

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота
перший бакалаврський
(рівень вищої освіти)

на тему «Розрахунок системи тепlopостачання промислового підприємства
ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод»

Виконав: студент IV курсу,
групи 6.1449-с
спеціальності 144 «Теплоенергетика»
освітньої програми

Теплоенергетика
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Д.В. Романов
(ініціали та прізвище)

Керівник ст.викладач С.Є. Чижов
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент д.т.н, проф. А.О. Чейлитко
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)

Освітня програма 144 Теплоенергетика
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 _____ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Романову Дмитру Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) «Розрахунок системи тепlopостачання промислового підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод»

керівник роботи ст. викладач Чижов Сергій Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «17» січня 2022 року №90-с

2 Строк подання студентом роботи 30.05.2022 р.

3 Вихідні дані до роботи: тип системи тепlopостачання – закрыта чотирьохтрубна; параметри теплоносія вода 130/70 °С ; розрахункова температура зовнішнього повітря системи опалення – - 23 °С; тривалість опалювального періоду 178 діб.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Загальна характеристика об'єкту. 2. Визначення розрахункових потреб теплоти на опалення, вентиляцію та ГВП. Гідравлічний розрахунок. Розробка плану та схеми теплових мереж. Вибір основного обладнання джерела тепlopостачання.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Загальний обсяг графічного матеріалу за темою роботи 7 листів креслень формату А3.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	ст. викладач Чижов С.Є.	20.02.2022	10.05.2022
2	ст. викладач Чижов С.Є.	12.05.2022	12.06.2022

7 Дата видачі завдання 15.02.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика об'єкту.	30 квітня 2022	
2	Розрахунок джерела тепlopостачання промислового підприємства	30 травня 2022	
4	Оформлення пояснювальної записки та розробка креслень	10 червня 2022	

Студент

_____ (підпис)

Д.В. Романов
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

_____ (підпис)

С.Є. Чижов
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

_____ (підпис)

С.Є. Чижов
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Розрахунок системи теплопостачання промислового підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» містить 73 сторінки, 15 таблиць, 7 рисунків, 39 джерел посилань.

ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ, ТЕПЛОНОСІЙ, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, КОТЕЛЬНЯ, ДЖЕРЕЛО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ТРУБОПРОВІД, ОПАЛЕННЯ, НАСОСНЕ УСТАТКУВАННЯ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мета роботи – розрахунок системи теплопостачання промислового підприємства.

У першому розділі приведена загальна характеристика комплексу теплових споживачів.

У другому розділі наведено розрахунки потреб теплоти на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання, вибрано основне обладнання джерела теплопостачання, зроблено гідравлічний розрахунок теплових мереж, розроблено план та схеми теплових мереж, вибране насосне обладнання.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ.....	8
1.1 Характеристика комплексу теплових споживачів.....	8
1.2 Характеристика системи теплопостачання	8
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	9
2.1 Визначення розрахункових потреб теплоти.....	9
2.1.1 Визначення розрахункових потреб теплоти на опалення	9
2.1.2 Визначення розрахункових потреб теплоти на вентиляцію	12
2.1.3 Визначення розрахункових потреб теплоти на гаряче водопостачання.....	13
2.1.4 Визначення сумарних розрахункових потреб теплоти споживачами.....	17
2.1.5 Графіки теплового навантаження	19
2.1.6 Вибір основного обладнання джерела теплопостачання.....	21
2.1.7 Річні витрати теплоти	23
2.2 Регулювання відпуску теплоти споживачам	25
2.2.1 Центральне регулювання однорідного теплового навантаження ..	25
2.3 Визначення витрат теплоносія	30
2.3.1 Витрати теплоносія на опалення і вентиляцію	30
2.3.2 Витрати теплоносія на гаряче водопостачання	32
2.4 Гідравлічний розрахунок.....	31
2.4.1 Попередній розрахунок	32

2.4.2 Розрахункова схема теплової мережі.....	34
2.4.3 Перевірочний розрахунок.....	35
2.5 Розробка будівельних та механічних конструкцій теплових мереж	48
2.5.1 Будівельні конструкції теплових мереж.....	50
2.5.2 Механічні конструкції теплових мереж.....	50
2.5.3 Розробка плану теплових мереж.....	50
2.5.4 Розробка схеми теплових мереж.....	52
2.5.5 Розробка профілю теплових мереж	54
2.6 Розрахунок і вибір насосного устаткування.....	56
2.7 Теплові втрати теплових мереж	60
2.8 Визначення об'єму земляних робіт, об'єму ізоляційних конструкцій, площі антикорозійного покриття і поверхневого шару теплопроводів.....	60
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	68

ВСТУП

Розвиток ринкових відносин в Україні докорінно змінює принципові підходи до вироблення і споживання всіх видів енергії. В умовах постійного зростання цін на енергоресурси і їх неминучого зближення з світовими цінами проблема енергозбереження стає по-справжньому актуальною, багато в чому визначає майбутнє вітчизняній економіці.

Традиційна для нашої країни система централізованого постачання тепла через централізовані котельні і магістральні теплопроводи, відома і володіє рядом переваг. У загальному обсязі джерел теплової енергії на централізовані котельні доводиться – 76 % , децентралізовані – 21 %, інші – 3 %. Обсяги виробництва теплової енергії мають тенденцію до зростання приблизно на (2...3) % на рік.

Питання розробки енергозберігаючих технологій і встаткування завжди займали значне місце в теоретичних і прикладних дослідженнях наших учених і інженерів, але на практиці в енергетику передові технічні рішення впроваджувалися не досить активно.

Більшість індустріально розвинених країн йшло іншим шляхом: удосконалювали теплогенеруюче встаткування підвищуючи рівень його безпеки й автоматизації, КПД газопальникових пристроїв, санітарно гігієнічні, екологічні й естетичні показники; створили всеосяжну систему обліку енергоресурсів всіма споживачами; приводили нормативно-технічну базу у відповідність із вимогами доцільності й зручності споживача; оптимізували рівень централізації тепlopостачання. Результатом такої роботи стало реальне енергозбереження у всіх сферах економіки.

У кваліфікаційній роботі запроєктовано надійну, економічну і технічно-обґрунтовану систему тепlopостачання промислового підприємства, споживачами якого місцеві системи опалення, вентиляції і гарячого водопостачання різних цехів.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ

1.1 Характеристика комплексу теплових споживачів

В даній кваліфікаційній роботі запланована система теплопостачання промислового підприємства ПАТ «Полтавський автоагрегатний завод» від центральної котельні. Місце розташування об'єкту – місто Полтава. Рельєф місцевості порівняно спокійний. Грунтові води на глибині залягання теплових мереж не виявлені.

Завод складається з:

- термічного цеху ($V=54000 \text{ м}^3$, $H=7 \text{ м}$);
- механічно-збірного цеху ($V=60000 \text{ м}^3$, $H=7 \text{ м}$);
- адміністративно-побутового корпусу (АПК) ($V=35000 \text{ м}^3$; $H=5 \text{ м}$, кількість працюючих - 35 осіб);
- цеху покриття металами ($V=74000 \text{ м}^3$, $H=7 \text{ м}$);
- мідноливарного цеху ($V=52000 \text{ м}^3$; $H=7 \text{ м}$);
- ремонтного цеху ($V=84000 \text{ м}^3$, $H=7 \text{ м}$).

Виходячи з кліматичних умов в зоні роботи [1], а також з урахуванням рельєфу земної кори [2] в даній місцевості проведено розрахунок теплового навантаження, визначено режим температурного графіку, розроблено схему прокладки теплових мереж від виробничої котельні до споживачів. Для всіх споживачів у дипломній роботі визначені витрати теплоносія на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання.

1.2 Характеристика системи теплопостачання

Для виконання розрахунку системи теплопостачання вихідні дані прийняті наступними:

- місто розташування системи – м. Полтава;
- розрахункова температура зовнішнього повітря системи опалення $t_0 = -23 \text{ }^\circ\text{C}$;

- розрахункова температура зовнішнього повітря системи вентиляції
 $t_g = -11$ °С;

- середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря
 $t_{on} = 0,3$ °С;

- тривалість опалювального сезону $n_o = 178$ діб.

Джерело теплопостачання – виробнича котельня:

- паливо – природний газ;

- джерело водопостачання котельної – система господарсько-питного водопроводу. Вода влаштовує всім вимогам до питної води, карбонатна жорсткість $\mathcal{J}K_k = 4,5$ мг-екв/л;

- тип прокладки – канална, будівельні конструкції, напівпровідні канали.

Характеристика системи теплопостачання:

- вид теплоносія – перегріта вода;

- вид системи теплопостачання – закрыта, чотиритрубна;

- гаряча вода на гаряче водопостачання підігривається в водоводяних підігривачах, встановлених у котельні;

- температура мережної води в подавальному трубопроводі $\tau_{1o} = 130$ °С;

- температура мережної води у зворотному трубопроводі $\tau_{2o} = 70$ С;

- температура мережної води в подавальному трубопроводі перед місцевою системою теплопостачання $\tau_{3o} = 95$ °С;

- температура води з господарсько-питного водопроводу $t_c = 5$ °С;

- температура гарячої води на потреби гарячого водопостачання
 $t_h = 55$ °С.

У кваліфікаційній роботі для опалення і вентиляції застосовані сталеві прямошовні електрозварювальні труби, а для гарячого водопостачання – сталеві водогазопровідні оцинковані труби.

