D зображення насосу CM 5-3

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

Під час виконання дипломного проекту були розраховані навантаження на системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання міста та мікрорайонів з відомою та невідомою забудовами у м. Запоріжжя, побудовані графіки: витрати теплоти в залежності від температур зовнішнього повітря, опалювальний графік та графік витрати теплоти в залежності від тривалості температур (графік Росандера), а також визначені розрахункові витрати теплоносія, проведений гідравлічний та тепловий розрахунки, визначена товщина теплової ізоляції, наведено приклад підбору компенсаторів сальникових та П-подібних та допоміжного обладнання ТЕЦ (живильного та мережевого насосу).

Таким чином, під час проектування та розрахунку дипломного проекту були вдосконалені та закріплені знання з циклу дисциплін зі спеціальності «Теплоенергетика».

					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року / Міністерство палива та енергетики України, Національна академія наук України. — 2008. — 129 с.
2. Ковальчук В.А., Мацнєва Т.С. Теплопостачання: Навчальний посібник. — Рівне: НУВГП, 2013. — 300 с.
3. Алексахін О. О., Панчук О. В. Теплогазопостачання і вентиляція. Вибрані задачі: Навч. посібник. — Харків: УкрДУЗТ, 2017. — 230 с
4. Строй А.Ф. Теплоснабжение сельских населенных пунктов. М.: Агропромиздат, 1985. — 109 с.
5. Теплові мережі : ДБН В.2.5-39:2008. — [Чинний з 2009-0107].— К. : Мінрегіонбуд України, 2009. — 56 с. - (Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі і споруди) (Державні будівельні норми України).
6. Будівельна кліматологія : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:1010. — [Чинний з 2011-01-11]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2011. — 120 с. — (Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі) (Національний стандарт України).
7. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : Справочник. / [Манюк В. И., Каплинский Я. И., Хиж З. Б. и др.]. — 3-е изд., перер. и доп. — М. : Стройиздат, 1988, — 432 с.
8. Пирков В. В. Современнѣе тепловые пункты. Автоматика и регулирование / Пирков В. В. — К. : ІІ ДП «Такі справи», 2007. — 252 с.
9. Соединения трубопроводов и арматура. Проходи условнѣе (размерѣ номинальнѣе). Ряди : ДСТУ ТОСТ 28338:2008 (ІСО 6708-80). — [Чинний з 2008-01-01]. — (Національний стандарт України).
10. Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари і гарячої води : НПАОП 0.00-1.11-98. — [Чинний з 1998-0809]. — (Державні нормативні акти з охорони праці).
11. Теплові мережі та мережі гарячого водопостачання з використанням попередньо теплоізолюваних трубопроводів. Настанова з проектування, монтажу, приймання та експлуатації :
12. ДСТУ-Н Б В.2.5-35:2007. — [Чинний з 2008-07-01]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2008. — 99 с. - (Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі і споруди) (Національний стандарт України).
13. Строй А.Ф., Скальський В.Л. Расчет и проектирование тепловых сетей. — К.: Будівельник, 1981. — 144 с.
14. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. — М.: Энергоиздат, 1982. — 360 с.
15. Водяные тепловые сети. Справочное пособие по проектированию. — М.: нергоиздат , 1988. — 376 с.
16. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / Под ред. А.А. Николаева. — М.: Стройиздат, 1965. — 358 с.
17. Мережі теплові (тепломеханічна частина). Робочі креслення : ДСТУ Б А.2.4-28:2008. — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Мінрегіонбуд України, 2009. — 13

401-НТ- 18192-2022 ДП.ПЗ

Арк.

77



с. — (Система проектної документації для будівництва) (Національний стандарт України).

18. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво : ДБН В.2.5-64:2012. — [Чинний з 2013-03-01].— К. : Мінрегіон України, 2013. — 105 с. - (Державні будівельні норми України).

19. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. — Укрархбудінформ.- 2013. – 141 с.