Для сприйняття температурних напруг, які виникають в трубопроводах при температурному подовженні, застосовано компенсатори або використано самокомпенсацію.

В місцях розгалуження теплової траси в теплофікаційних вузлах (ВТ) встановлено запірну арматуру - сталі засувки типу 30с41нж1 та вентиля типу 15с22нж і 15с27нж.

При введенні в експлуатацію і ремонті трубопроводів для видалення води, повітря з них встановлено в верхніх точках траси в ВТ-2 - повітряні, а в нижніх (ВТ-1) - дренажні пристрої, місце знаходження яких визначено за поздовжнім профілем.

Для природної вентиляції тепломережі в теплових камерах розміщено по чотири люки, розташовані в протилежних кутах.

В літній період тепла мережа працює тільки на потреби гарячого водопостачання промислового підприємства.

Ізоляцію трубопроводів виконано в такій послідовності: антикорозійне покриття (фарбування масляно-бітумною фарбою БТ-177 у два шари по ґрунту ГФ-021), основний шар (мати зі скляного штапельного волокна на синтетичному зв'язуючому в рулонах і ровінг (джгут) зі скляних комплексних), покривний шар (фольга алюмінієва дубльована для теплоізоляційних конструкцій).

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Визначення розрахункових потреб теплоти

2.1.1 Визначення розрахункових потреб теплоти на опалення

Система опалення підтримує в приміщенні на певному рівні температуру повітря і внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій. Таким чином, у приміщенні забезпечуються оптимальні температурні умови, найкомфортніші для життєдіяльності людей в холодну пору року.

В промислових спорудах джерелом внутрішніх тепловиділень можуть бути теплові і силові установки і механізми (печі, сушарки, двигуни тощо); ці тепловиділення практично сталі, суттєві за своєю величиною і, отже, мають враховуватись під час розроблення режиму теплопостачання промислових районів.

Коефіцієнт інфільтрації промислових споруд μ визначено за формулою

$$\mu = b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T_i}\right) + \omega_g^2}, \quad (2.1)$$

де b - постійна інфільтрації, с/м (при відсутності даних для промислових споруд прийнята рівною $b = (35 \div 40) \cdot 10^{-3}$ с/м);

g - прискорення вільного падіння, яке прийнято рівним $g = 9,81$ м/с²;

H - висота будинку, м;

T_o - розрахункова температура зовнішнього повітря опалення, °К.
Визначено як $T_o = 273 + t_o$;

T_i - температура внутрішнього повітря в приміщенні, °К. Визначено як $T_i = 273 + t_i$;

ω_g - швидкість вітру, м/с (залежить від клімату [1] та є рівною 4 м/с).

Теплові втрати теплопередачою через зовнішні огороження промислових споруд $Q_{o\max}^{пром}$ визначено за формулою, МВт

$$Q_{o\max}^{пром} = \{(1 + \mu) \cdot q_{on} \cdot V \cdot (t_i - t_o)\} \cdot 10^{-6}, \quad (2.2)$$

де q_{on} - питомі теплові втрати будівлі через зовнішні огороження, Вт/($m^3 \cdot K$);

V - об'єм будівлі за зовнішнім обміром, m^3 ;

t_i - температура внутрішнього повітря в промисловій споруді, $^{\circ}C$;

t_o - розрахункова температура зовнішнього повітря системи опалення, $^{\circ}C$.

Коефіцієнт інфільтрації для механічно-збірного цеху

$$\mu = 35 \cdot 10^{-3} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 7 \cdot \left(1 - \frac{250}{289}\right) + 4^2} = 0,21.$$

Теплові втрати теплопередачою через зовнішні огороження для механічно-збірного цеху, МВт

$$Q_{o\max}^{пром} = \{(1 + 0,21) \cdot 0,46 \cdot 60000 \cdot (16 - (23))\} \cdot 10^{-6} = 1,3.$$

Для інших споруд заводу розрахунки коефіцієнтів інфільтрації і теплових втрат теплопередачою через зовнішні огороження виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.1.

В промислових спорудах частина теплових втрат будівлі може компенсуватися внутрішніми тепловиділеннями. В цьому випадку витрату теплоти на опалення потрібно зменшити на величину тепловиділення, а

витрату теплоти, що підводиться на опалення $Q_{o.под}^{пром}$ визначині з рівняння, МВт

$$Q_{o.под}^{пром} = Q_{оmax}^{пром} - Q_{ТВ}, \quad (2.3)$$

де $Q_{оmax}^{пром}$ - максимальні тепловтрати промислової споруди, МВт;

$Q_{ТВ}$ - внутрішні тепловиділення споруди, МВт.

Для мідноливарного цеху внутрішні тепловиділення споруди прийняті як частка від максимальних тепловтрат, що становить (50...75) %, МВт

$$Q_{ТВ} = 0,6 \cdot 0,53 = 0,32;$$

$$Q_{o.под}^{пром} = 0,53 - 0,32 = 0,21$$

Теплові втрати теплопередачою через зовнішні огороження адміністративно – побутового корпусу $Q_{оmax}$ визначені за формулою, МВт

$$Q_{оmax} = \{q_{он} \cdot V \cdot (t_i - t_o)\} \cdot 10^{-6}, \quad (2.4)$$

де $q_{он}$ - питомі теплові втрати будівлі через зовнішні огороження, Вт/($m^3 \cdot K$).

$$Q_{оmax} = \{0,29 \cdot 35000 \cdot (18 - (-23))\} \cdot 10^{-6} = 0,42$$

2.1.2 Визначення розрахункових потреб теплоти на вентиляцію

Вентиляцією називають сукупність (комплекс) заходів та обладнання, що забезпечують розрахунковий обмін повітря в приміщеннях житлових, громадських і промислових споруд. Санітарно-гігієнічне призначення вентиляції полягає в підтриманні в приміщеннях таких санітарних норм і стану повітряного середовища, які задовольняють вимогам відповідних ДБН і норми промислових підприємств.

Витрату теплоти на вентиляцію промислових споруд прийнято за роботою місцевих систем вентиляції.

Витрату теплоти на підігрівання припливного повітря Q_{vmax} визначено за формулою, МВт

$$Q_{vmax} = [q_{вент} \cdot V \cdot (t_i - t_{вент})] \cdot 10^{-6}, \quad (2.5)$$

де $q_{вент}$ - питома вентиляційно-теплова характеристика будівлі, Вт/($m^3 \cdot ^\circ C$);

$t_{вент}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для системи вентиляції, $^\circ C$

$$Q_{vmax} = [0,16 \cdot 60000 \cdot (16 - (-11))] \cdot 10^{-6} = 0,26$$

Для інших цехів заводу розрахунки Q_{vmax} виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.1.

$$Q_{vmax} = [0,15 \cdot 32000 \cdot (18 - (-11))] \cdot 10^{-6} = 0,12$$

Таблиця 2.1 - Розрахункові витрати теплоти на опалення та вентиляцію окремими споживачами

№	Найменування споживача теплоти	Внутрішня температура повітря t_i , °C	Об'єм будівлі V , м ³	Висота будівлі H , м	Питомі теплові втрати будівлі на опалення $q_{оп}$, Вт/(м ³ ·°C)	Коефіцієнт інфільтрації μ	Витрати теплоти на опалення $Q_{о\ max}$, МВт	Питома вентиляційно-теплова характеристика будівлі $q_{вент}$, Вт/(м ³ ·°C)	Витрати теплоти на вентиляцію $Q_{v\ max}$, МВт
1	Механічно-збірний цех	16	60000	7	0,46	0,21	1,30	0,17	0,26
2	Термічний цех	14	54000	7	0,29	0,20	0,37	1,16	1,23
3	АПК	18	35000	5	0,29	-	0,42	0,13	0,12
4	Цех покриття металами	16	74000	7	0,52	0,21	1,82	3,48	4,64
5	Мідноливарний цех	14	52000	7	0,23	0,20	0,32	1,74	1,51
6	Ремонтний цех	16	84000	7	0,52	0,21	2,06	0,17	0,27
Всього			-	-	-	-	6,29	-	8,03

2.1.3 Визначення розрахункових потреб теплоти на гаряче водопостачання

Середньо-тижневе за опалювальний період теплове навантаження на гаряче водопостачання адміністративних споруд промислових підприємств Q_{hm} визначено за формулою, МВт

$$Q_{hm} = \left[\frac{a \cdot m \cdot c \cdot (t_h - t_c)}{n_c} \right] \cdot 10^{-6}, \quad (2.6)$$

де a - добова норма витрати гарячої води, кг/доб, температурою 55°C на одиницю споживання;

m - число одиниць споживання;

C - теплоємність води, Дж/(кг·°C). Прийнята рівною $C=4190$ Дж/(кг·°C);

t_h - температура гарячої води, °C;

t_c - температура холодної води, °C. В зимовий період прийнято $t_c = 5^\circ\text{C}$;

n_c - розрахункова тривалість подачі теплоти на гаряче водопостачання, с/доб.

$$Q_{hm} = \left[\frac{25 \cdot 35 \cdot 4190 \cdot (55 - 5)}{3600 \cdot 2} \right] \cdot 10^{-6} = 0,03.$$

Середньо-годинну витрату теплоти на гаряче водопостачання душовими промислових будівель Q_{hm} визначено за формулою, МВт

$$Q_{hm} = \left[\frac{m_{роб}}{m_{cim} \cdot T_{зар}} \cdot a_{cim} \cdot c \cdot (t_h - t_c) \right] \cdot 10^{-6}, \quad (2.7)$$

де $m_{роб}$ - число працюючих у виробничих цехах. За відсутністю даних приблизно прийнято

$$m_{роб} = (1 \div 5) \cdot 10^{-3} \cdot V; \quad (2.8)$$

де m_{cim} - кількість людей на одну душову сітку, залежить від групи виробничих процесів цеху;

$T_{зар}$ - час зарядки акумуляторів, с.

Прийнятий залежно від кількості душових сіток наступним:

$$N = 1 \div 10 \quad T_{зар} = 1 \text{ год.};$$

$$N = 11 \div 20 \quad T_{зар} = 2 \text{ год.};$$

$$N = 21 \div 30 \quad T_{зар} = 3 \text{ год.};$$

$$N = 31 \text{ і більше сіток} \quad T_{зар} = 4 \text{ год.}$$

a_{cim} - норма витрати гарячої води на одну сітку, л/доба. Прийнята рівною $a_{cim} = 230$ л/доба.

Число працюючих у виробничих цехах

$$m_{роб} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 60000 = 180 \text{чол.}$$

Середньо-годинна витрата теплоти на гаряче водопостачання душовими промислових будівель для механічно-збірного цеху, МВт

$$Q_{hm} = \left[\frac{180}{6 \cdot 3 \cdot 3600} \cdot 230 \cdot 4190 \cdot (55 - 5) \right] \cdot 10^{-6} = 0,13.$$

Середньо-годинні витрати теплоти на гаряче водопостачання душовими інших промислових цехів заводу Q_{hm} визначено аналогічно, результати розрахунків занесені до таблиці 2.2.

Максимально-годинну витрату теплоти на гаряче водопостачання Q_{hmax} визначено за формулою, МВт

$$Q_{hmax} = \kappa_{доб} \cdot Q_{hm}, \quad (2.9)$$

де $\kappa_{\text{доб}}$ - коефіцієнт добової нерівномірності витрати теплоти за добу найбільшого водоспоживання. Прийнятий для споруд промпідприємств рівним $\kappa_{\text{доб}}=1$, а для міст та населених пунктів $\kappa_{\text{доб}}=(1,7\dots2,0)$.

$$Q_{h\text{max}} = 1 \cdot 0,13 = 0,13$$

Максимально-годинні витрати теплоти на гаряче водопостачання для інших цехів заводу та громадських споруд $Q_{h\text{max}}$ визначені аналогічно, результати розрахунків занесені до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Розрахункові витрати теплоти на гаряче водопостачання окремими споживачами

№	Найменування споживачів теплоти	Розрахункове число працюючих у цехах $n_{\text{роб}}$, роб	Норма витрати гарячої води a , л/доб.	Розрахункова тривалість подачі теплоти на ГВП n_o , год/доб.	Середньо годинна витрата теплоти на гаряче водопостачання Q_{ht} , МВт	Максимальна годинна витрата теплоти на гаряче водопостачання $Q_{h\text{max}}$, МВт
1	Механічно-збірний цех	180	230	10800	0,13	0,13
2	Термічний цех	162	230	14400	0,18	0,18
3	АПК	35	25	7200	0,03	0,03
4	Цех покриття металами	222	230	14400	0,25	0,25
5	Мідноливарний цех	156	230	14400	0,17	0,17
6	Ремонтний цех	252	230	14400	0,14	0,14
	Всього				0,90	0,90

2.1.4 Визначення сумарних розрахункових потреб теплоти споживачами

Сумарну середньо-годинну витрату теплоти споживачами Q_d визначено за формулою, МВт

$$Q_d = Q_{o\max} + Q_{v\max} + Q_{hm}. \quad (2.10)$$

Сумарну максимально-годинну витрату теплоти споживачами Q_d визначено за формулою, МВт

$$Q_d^{\max} = Q_{o\max} + Q_{v\max} + Q_{h\max}; \quad (2.11)$$

$$Q_d = 1,30 + 0,26 = 1,56;$$

$$Q_d^{\max} = 1,30 + 0,26 = 1,56.$$

Розрахунки сумарних середньо-годинної і максимально-годинної витрати теплоти іншими споживачами промислового підприємства виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.3.

2.1.5 Графіки теплового навантаження

Для визначення завантаження, режиму роботи, економічності використання теплофікаційного обладнання користуються річним графіком витрати теплоти за тривалістю періоду стояння зовнішніх температур.

Таблиця 2.3 - Розрахункові та сумарні середньо-годинні витрати теплоти окремими споживачами

№	Найменування споживачів теплоти	Витрати теплоти, МВт				
		опалення	вентиляція	опалення і вентиляція сумарні	гаряче водопостачання	
					середньо-годинні	максимально-годинні
1	Механічно-збірний цех	1,30	0,26	1,56	0,13	0,13
2	Термічний цех	0,37	1,23	1,60	0,18	0,18
3	АПК	0,42	0,12	0,54	0,03	0,03
4	Цех покриття металами	1,82	4,64	6,46	0,25	0,25
5	Мідноливарний цех	0,32	1,51	1,83	0,17	0,17
6	Ремонтний цех	2,06	0,27	2,33	0,14	0,14
Усього		6,29	8,03	14,32	0,9	0,9
Усього з врахуванням 2 % втрат теплоти в котельні і теплових мережах та 5 % втрат теплоти на власні потреби котельні		6,73	8,59	15,32	0,96	0,96

Він будується на підставі графіка залежності теплових навантажень від температур зовнішнього повітря, При цьому по осі абсцис відкладають значення температур зовнішнього повітря $t_n = +8$ °C до t_o , по осі ординат – витрати теплоти.

При довільній температурі зовнішнього повітря t_n (-23 °C; -20 °C; -15 °C; -10 °C; -5 °C; 0 °C; +5 °C; +8 °C) витрату теплоти на опалення і вентиляцію Q_o, Q_v , визначено за формулами, МВт

$$Q_o = Q_{o\max} \cdot \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o}, \quad (2.12)$$

$$Q_v = Q_{v\max} \cdot \frac{t_i - t_n}{t_i - t_g}. \quad (2.13)$$

$$Q_o = 6,73 \cdot \frac{16 - (-10)}{16 - (-23)} = 4,49;$$

$$Q_v = 8,59 \cdot \frac{16 - (-10)}{16 - (-11)} = 8,27.$$

Розрахунки витрат теплоти опалення і вентиляцію Q_o, Q_v , при інших температурах зовнішнього повітря виконані аналогічно, їх результати зведені в таблицю 2.4.

Графік залежності витрати теплоти від температури зовнішнього повітря зображено на рисунку 2.1.

Сумарний графік витрати теплоти побудовано на підставі графіків витрат на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання, його одержано в результаті складання витрат теплоти при певних значеннях температури зовнішнього повітря.

Таблиця 2.4 - Витрата теплоти при різних температурах зовнішнього повітря

Витрата теплоти, МВт	Температура зовнішнього повітря, °С							
	$t_o=-23$	$t_H=-20$	$t_H=-15$	$t_H=-11$	$t_H=-10$	$t_H=-5$	$t_H=0$	$t_H=+8$
Q_o	6,73	6,21	5,35	4,66	4,49	3,62	2,76	1,38
Q_v	8,59	8,59	8,59	8,59	8,27	6,68	5,09	2,55
Q_o+Q_v	15,32	14,8	13,94	13,25	12,76	10,3	7,85	3,93
Q_{hmax}	0,96							
$Q_o+Q_v+Q_{hmax}$	16,28	15,76	14,9	14,21	13,72	11,26	8,81	4,89

Графік витрати теплоти залежно від тривалості періоду стояння зовнішньої температури (графік тривалості теплового навантаження) побудовано в правому квадранті. При цьому на осі абсцис відкладено тривалість періоду опалювального сезону з середньодобовою температурою зовнішнього повітря, що дорівнює або є нижчою від даної t_H . Тривалість стояння температур зовнішнього повітря наведені в таблиці 2.5. На їх підставі побудовано графік витрати теплоти за тривалістю (див. рис. 2.1).

Таблиця 2.5 - Тривалість стояння температур зовнішнього повітря нижче t_H

Температура зовнішнього повітря t_H , °С	Число годин стояння температур нижче t_H	Температура зовнішнього повітря t_H , °С	Число годин стояння температур нижче t_H	Температура зовнішнього повітря t_H , °С	Число годин стояння температур нижче t_H
-15	254	-5	1420	+5	-
-10	656	0	3060	+8	4296