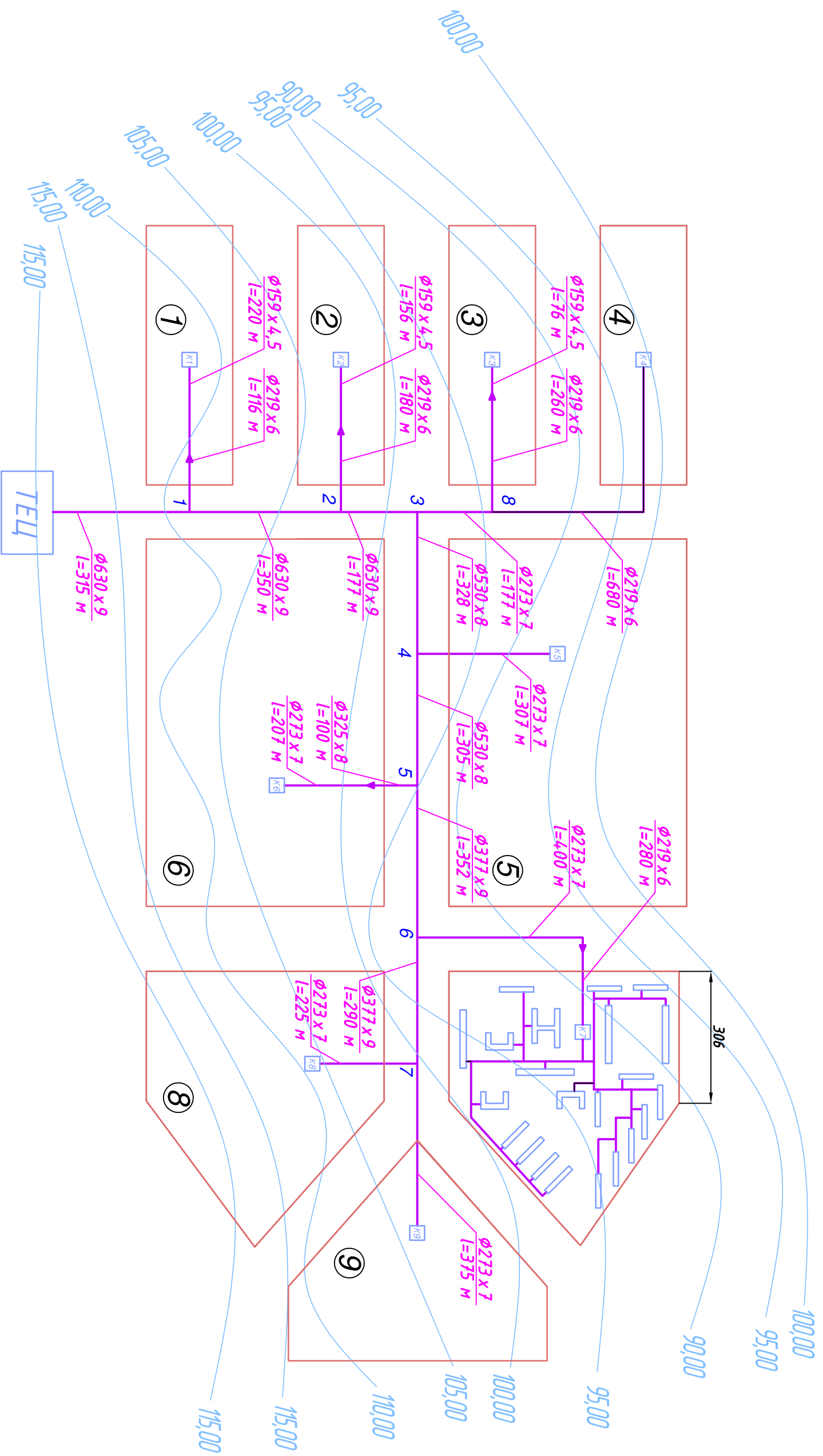
20. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов : СНиП 2.04.14-88. — [Чинний від 1990-01-01].

21. ДСТУ Б.В.2.6.-189-2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – К.: Мінрегіон України, 2014.

22. Проектирование теплових сетей / [Александров И. П.,Беляйкина И. В., Далин А. М. и др.]; под ред. А. А. Николаева. М. : Стройиздат, 1965. — 360 с. — (Справочник проектировщика).

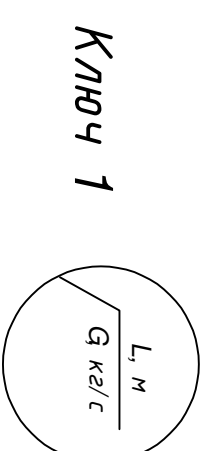
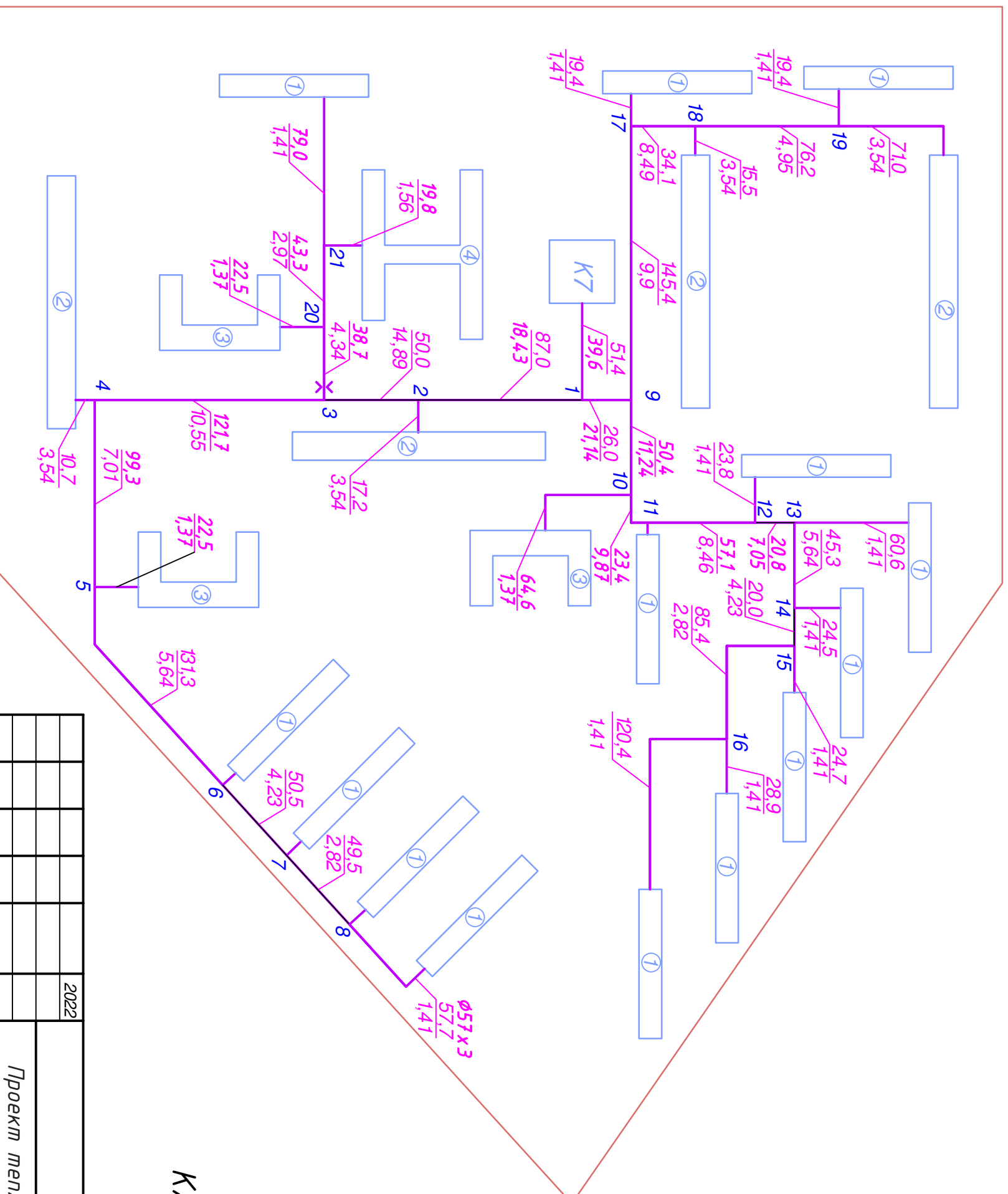
					401-НТ- 18192- 2022 ДП.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# Генплан, рельєф місцевості та схема трас теплової мережі міста (невідомої забудови)