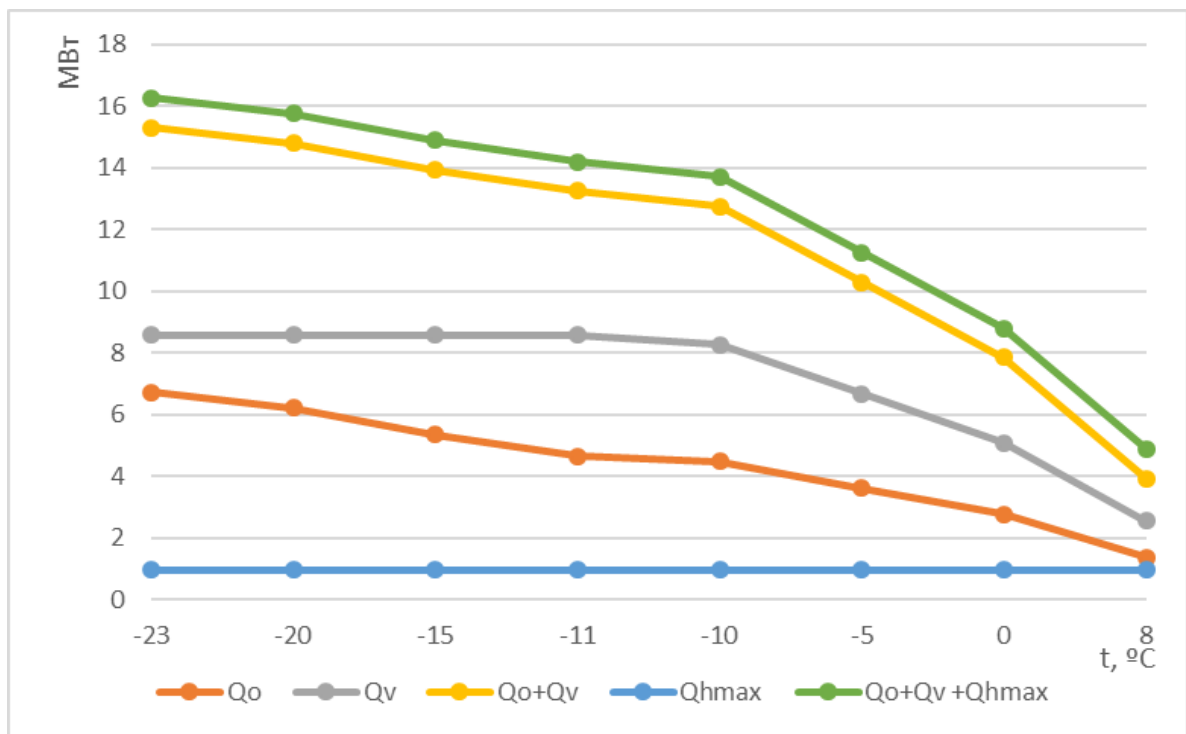


Рисунок 2.1 - Графік залежності витрати теплоти від температури зовнішнього повітря

2.1.6 Вибір основного обладнання джерела тепlopостачання

На підставі розрахунку потреб теплоти виконано вибір основного устаткування котельної (водогрійних котлів).

У відповідності з розрахунковою потужністю котельної, що визначена сумою потужностей, які необхідні споживачам на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання при максимально-зимовому режимі складає 16,28 МВт. При визначенні потужності котельні враховують потужності, що витрачаються на власні потреби котельної та покриття втрат у котельної і теплових мережах.

У котельної встановлено один котел КВ-ГМ-4-150 з розрахунковою теплопродуктивністю 4,65 МВт та один котел КВ-ГМ-20-150 з розрахунковою теплопродуктивністю 23,3 МВт [3], інші розрахункові параметри занесені до таблиці 2.6. Загальний вигляд котельної наведено на рисунку 2.2. В опалювальний період працюють обидва котли для

забезпечення потреб теплоти на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання споруд заводу, а в міжопалювальний період один котел КВ-ГМ-4-150.

Таблиця 2.6 - Розрахункові параметри котельні КВ-ГМ-4-150 та КВ-ГМ-20-150

Найменування	КВ-ГМ-4-150	КВ-ГМ-20-150
Теплопродуктивність, МВт	4,65	23,3
Витрати води, кг/с	13,8	68,7
Температура на вході, °С	70	70
Температура на виході, °С	150	150



Рисунок 2.2 - Загальний вигляд котельної (котел КВ-ГМ-20-150)

2.1.7 Річні витрати теплоти

Річна витрата теплоти споживачами визначається як сума річних витрат теплоти на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання і технологічні потреби.

Середню витрату теплоти на опалення за опалювальний період Q_{on} визначено за формулою, кВт

$$Q_{on} = Q_{o\max} \frac{t_i - t_{on}}{t_i - t_o}, \quad (2.14)$$

де $Q_{o\max}$ - розрахункова витрата теплоти на опалення всіх споживачів, кВт.

t_{on} - середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, °C

$$Q_{on} = 6730 \cdot \frac{16 - (-0,8)}{16 - (-23)} = 2899,08.$$

Річну витрату теплоти на опалення Q_o^{pich} визначено за формулою, ГДж/рік

$$Q_o^{pich} = 24 \cdot 0,0036 \cdot Q_{on} \cdot n_o, \quad (2.15)$$

де n_o - тривалість опалювального періоду, діб.

$$Q_o^{pich} = 24 \cdot 0,0036 \cdot 2899,08 \cdot 178 = 44585,53.$$

Середньо-годинну витрату теплоти на вентиляцію Q_{vm} визначено за

формулою, кВт

$$Q_{vm} = Q_{v\max} \cdot \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_{вент}}, \quad (2.16)$$

$$Q_{vm} = 8590 \cdot \frac{16 - (-0,8)}{16 - (-11)} = 5344,89.$$

Річну витрату теплоти на вентиляцію Q_v^{pi4} визначено за формулою, ГДж/рік

$$Q_v^{pi4} = 0,0036 \cdot z \cdot Q_{vm} \cdot n_o, \quad (2.17)$$

де z - число годин роботи системи вентиляції впродовж доби, год. При відсутності даних прийнято $z=16$ год.

$$Q_v^{pi4} = 0,0036 \cdot 16 \cdot 5344,89 \cdot 178 = 54800,09.$$

Річну витрату теплоти на гаряче водопостачання Q_{hm}^{pi4} визначено за формулою, ГДж/рік

$$Q_{hm}^{pi4} = Q_{hmax} \cdot T_{zap} \cdot n_c, \quad (2.18)$$

$$Q_{hm}^{pi4} = 960 \cdot 1 \cdot 255 \cdot 4 \cdot 3600 \cdot 10^{-6} = 3525,12.$$

Сумарну річну витрату теплоти на опалення, вентиляцію, гаряче водопостачання і технологічні потреби всіма споживачами Q_d^{pi4} визначено за формулою, ГДж/рік

$$Q_d^{piu} = Q_o^{piu} + Q_v^{piu} + Q_{hm}^{piu} , \quad (2.19)$$

$$Q_d^{piu} = 44585,53 + 54800,09 + 3525,12 = 102910,74.$$

2.2 Регулювання відпуску теплоти споживачам

Режими витрат теплоти численними абонентами неоднакові. Теплове навантаження опалювальних і вентиляційних установок змінюється в залежності від температури зовнішнього повітря і стабільне протягом доби. Витрата теплоти на гаряче водопостачання не залежить від температури зовнішнього повітря, а змінюється по годинах доби і по днях тижня.

У залежності від місця здійснення регулювання розрізняють центральне, групове, місцеве та індивідуальне регулювання.

Для забезпечення високої якості тепlopостачання та економічних режимів виробітку на котельній теплоти й транспортування її тепловими мережами вибрано відповідний метод регулювання.

При співвідношенні

$$\frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} = \frac{0,96}{6,73} = 0,15,$$

виконується умова $0,15 < \frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} < 0,6$.

Тому застосована двоступенева послідовна схема приєднання теплообмінників, а регулювання приймається опалювальним навантаженням.

2.2.1 Центральне регулювання однорідного теплового навантаження

Сучасні системи тепlopостачання характеризуються наявністю

різномірних споживачів, які можуть мати різні види теплоносія та їх параметри. У містах основним тепловим навантаженням є опалення. Останнім часом набуває розвитку гаряче водопостачання (ГВП), зростає вентиляційне навантаження. При одночасній подачі теплоти по двотрубним тепловим мережам для різномірних споживачів центральне регулювання виконується по переважаючому навантаженню (опаленню), або по сумісному навантаженню - на опалення та ГВП.

У разі різномірного навантаження району незалежно від центрального регулювання має здійснюватися групове або місцеве регулювання всіх видів навантаження. При цьому температура води в подавальній лінії не повинна знижуватись нижче рівня, який потрібен для ГВП.

Відповідно до БНіП температура гарячої води у місцях водорозбору прийнято $t_n = 70$ °С. Графік зміни температури води у подавальній лінії теплової мережі має вигляд зламаної лінії.

Відносну витрату теплоти на опалення (при температурах зовнішнього повітря +8, 0, -5, -10, -15, -20, -23 °С) \overline{Q}_o визначено за формулою

$$\overline{Q}_o = \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o}, \quad (2.20)$$

$$\overline{Q}_o = \frac{16 - 0}{16 - (-23)} = 0,4.$$

Розрахунки відносних витрат теплоти на опалення споживачами для інших температур зовнішнього повітря виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.7.

Розрахунки температур теплоносія в подавальному і зворотному трубопроводах, а також після елеватора для інших температур зовнішнього повітря виконано аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.7.

Температуру теплоносія в подавальному τ_1 і зворотному трубопроводі τ_2 , а також після елеватора τ_3 при різних температурах зовнішнього повітря, °С, визначено за формулами

$$\tau_1 = t_i + \Delta t \cdot \overline{Q_o}^{-0,8} + (\Delta \tau - 0,5\theta) \cdot \overline{Q_o}, \quad (2.21)$$

$$\tau_2 = t_i + \Delta t \cdot \overline{Q_o}^{-0,8} - 0,5\theta \cdot \overline{Q_o}, \quad (2.22)$$

$$\tau_3 = t_i + \Delta t \cdot \overline{Q_o}^{-0,8} + 0,5\theta \cdot \overline{Q_o}, \quad (2.23)$$

де Δt - розрахунковий температурний напір нагрівального приладу місцевої системи опалення, °С

$$\Delta t = \frac{\tau_{3o} + \tau_{2o}}{2} - t_i, \quad (2.24)$$

$$\Delta t = \frac{95 + 70}{2} - 16 = 66,5,$$

де τ_{3o} і τ_{2o} - розрахункові температури теплоносія в зворотному і подавальному трубопроводах місцевої системи опалення на ввіді, °С;

$\Delta \tau$ - розрахунковий перепад температур мережної води, °С

$$\Delta \tau = \tau_{1o} - \tau_{2o}, \quad (2.25)$$

$$\Delta \tau = 130 - 70 = 60$$

θ - розрахунковий перепад температур мережної води в місцевій системі опалення, °С

$$\theta = \tau_{3o} - \tau_{2o}, \quad (2.26)$$

$$\theta = 95 - 70 = 25.$$

Температуру теплоносія в подавальному при температурі зовнішнього повітря $t_H = 0$ °C

$$\tau_1 = 16 + 66,5 \cdot 0,41^{0,8} + (60 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,41 = 68,1;$$

$$\tau_2 = 16 + 66,5 \cdot 0,41^{0,8} - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,41 = 43,5;$$

$$\tau_3 = 16 + 66,5 \cdot 0,41^{0,8} - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,41 = 53,7.$$

Таблиця 2.7 - Розрахунок температурного графіка при $t_i = 16$ °C

Зовнішня температура повітря t_H , °C	Відносна витрата теплоти \bar{Q}_o	Відносна витрата теплоти в ступені $\frac{Q_{0,8}}{Q_o}$	Температура теплоносія в		
			подавальній мережі τ_1 , °C	зворотній мережі τ_2 , °C	подавальній мережі місцевої системи τ_3 , °C
+8	0,21	0,29	45,1	32,5	37,7
0	0,41	0,49	68,1	43,5	53,7
-5	0,54	0,61	82,3	49,9	63,4
-10	0,67	0,73	96,1	55,9	72,6
-11	0,69	0,75	98,2	56,8	74,0
-15	0,79	0,83	108,6	61,2	80,9
-20	0,92	0,94	121,9	66,7	89,7
-23	1	1	130	70	95

2.3 Визначення витрат теплоносія

Витрата теплоносія для окремих споживачів залежить від температури зовнішнього повітря і прийнятого режиму регулювання. За розрахункову витрату для опалення, вентиляцію, ГВП приймають найбільшу.

2.3.1 Витрати теплоносія на опалення і вентиляцію

Розрахункову годинну витрату теплоносія на опалення $G_{o\max}$ визначено за формулою, кг/с

$$G_{o\max} = \frac{Q_{o\max}}{c \cdot (\tau_{1o} - \tau_{2o})}, \quad (2.27)$$

Розрахункову годинну витрату теплоносія на вентиляцію $G_{v\max}$ визначено за формулою, кг/с

$$G_{v\max} = \frac{Q_{v\max}}{c \cdot (\tau_{1o} - \tau_{2o})} \quad (2.28)$$

$$G_{o\max} = \frac{1300}{4,19 \cdot (130 - 70)} = 5,17$$

$$G_{v\max} = \frac{160}{4,19 \cdot (130 - 70)} = 1,03$$

Розрахунки годинних витрат теплоносія на опалення і вентиляцію для інших споживачів заводу виконано аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Розрахунки годинних витрат теплоносія на опалення і вентиляцію

№	Найменування споживачів теплоти	Опалення		Вентиляція		Сумарні на опалення та вентиляцію		ГВП	
		$Q_{\text{оmax}}$ кВт	$G_{\text{оmax}}$ кг/с	Q_{vmax} кВт	G_{vmax} кг/с	$Q_{\text{оmax+}}$ Q_{vmax} кВт	$G_{\text{ома+}}$ G_{vmax} кг/с	$\frac{Q_{hm}}{Q_{h\max}}$ кВт	$\frac{G_{hm}}{G_{h\max}}$ кг/с
1	Механічно-збірний цех	1300	5,17	260	1,03	1560	6,2	$\frac{130}{130}$	$\frac{0,74}{0,68}$
2	Термічний цех	370	1,47	1230	4,89	1600	6,36	$\frac{180}{180}$	$\frac{1,03}{0,95}$
3	АПК	420	1,67	120	0,48	540	2,15	$\frac{30}{30}$	$\frac{0,17}{0,16}$
4	Цех покриття металами	1820	7,24	4640	18,46	6460	25,7	$\frac{250}{250}$	$\frac{1,43}{1,31}$
5	Мідно-ливарний цех	320	1,27	1510	6,01	1830	7,28	$\frac{170}{170}$	$\frac{0,97}{0,89}$
6	Ремонтний цех	2060	8,19	270	1,07	2330	9,26	$\frac{140}{140}$	$\frac{0,80}{0,74}$
Всього		6290	25,01	8030	31,94	14320	56,95	$\frac{900}{900}$	$\frac{5,14}{4,73}$

2.3.2 Витрати теплоносія на гаряче водопостачання

Розрахункові витрати води на ГВП визначені в залежності від прийнятої системи тепlopостачання (закритої) і схеми приєднання підігрівачів ГВП до тепломережі - двоступеневої послідовної.

Розрахункову середню витрату теплоносія на гаряче водопостачання G_{3hm} визначено за формулою, кг/с

$$G_{hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (\tau_1^I - \tau_2^I)} \cdot \left(\frac{55 - t_c^I}{55 - t_c} + 0,2 \right), \quad (2.29)$$

де τ_1^I - температура теплоносія в подавальному трубопроводі при температурі зовнішнього повітря в точці зламу графіка, °С (прийнята за завданням на кваліфікаційну роботу);

τ_2^I - температура теплоносія в зворотному трубопроводі при температурі зовнішнього повітря в точці зламу графіка.

Розрахункову максимальну витрату теплоносія на гаряче водопостачання $G_{3h\max}$ визначено за формулою, кг/с

$$G_{h\max} = 0,55 \cdot \frac{Q_{h\max}}{c \cdot (\tau_1^I - \tau_2^I)}; \quad (2.30)$$

$$G_{hm} = \frac{130}{4,19 \cdot (70 - 45)} \cdot \left(\frac{55 - 35}{55 - 5} + 0,2 \right) = 0,74;$$

$$G_{3h\max} = 0,55 \cdot \frac{130}{4,19 \cdot (70 - 45)} = 0,68.$$

Розрахунки середніх і максимальних витрат теплоти на гаряче водопостачання для інших споживачів заводу виконані аналогічно.

2.4 Гідравлічний розрахунок

В задачу гідравлічного розрахунку входить: визначення діаметрів трубопроводів; визначення падіння тиску (напору); визначення тисків (напорів) у різних точках теплової мережі; ув'язування всіх точок системи при статичному і динамічному режимах з метою забезпечення припустимих тисків і необхідних напорів у мережі й абонентських системах.

Результати гідравлічного розрахунку дають вихідний матеріал для рішення наступних задач:

- визначення капіталовкладень, витрати металу (труб) і основного обсягу робіт зі спорудження теплової мережі;
- встановлення характеристик циркуляційних (мережних) і підживлювальних насосів, кількості насосів і їхнього розміщення;
- з'ясування умов роботи теплової мережі й абонентських систем, вибору схем приєднання абонентських установок до теплової мережі;
- вибору авторегуляторів для теплової мережі й абонентських вводів;
- розробки режимів експлуатації.

Гідравлічний розрахунок виконано в два етапи: попередній і перевірочний розрахунок.

2.4.1 Попередній розрахунок

Наявний перепад тисків по всій мережі прийнято рівним, Па

$$\Delta P_c = 23000.$$

Частку місцевих втрат теплової мережі визначено за формулою для водяних мереж, кг/с

$$\alpha_{cep} = 0,01 \cdot \sqrt{G_d} , \quad (2.31)$$

де G_d - витрата теплоносія на останній ділянці перед джерелом теплоти, кг/с

$$\alpha_{cep} = 0,01 \cdot \sqrt{56,95} = 0,075.$$

Середнє питоме лінійне падіння тиску по всій мережі $R_{л.сер}$ визначено за формулою для трубопроводів $T_1, T_2, \text{Па/м}$

$$R_{л.сер} = \frac{\Delta P_c}{l \cdot (1 + \alpha_{сер})}, \quad (2.32)$$

де l - сумарна довжина ділянок головної розрахункової магістралі, м.

$$R_{л.сер} = \frac{23000}{498 \cdot (1 + 0,075)} = 42,96$$

Для мереж ГВП задано $R_{л.сер} = 130 \text{ Па/м}$.

Середня щільність теплоносія, при $t_{сер} = 75^\circ \text{C}$ дорівнює $\rho = 975 \text{ кг/м}^3$.

Внутрішній діаметр трубопроводу на кожній ділянці $d_{вн}$ з припущення його роботи в квадратичній області визначено по формулі для мереж T_1, T_2 , м

$$d_{вн} = \frac{A_d^b \cdot G_d^{0,38}}{R_{л.сер}^{0,19}}, \quad (2.33)$$

де A_d^b - коефіцієнт, що залежить від абсолютної еквівалентної шорсткості:

при $k_s = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ для водяних мереж, $\text{м}^{0,62} / \text{кг}^{0,19}$;

$$A_d^b = 117 \cdot 10^{-3}$$

при $k_s = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ для мереж ГВП, $\text{м}^{0,62} / \text{кг}^{0,19}$;

$$A_d^b = 121 \cdot 10^{-3};$$

G_d - витрата теплоносія на ділянці, кг/с.