				2022	401-НТ - 18192 - 2022.ДП			
Проект теплостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя								
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Генплан, рельєф місцевості та схема трас теплової мережі міста (невідомої забудови). Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" Формат А1		
Розробив	Куліш Д.О.							
Перевірив	Череднікова Н.Контрорль	Череднікова						
Зав.кафед.	Гайк Ю.С.							

# План забудови та схема траси теплової мережі Відомої забудови

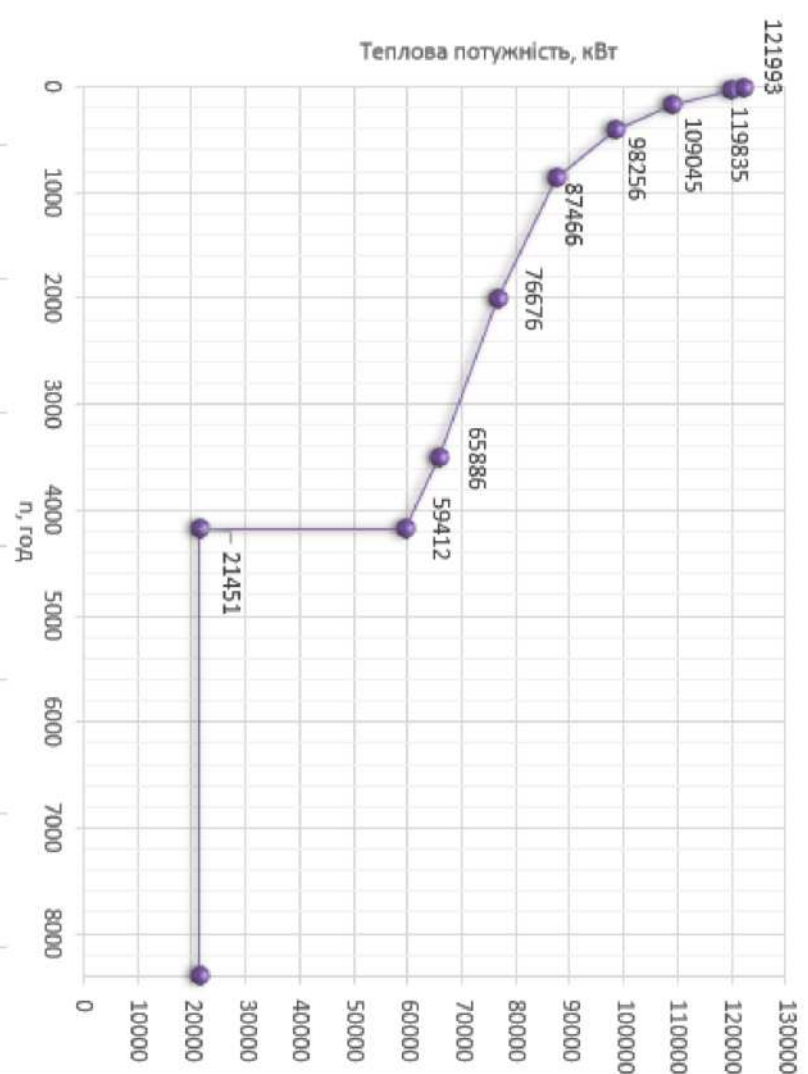
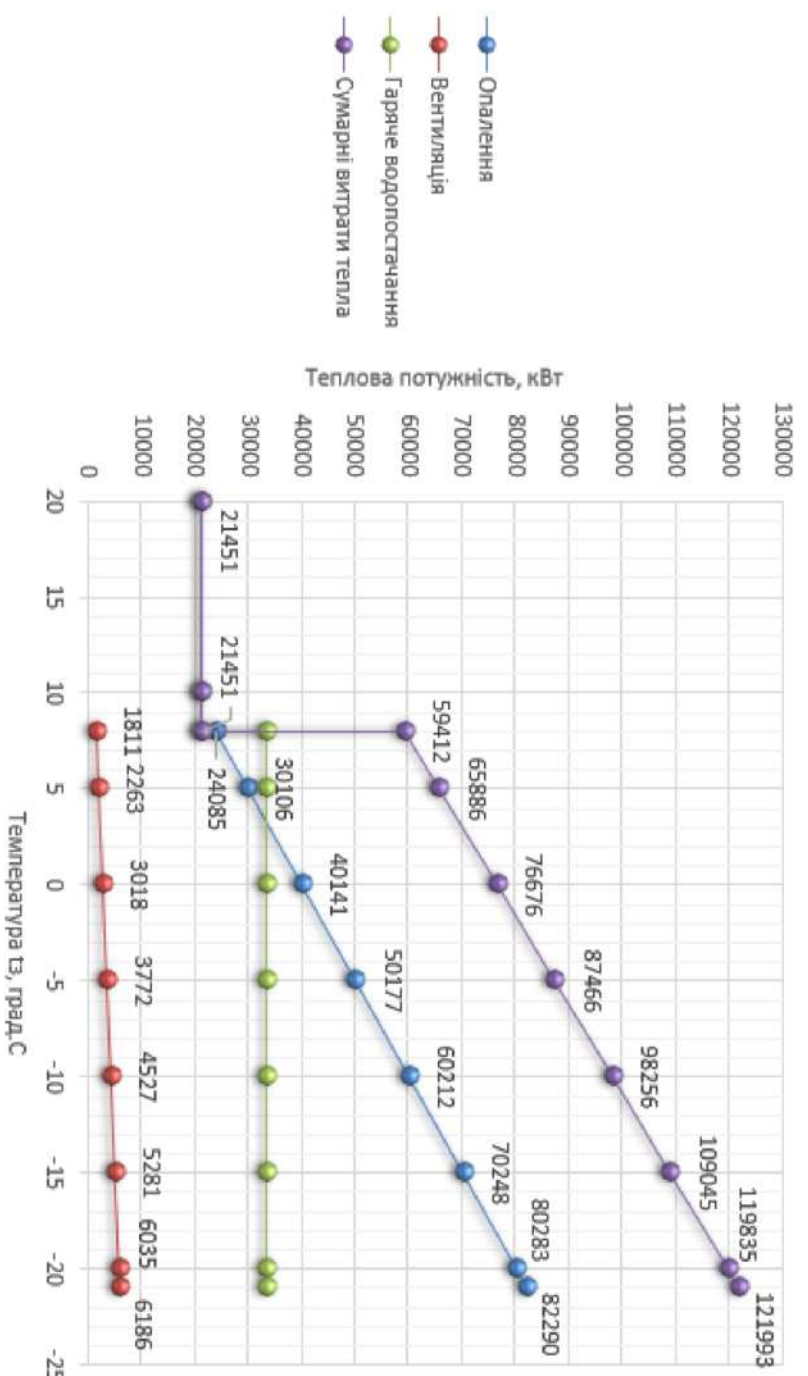