Для ділянки 1

для трубопроводів Т₁, Т₂, м

$$d_{вн} = \frac{117 \cdot 10^{-3} \cdot 56,95^{0,38}}{42,96^{0,19}} = 0,265;$$

для трубопроводу Т3 мережі ГВП, м

$$d_{вн} = \frac{121 \cdot 10^{-3} \cdot 4,73^{0,38}}{130^{0,19}} = 0,086;$$

для трубопроводу Т4 мережі ГВП, м

$$d_{вн} = \frac{0,121 \cdot 1,19^{0,38}}{130^{0,19}} = 0,051.$$

Розрахунків із визначення діаметрів трубопроводів інших ділянок теплової мережі виконані аналогічно, їх результати зведені до таблиці 2.9.

2.4.3 Розрахункова схема теплової мережі

Враховуючи визначений діаметр на кожній ділянці на розрахунковій схемі розставляється арматура, нерухомі опори, компенсатори та інше устаткування. Вибір арматури при роботі здійснюється на підставі обраного діаметра та умовного тиску теплоносія (не менш 1,0 МПа).

Запірну арматуру передбачено на всіх трубопроводах розгалуження теплових мереж від джерела теплоти.

2.4.3 Перевірочний розрахунок

Швидкість руху теплоносія на кожній ділянці теплової мережі w визначено за формулою, м/с

$$\omega = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D_{в}^2 \cdot \rho'} \quad (2.34)$$

де $D_{в}$ - внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Таблиця 2.9 - Результати попереднього гідравлічного розрахунку теплової мережі.

№ ділянки	Розрахункова витрата G_d , кг/с	Довжина ділянки l , м	Діаметр трубопроводу, мм			Примітка
			Розрахунковий $d_{вн}$	Внутрішній $D_в$	$D_n \times \delta$	
1	2	3	4	5	6	7
для водяних мереж при $R_{л.сер} = 42,96$ Па/м						
1	56,95	120	265	259	273×7,0	
2	29,1	130	205	207	219×6,0	
3	15,62	100	162	150	159×4,5	
4	9,26	148	153	125	133×4,0	
5	2,15	220	76	82	89×4,0	
6	25,7	184	196	207	219×6,0	
7	6,36	120	115	125	133×4,0	
8	7,28	76	121	125	133×4,0	
9	6,20	150	114	125	133×4,0	

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6	7
для мереж ГВП $R_{л.сер} = 130$ Па/м						
1	4,73	120	86	88,5	80×4,0	$D_y \times \delta$
2	3,26	130	75	75,5	65×4,0	
3	1,69	100	58	60	50×3,5	
4	0,74	148	43	42,3	32×3,2	
5	0,16	220	24	42,3	32×3,2	
6	1,31	184	53	60	50×3,5	
7	0,95	120	47	48	40×3,5	
8	0,89	76	46	48	40×3,5	
9	0,68	150	41	42,3	32×3,5	
для мереж ГВП $R_{л.сер} = 130$ Па/м						
1	1,19	180	49	48,0	40×3,5	$D_y \times \delta$
2	0,82	38	26	33,5	25×3,2	
3	0,43	96	23	33,5	25×3,2	
4	0,19	34	24	33,5	25×3,2	
5	0,04	110	14	33,5	25×3,2	
6	0,33	186	41	42,3	32×3,2	
7	0,24	146	23	33,5	25×3,2	
8	0,22	120	28	33,5	25×3,2	
9	0,17	150	24	33,5	25×3,2	

Для ділянки 1

для трубопроводу T_1, T_2 , м/с

$$\omega = \frac{4 \cdot 56,95}{3,14 \cdot 0,259^2 \cdot 975} = 1,11;$$

для трубопроводу T_3 мережі ГВП, м/с

$$\omega = \frac{4 \cdot 4,73}{3,14 \cdot 0,0885^2 \cdot 975} = 0,79$$

трубопроводу T_4 мережі ГВП, м/с

$$\omega = \frac{4 \cdot 1,19}{3,14 \cdot 0,048^2 \cdot 975} = 0,67$$

Розрахунки швидкостей руху теплоносія на інших ділянках теплової мережі виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.10.

Граничне число Рейнольдса $Re_{гр}$ для кожної ділянки визначено по формулі

$$Re_{гр} = 568 \cdot \frac{D_e}{k_e}, \quad (2.35)$$

де k_e - абсолютна еквівалентна шорсткість, м. Для гідравлічного розрахунку трубопроводів Т1, Т2 $k_e=0,5 \cdot 10^{-3}$ м, мереж ГВП $k_e=1,0 \cdot 10^{-3}$ м.

Для ділянки 1

для трубопроводу Т₁, Т₂

$$Re_{гр} = 568 \cdot \frac{0,259}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 294224 ;$$

для трубопроводу Т₃ мережі ГВП

$$Re_{гр} = 568 \cdot \frac{0,0885}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 50268 ;$$

для трубопроводу Т₄ мережі ГВП

$$Re_{гр} = 568 \cdot \frac{0,048}{1,0 \cdot 10^{-3}} = 27264 .$$

Дійсне число Рейнольдса Re для кожної ділянки визначено за формулою

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot D_e}{\nu}, \quad (2.36)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с . При $t > 70$ °С при $\nu = 0,391 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Встановлюється розрахункова область роботи ділянок теплової мережі:

якщо $\text{Re} \geq \text{Re}_{\text{пр}}$, має місце квадратична залежність падіння тиску в трубопроводі від витрати, а трубопровід працює в квадратичній області;

якщо $2300 < \text{Re} < \text{Re}_{\text{пр}}$, то трубопровід працює в перехідній області коефіцієнт гідравлічного тертя має максимальне значення.

Для ділянки 1

для трубопроводу T_1, T_2

$$\text{Re} = \frac{1,11 \cdot 0,259}{0,391 \cdot 10^{-6}} = 735269 \text{ (квадратична область);}$$

для трубопроводу T_3 мережі ГВП

$$\text{Re} = \frac{0,79 \cdot 0,0885}{0,391 \cdot 10^{-6}} = 178811 \text{ (квадратична область);}$$

для трубопроводу T_4 мережі ГВП

$$\text{Re} = \frac{0,67 \cdot 0,048}{0,391 \cdot 10^{-6}} = 82251 \text{ (квадратична область);}$$

для ділянки 5

для трубопроводу T_1, T_2

$$\text{Re} = \frac{0,42 \cdot 0,082}{0,391 \cdot 10^{-6}} = 88082 \text{ (перехідна область);}$$

для трубопроводу T_3 мережі ГВП

$$\text{Re} = \frac{0,12 \cdot 0,0423}{0,391 \cdot 10^{-6}} = 12982 \text{ (перехідна область);}$$

для трубопроводу T_4 мережі ГВП

$$\text{Re} = \frac{0,05 \cdot 0,0335}{0,391 \cdot 10^{-6}} = 1284 \text{ (перехідна область).}$$

Результати розрахунків граничних і дійсних чисел Рейнольдса ділянок тепломережі занесені до таблиці 2.10.

Питомі лінійні падіння тиску на ділянці теплової мережі R_l визначені за формулою, Па/м:

- за умови роботи в квадратичній області

$$R_l = A_R^e \cdot \frac{G^2}{D_e^{5,25}}, \quad (2.37)$$

де A_R^e - коефіцієнт, що залежить від абсолютної шорсткості;

при $k_e = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, для трубопроводів $T_1, T_2, \text{ м}^{3,25} / \text{кг}$

$$A_R^B = 13,62 \cdot 10^{-6};$$

при $k_e = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, для мереж ГВП, $\text{м}^{3,25} / \text{кг}$

$$A_R^B = 16,3 \cdot 10^{-6};$$

за умови роботи в перехідній області

$$R_{\lambda} = 0,812 \cdot \lambda \cdot \frac{G^2}{d_{\text{вн}}^{5,25} \cdot \rho}, \quad (2.38)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного тертя

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\kappa_e}{D_g} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (2.39)$$

Для ділянки 1

для трубопроводу T_1, T_2 , Па/м

$$R_{\lambda} = 13,62 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{56,95^2}{0,259^{5,25}} = 53,13;$$

для трубопроводу T_3 мережі ГВП, Па/м

$$R_{\lambda} = 16,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4,73^2}{0,0885^{5,25}} = 123,16;$$

для трубопроводу T_4 мережі ГВП, Па/м

$$R_{\lambda} = 16,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,19^2}{0,048^{5,25}} = 193,54;$$

для ділянки 5

для трубопроводу Т₁, Т₂

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0005}{0,082} + \frac{68}{88082} \right)^{0,25} = 0,032;$$

для трубопроводу Т₁, Т₂, Па/м

$$R_{\lambda} = 0,812 \cdot 0,032 \cdot \frac{2,15^2}{0,082^5 \cdot 975} = 33,23;$$

для трубопроводу Т₃ мережі ГВП

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,001}{0,0423} + \frac{68}{12982} \right)^{0,25} = 0,045;$$

для трубопроводу Т₃ мережі ГВП, Па/м

$$R_{\lambda} = 0,812 \cdot 0,045 \cdot \frac{0,16^2}{0,0423^5 \cdot 975} = 7,08;$$

для трубопроводу Т₄ мережі ГВП

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,001}{0,0335} + \frac{68}{4284} \right)^{0,25} = 0,050;$$

для трубопроводу Т₄ мережі ГВП, Па/м

$$R_{\lambda} = 0,812 \cdot 0,050 \cdot \frac{0,04^2}{0,0335^5 \cdot 975} = 1,57.$$

Результати проміжного розрахунку ділянок теплової мережі (за формулами (2.34) – (2.39)) зведені в таблицю 2.10.

За даними розрахункової схеми теплової мережі складена відомість місцевих опорів ξ на ділянках трубопроводів теплової мережі (див. таблицю 2.11).

Еквівалентну довжину місцевих опорів ділянки l_e визначено за формулою (за умови роботи в квадратичній області), м

$$l_e = A_l \cdot \sum \xi \cdot D_g^{1.25}, \quad (2.40)$$

де $\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів ділянки;

A_l - коефіцієнт.

Таблиця 2.10 - Результати проміжних розрахунків теплової мережі (перевірочний розрахунок)

№ ділянки	Швидкість руху теплоносія ω , м/с	Число Рейнольдса граничне $Re_{гр}$	Дійсне число Рейнольдса Re	Область руху теплоносія	Коефіцієнт гідравлічного тертя λ	Питоме лінійне падіння тиску R_l , Па/м
1	2	3	4	5	6	7
для трубопроводів T_1, T_2						
1	1,11	294224	735269	квадр.	-	53,13
2	0,89	235152	471176	квадр.	-	44,99
3	0,91	170400	349105	квадр.	-	70,32
4	0,77	142000	246164	квадр.	-	64,26
5	0,42	93152	88082	перех.	0,032	33,23
6	0,78	235152	412941	квадр.	-	35,09
7	0,53	142000	169437	квадр.	-	30,36
8	0,61	142000	195013	квадр.	-	39,78
9	0,52	142000	166240	квадр.	-	28,85

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6	7
4	0,77	142000	246164	квадр.	-	64,26
5	0,42	93152	88082	перех.	0,032	33,23
6	0,78	235152	412941	квадр.	-	35,09
7	0,53	142000	169437	квадр.	-	30,36
8	0,61	142000	195013	квадр.	-	39,78
9	0,52	142000	166240	квадр.	-	28,85
для трубопроводу Т ₃						
1	0,79	50268	178811	квадр.	-	123,16
2	0,75	42884	144821	квадр.	-	134,71
3	0,61	34080	93606	квадр.	-	120,97
4	0,54	24026,4	58419	квадр.	-	145,33
5	0,12	24026,4	12982	перех.	0,045	7,08
6	0,48	34080	73657	квадр.	-	72,68
7	0,54	27264	66292	квадр.	-	123,34
8	0,50	27264	61381	квадр.	-	108,26
9	0,50	24026,4	54092	квадр.	-	122,72
для трубопроводу Т ₄						
1	0,67	27264	82251	квадр.	-	193,54
2	0,47	27264	57698	квадр.	-	91,90
3	0,50	19028	42839	квадр.	-	166,97
4	0,22	19028	18849	перех.	0,047	33,49
5	0,05	19028	4284	перех.	0,050	1,57
6	0,38	19028	32558	квадр.	-	98,34
7	0,28	19028	23990	квадр.	-	52,01
8	0,26	19028	22276	квадр.	-	43,71
9	0,20	19028	17136	квадр.	-	26,10

Таблиця 2.11 - Відомість місцевих опорів ділянок теплової мережі

№ ділянки	Місцеві опори трубопроводу										Сума коефіцієнтів місцевих опорів ділянки $\Sigma\xi$
	вентиль $\xi=4,0$		засувка $\xi=0,5$		компенсатор П- подібний $\xi=1,7$		компенсатор сальниковий $\xi=0,2$		поворот $\xi=0,85$		
	m	$\Sigma\xi$	m	$\Sigma\xi$	m	$\Sigma\xi$	m	$\Sigma\xi$	m	$\Sigma\xi$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
для трубопроводів Т ₁ , Т ₂											
1	-	-	1	0,5	1	1,7	-	-	-	-	2,2
2	-	-	-	-	1	1,7	-	-	1	0,85	2,55
3	-	-	-	-	1	1,7	-	-	-	-	1,7

Продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	-	-	1	0,5	1	1,7	-	-	2	1,7	3,9
5	-	-	1	0,5	2	3,4	-	-	1	0,85	4,75
6	-	-	1	0,5	-	-	-	-	2	1,7	2,2
7	-	-	1	0,5	1	1,7	-	-	1	0,85	3,05
8	-	-	1	0,5	1	1,7	-	-	-	-	2,2
9	-	-	1	0,5	-	-	-	-	2	1,7	2,2
для трубопроводу T_3											
1	-	-	1	0,5	1	1,7	-	-	-	-	2,2
2	-	-	-	-	1	1,7	-	-	1	0,85	2,55
3	-	-	-	-	1	1,7	-	-	-	-	1,7
4	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	2	1,7	7,4
5	1	4,0	-	-	2	3,4	-	-	1	0,85	8,25
6	-	-	1	0,5	-	-	-	-	1	1,7	2,2
7	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	1	0,85	6,55
8	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	-	-	5,7
9	1	4,0	-	-	-	-	-	-	2	1,7	5,7
для трубопроводів T_4											
1	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	-	-	5,7
2	-	-	-	-	1	1,7	-	-	1	0,85	2,55
3	-	-	-	-	1	1,7	-	-	-	-	1,7
4	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	2	1,7	7,4
5	1	4,0	-	-	2	3,4	-	-	1	0,85	8,25
6	1	4,0	-	-	-	-	-	-	2	1,7	5,7
7	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	1	0,85	6,55
8	1	4,0	-	-	1	1,7	-	-	-	-	5,7
9	1	4,0	-	-	-	-	-	-	2	1,7	5,7

Прийнято для трубопроводів T_1 , T_2 при $k_e = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
 $A_l = 60,7 \text{ м}^{-0,25}$; для мереж ГВП при $k_e = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ $A_l = 51,1 \text{ м}^{-0,25}$ за
умови роботи в перехідній області

$$l_e = \sum \xi \cdot \frac{D_e}{\lambda} \quad (2.41)$$

Для ділянки 1

для трубопроводу T_1 , T_2 , м

$$l_e = 60,7 \cdot 2,2 \cdot 0,259^{1,25} = 24,67;$$

для трубопроводу T_3 , м

$$l_e = 51,1 \cdot 2,2 \cdot 0,0885^{1,25} = 5,43;$$

для трубопроводу T_4 , м

$$l_e = 51,1 \cdot 5,7 \cdot 0,048^{1,25} = 6,54;$$

для ділянки 5

для трубопроводу T_1 , T_2 , м

$$l_e = 4,75 \cdot \frac{0,082}{0,032} = 12,17;$$

для трубопроводу T_3 , м

$$l_e = 8,25 \cdot \frac{0,0423}{0,045} = 7,76;$$

для трубопроводу T_4 , м

$$l_e = 7,4 \cdot \frac{0,0335}{0,050} = 5,27.$$

Сумарне падіння тиску на кожній ділянці теплової мережі ΔP визначено по формулі, Па

$$\Delta P = R_{\pi} \cdot (l + l_e). \quad (2.42)$$

Для ділянки 1

для трубопроводу T_1, T_2 , Па

$$\Delta P = 53,13 \cdot (120 + 24,67) = 7686,32 ;$$

для трубопроводу T_3 , Па

$$\Delta P = 123,16 \cdot (120 + 5,43) = 15447,95 ;$$

для трубопроводу T_4 , Па

$$\Delta P = 193,54 \cdot (120 + 8,65) = 24898,95 .$$

Втрати напору на кожній ділянці теплової мережі ΔH визначено за формулою, м

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \quad (2.43)$$

Для ділянки 1

для трубопроводу T_1, T_2 , м

$$\Delta H = \frac{7686,32}{975 \cdot 9,81} = 0,80 ;$$

для трубопроводу T_3 , м

$$\Delta H = \frac{15447,95}{975 \cdot 9,81} = 1,62 ;$$

для трубопроводу T_4 , м

$$\Delta H = \frac{24898,92}{975 \cdot 9,81} = 2,60.$$

Розрахунки за формулами (2.40) – (2.43) для інших ділянок тепломережі виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.12.

Через те, що сума гідравлічних опорів головної магістралі не перевищує наявний перепад тиску і відрізняється від нього не більше ніж на 10 %, гідравлічний розрахунок вважається задовільним.

$$\frac{\Delta P_c - \Sigma \Delta P}{\Delta P_c} \cdot 100 < 10\% , \quad (2.44)$$

$$\frac{23000 - 22227,087}{23000} \cdot 100\% = 3,36\%.$$

Таблиця 2.12 - Результати перевірного гідравлічного розрахунку теплової мережі

№ ділянки	Довжина ділянки l , м	Еквівалентна довжина ділянки l_e , м	Втрати тиску ΔP , Па	Втрати напору ΔH , м
1	2	3	4	5
для трубопроводів T_1, T_2				
1	120	24,64	7686,32	0,80
2	130	21,61	6820,90	0,71
3	100	9,63	7709,18	0,81
4	148	17,59	10657,37	0,11
5	220	12,17	7715,01	0,81
6	184	18,65	7110,99	1,74
7	120	13,76	4060,95	0,42

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4	5
8	76	9,93	3418,30	0,36
9	150	9,93	4613,98	0,48
для трубопроводів T ₃				
1	120	5,43	15447,96	1,62
2	130	5,16	18207,40	1,90
3	100	2,58	12409,10	1,30
4	148	7,25	22562,48	2,36
5	220	7,76	1612,54	0,17
6	184	3,34	13615,87	1,42
7	120	7,52	15728,32	1,64
8	76	6,54	8935,78	0,93
9	150	5,58	19092,78	2,00
для трубопроводів T ₄				
1	120	6,54	24490,55	2,56
2	130	2,93	12216,26	1,28
3	100	1,25	16905,71	1,77
4	148	5,27	5133,01	0,54
5	220	5,53	354,08	0,04
6	184	4,17	18504,64	1,93
7	120	4,80	6490,85	0,68
8	76	4,17	3504,23	0,37
9	150	4,17	4023,84	0,42

2.5 Розробка будівельних та механічних конструкцій теплових мереж

Траса тепломереж і спосіб прокладки вибрані з умови максимально можливого скорочення вартості спорудження і витрат по експлуатації, обслуговуванню і ремонту теплових мереж. Тому теплові мережі мають найменшу можливу довжину та оптимальні діаметри.