## Умовні позначення

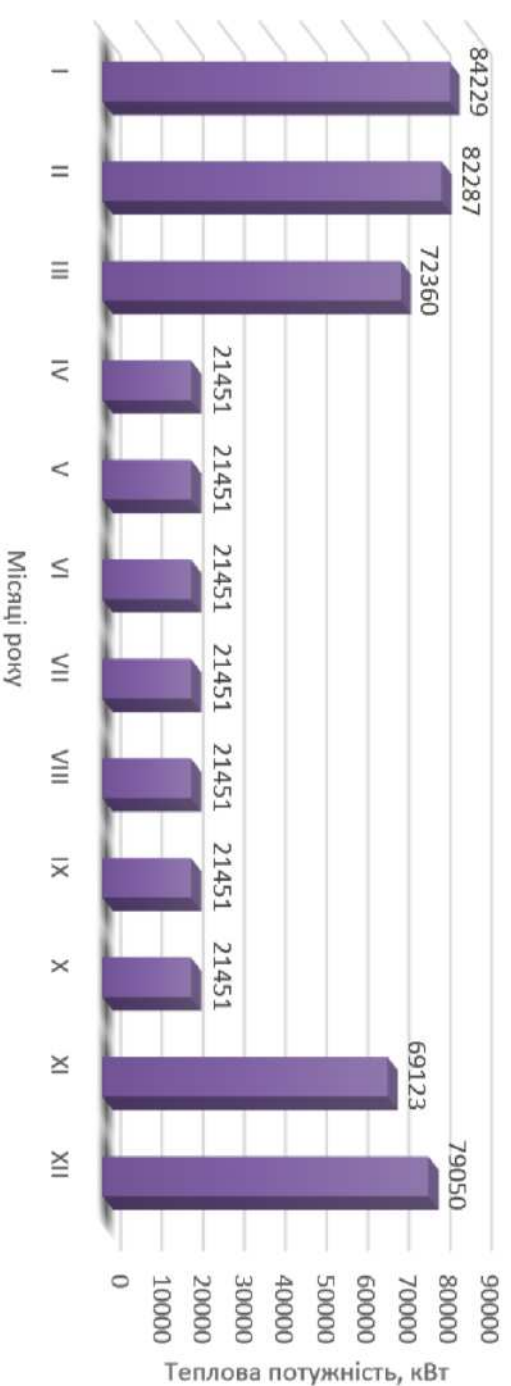
- 1 - житловий будинок, 5 пов.
- 2 - житловий будинок, 9 пов.
- 3 - дитячий садок-ясла на 280 місць.
- 4 - школа на 1104 учня.

				2022	401-НТ - 18192 - 2022.ДП		
Проект теплопостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя							
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		
Розробив	Куліш Д.О.					План забудови та схема траси теплової мережі	
Перевірив	Череднікова					"Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"	
Н.контроль	Череднікова					Формат А3	
Зав.кафед.	Гайк Ю.С.						

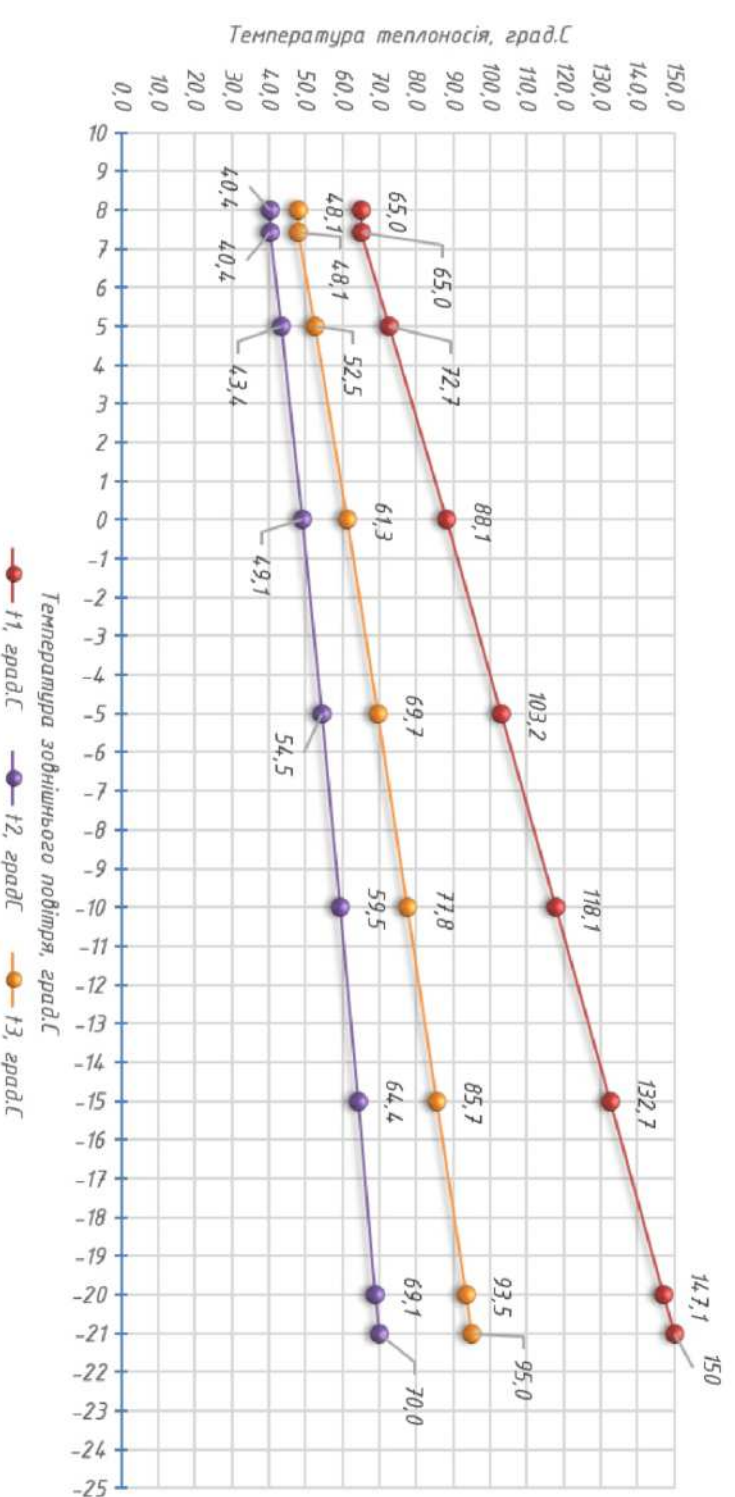
Графік витрати теплоту в залежності від тривалості температури зовнішнього повітря



Річний графік теплового споживання за місяцями року



Графік температур теплоносія



401-НТ - 18192 - 2022.ДП

Проект теплопостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя

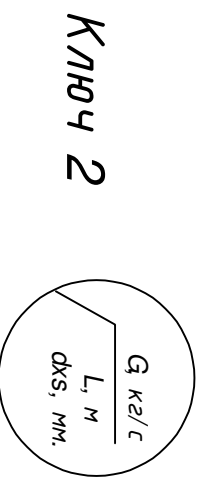
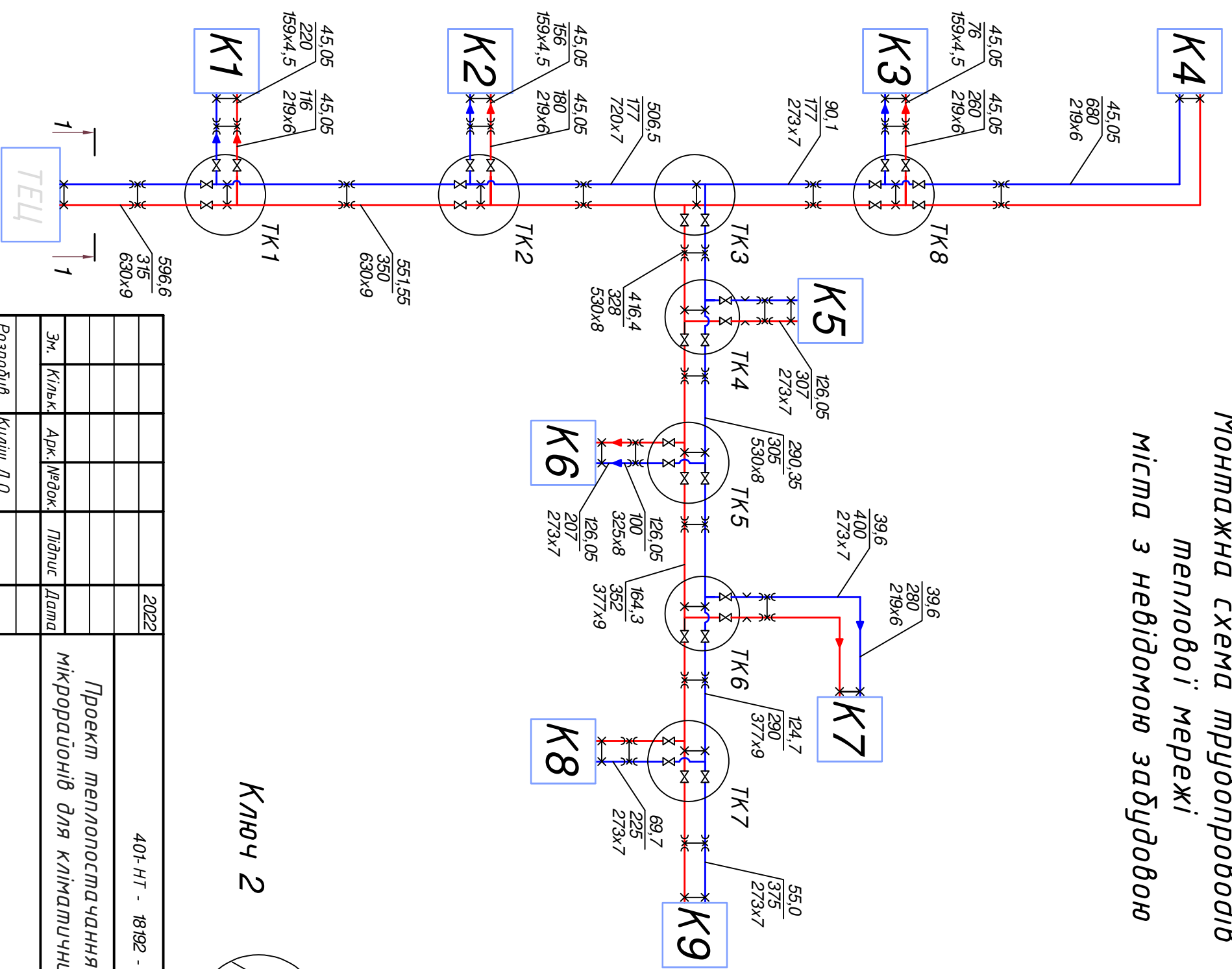
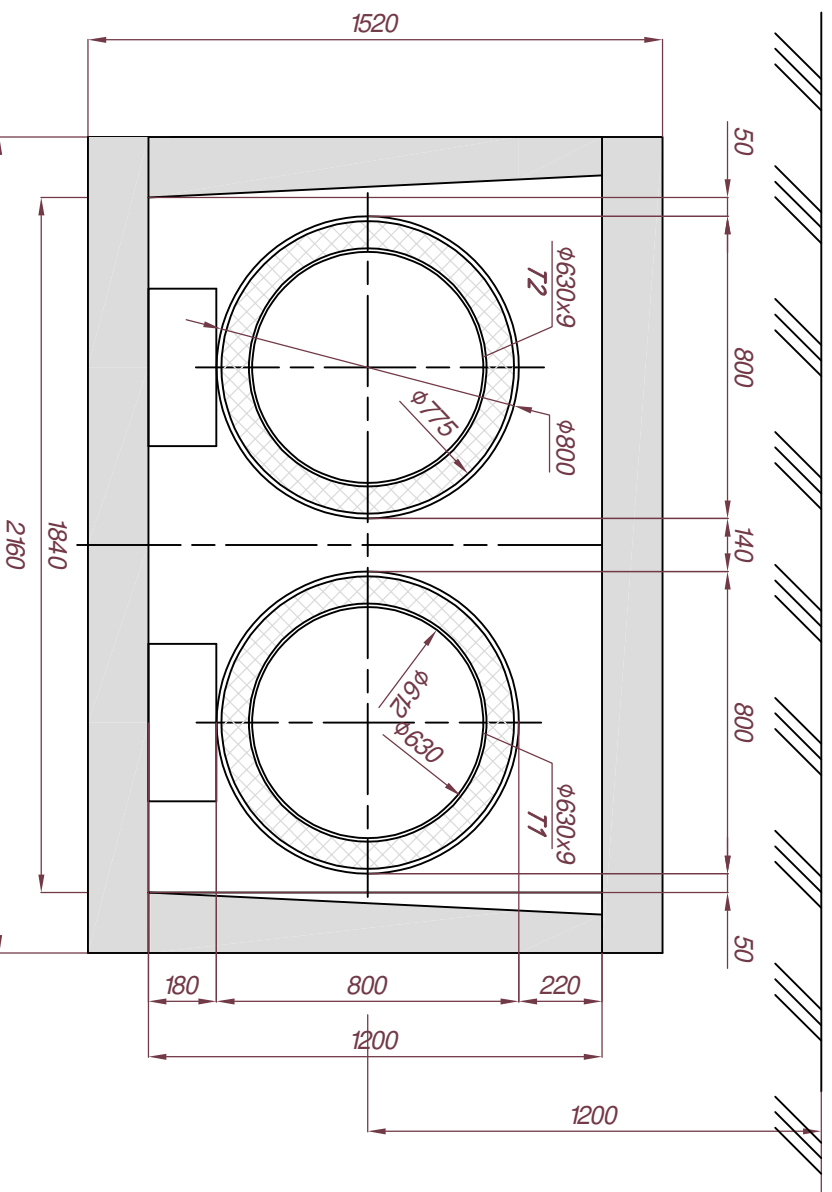
				2022	401-НТ - 18192 - 2022.ДП		
				Дата			
Зм.	Кільк.	Арк. № док.	Підпис	Дата			
Розробив	Куліш Д.О.						
Перевірив	Череднікова						
Н.Контроль	Череднікова						
Зав.кафед.	Гайк Ю.С.						
					Графік витрати теплоту в залежності від тривалості температури зовнішнього повітря. Річний графік теплового споживання за місяцями року. Графік температур теплоносія.		
					Стадія	Аркуш	Аркушів
					P	3	6

Копія

Формат А1

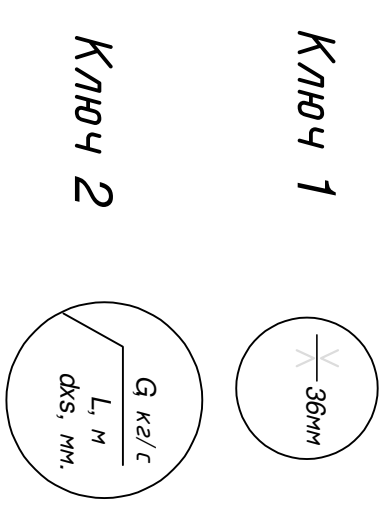
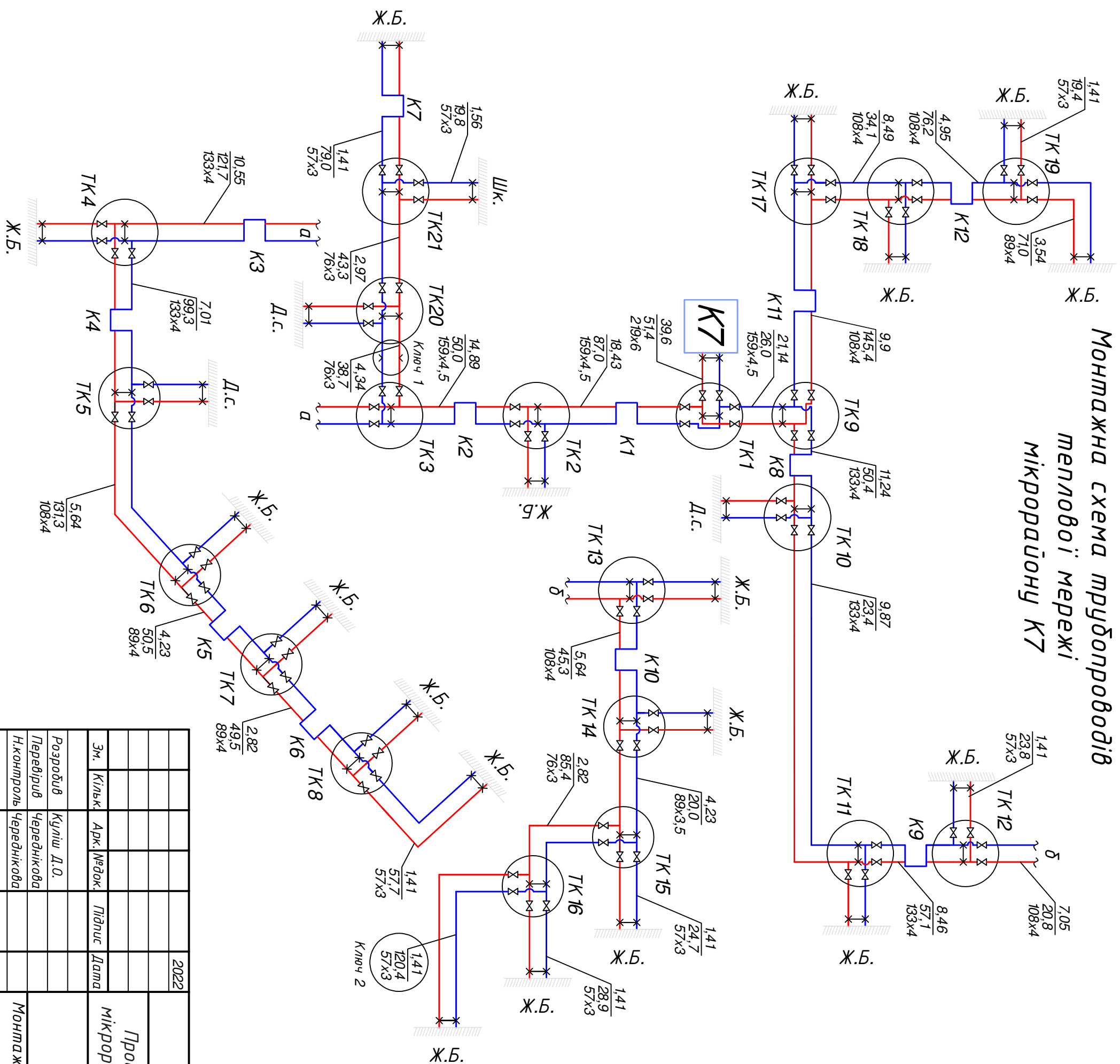
Монтажна схема трубопроводів  
теплової мережі  
міста з невідомою забудовою

Розріз 1-1



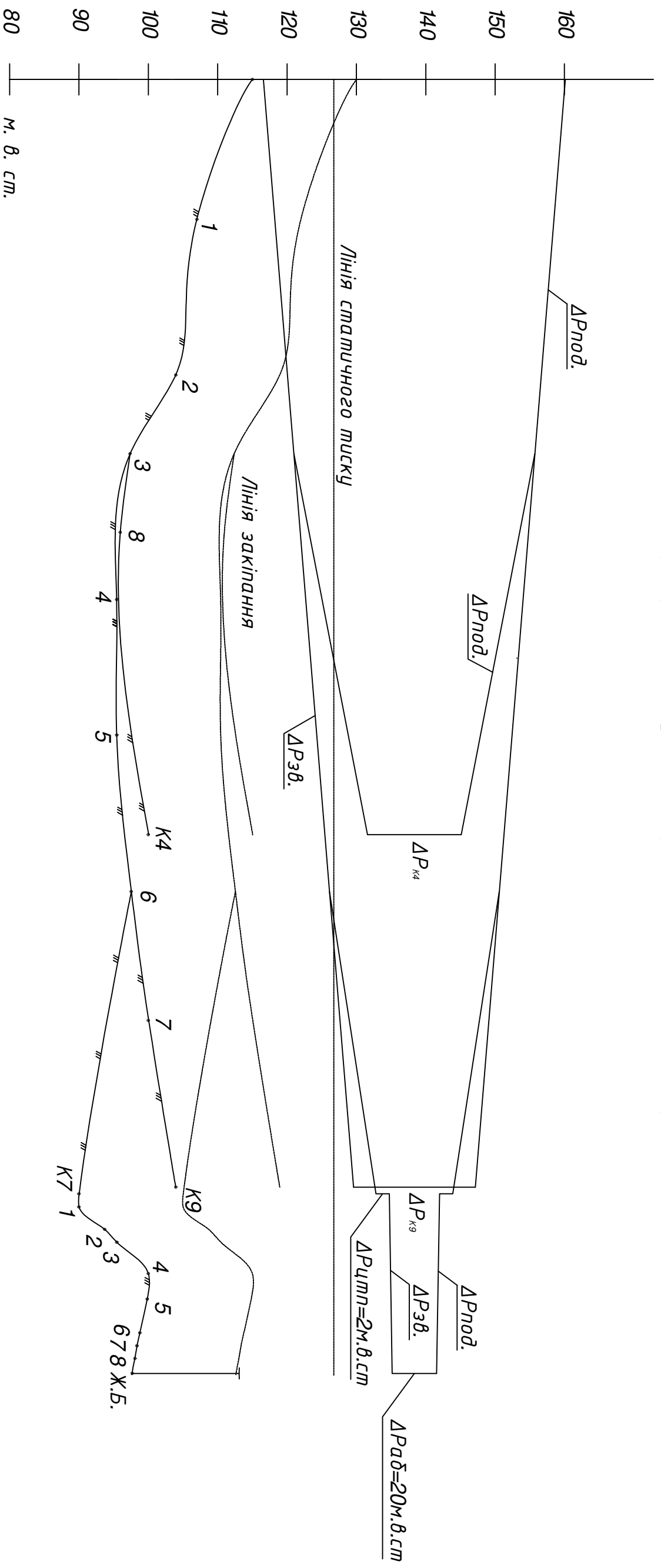
										2022		401-НТ - 18192 - 2022.ДП	
Проект теплостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя													
Зм.		Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата							
Розробив		Куліш Д.О.											
Перевірив		Череднікова											
Н.Контроль		Череднікова											
Зав.кафед.		Гайк Ю.С.											
Монтажна схема трубопроводів теплової мережі міста з невідомою забудовою. Розріз 1-1.													
Стадія		Аркуш	Аркушів										
Р		4	6										
Національний університет "Львівська політехніка" імені Юрія Кондратюка"													
Копія в													
Формат А3													

# Монтажна схема трубопроводів теплової мережі мікрорайону К7

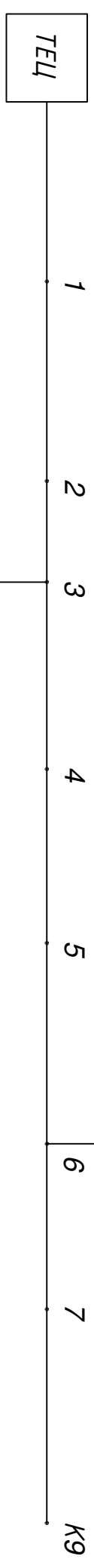


										2022	
401-НТ - 18192 - 2022.ДП											
Проект теплостачання від ТЕЦ Житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя											
Зав.кафед.		Гайк Ю.С.		Підпис		Дата					
Н.Контроль		Череднікова									
Перевірів		Череднікова									
Розробив		Куліш Д.О.									
Зм.		Арк. № док.		Підпис		Дата					
		Арк.									
		Кільк.									
Монтажна схема трубопроводів теплової мережі мікрорайону К7											
				Стадія		Аркуш		Аркушів			
				Р		5		6			
Національний університет "Львівська політехніка" імені Юрія Кондратюка"											
Формат А3											

# Графік тиску в закритій меловій мережі



К7 1 23 4 5 678 Ж.Б.



К4

				2022	401-НТ - 18192 - 2022.ДП			
					Проект меллостачання від ТЕЦ житлових мікрорайонів для кліматичних умов м. Запоріжжя			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			
Розробив	Куліш Д.О.							
Перевірив	Череднікова							
Н.контроль	Череднікова							
Зав.кафед.	Гайік Ю.С.					Графік тиску в закритій меловій мережі		
						Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						Р	6	6