Вибір способу прокладки виконано, виходячи з якості ґрунтів і наявності ґрунтових вод, ступеня агресивності ґрунтів стосовно будівельних матеріалів, металевих конструкцій, цінності території, по якій прокладаються мережі, якості вуличного покриття, інтенсивності вуличного руху, важливості трубопроводів, що прокладаються, їхньої кількості і діаметрів, параметрів теплоносія.

В даній кваліфікаційній роботі прокладка теплових мереж виконана підземним способом у напівпрохідних каналах.

2.5.1 Будівельні конструкції теплових мереж

В дипломній роботі застосована канална (напівпрохідні канали) прокладка трубопроводів теплових мереж по території промислового підприємства. Вибрані канали типу ТЛ з внутрішніми розмірами 2100x1800 мм, 1800x1800 мм.

Ніші компенсаторів виготовлено з тих же будівельних матеріалів, що і стіни каналів. Відстань між нішами прийнята як допустима відстань між нерухомими опорами.

Теплофікаційні камери передбачені в місцях встановлення устаткування трубопроводів: засувки, дренажних і повітряних кранів, нерухомих опор. Стіни камер виконані з залізобетонних блоків і панелей. Висота камер прийнята 3,0 м, заглиблення перекриття камер від поверхні землі прийнято 0,5 м. Розміри в плані визначені діаметром трубопроводів, кількістю і габаритами встановленої арматури. Кількість люків залежить від внутрішньої площі камери, в даному випадку прийнято чотири люки. Камери обладнані металевими ходовими скобами під кожним люком. Перекриття камер виконане з залізобетонних плит. Дно камер бетонне, передбачено устрій приямку для збирання води.

2.5.2 Механічні конструкції теплових мереж

Для теплових мереж опалення та вентиляції використані сталіні прямошовні електрозварювальні труби, а для гарячого водопостачання – сталіні водогазопровідні оцинковані труби.

Арматура запірна використана для регулювання режимів споживання

теплоти. Клапани запірні (вентилі) використані в якості запірної арматури (при невеликих діаметрах) та для спуску води і випуску повітря.

Засувки в даному випадку є основним видом запірної арматури теплових мереж. В магістральних і розподільних тепломережах переважно застосовано сталеві паралельні засувки з висувним шпинделем типу 30с41нж або сталеві вентилі (клапани) типу 15с22нж і 15с27нж.

Для теплових мереж відведення використані як гнуті, так і зварні.

Перехідники діаметрів штамповані або зварені застосовані для стику труб різних діаметрів. Ексцентричні перехідники встановлені для вирівнювання низу з'єднаних трубопроводів, що полегшує спорожнення водяних теплових мереж на горизонтальних ділянках. При таких перехідниках застосовані ковзні опори однакової висоти.

Для компенсації теплових подовжень всюди, де можливо, використана самокомпенсація трубопроводів.

В місцях, де самокомпенсація неможлива, застосовані П-подібні компенсатори. Нерухомі опори застосовані з метою жорсткого закріплення для нормальної роботи компенсатора.

2.5.3 Розробка плану теплових мереж

План теплових мереж виконано з прийнятого способу прокладки і будівель-них конструкцій з урахуванням вимог. По розробленому плану і профілю виконані земляні та будівельні роботи.

На плані теплових мереж в масштабі 1:1000 умовними позначками нанесені теплофікаційні камери, канали і компенсаторні ніші, показані нерухомі опор; проставлені всі розміри, необхідні для проведення робіт.

На плані мереж у місцях зміни діаметрів трубопроводів вказані положення січних площин поперечних перерізів. План теплових мереж заводу представлено на рисунку 2.3.

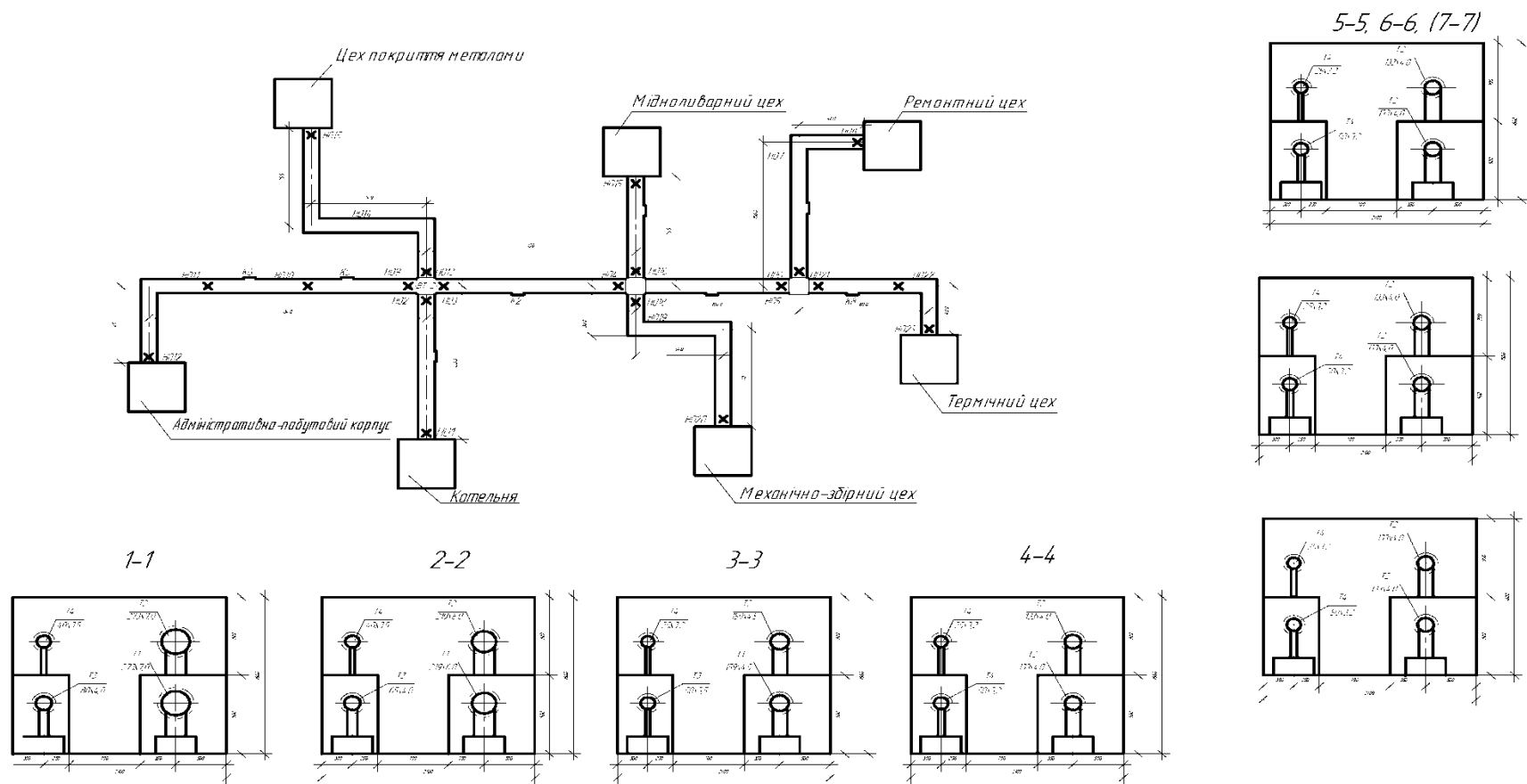


Рисунок 2.3 - План теплових мереж заводу

2.5.4 Розробка схеми теплових мереж

Схема теплових мереж є основним документом, по якому монтуються теплові мережі. В даній дипломній роботі на схемі мереж умовними позначками показано розташування трубопроводів та основних елементів теплових мереж.

Схема мереж виконана у горизонтальній площині. На схемі мереж вказані:

- трубопроводи, їх позначення, арматура, компенсатори, нерухомі опори;
- кути поворотів, точки дренажу трубопроводів;
- маркування елементів мереж та їх нумерація;
- лінії січних площин поперечних перерізів та їх нумерація.

При чотиритрубній мережі від котельні в напівпрохідних каналах трубопроводи розташовані вертикальним рядами по боках каналу наступним чином (по ходу руху води): нижній праворуч трубопровід T_1 , верхній праворуч - трубопровід T_2 , нижній ліворуч – трубопровід T_3 , а над ним трубопровід T_4 .

Схему теплових мереж промислового підприємства надано на рисунку 2.4.

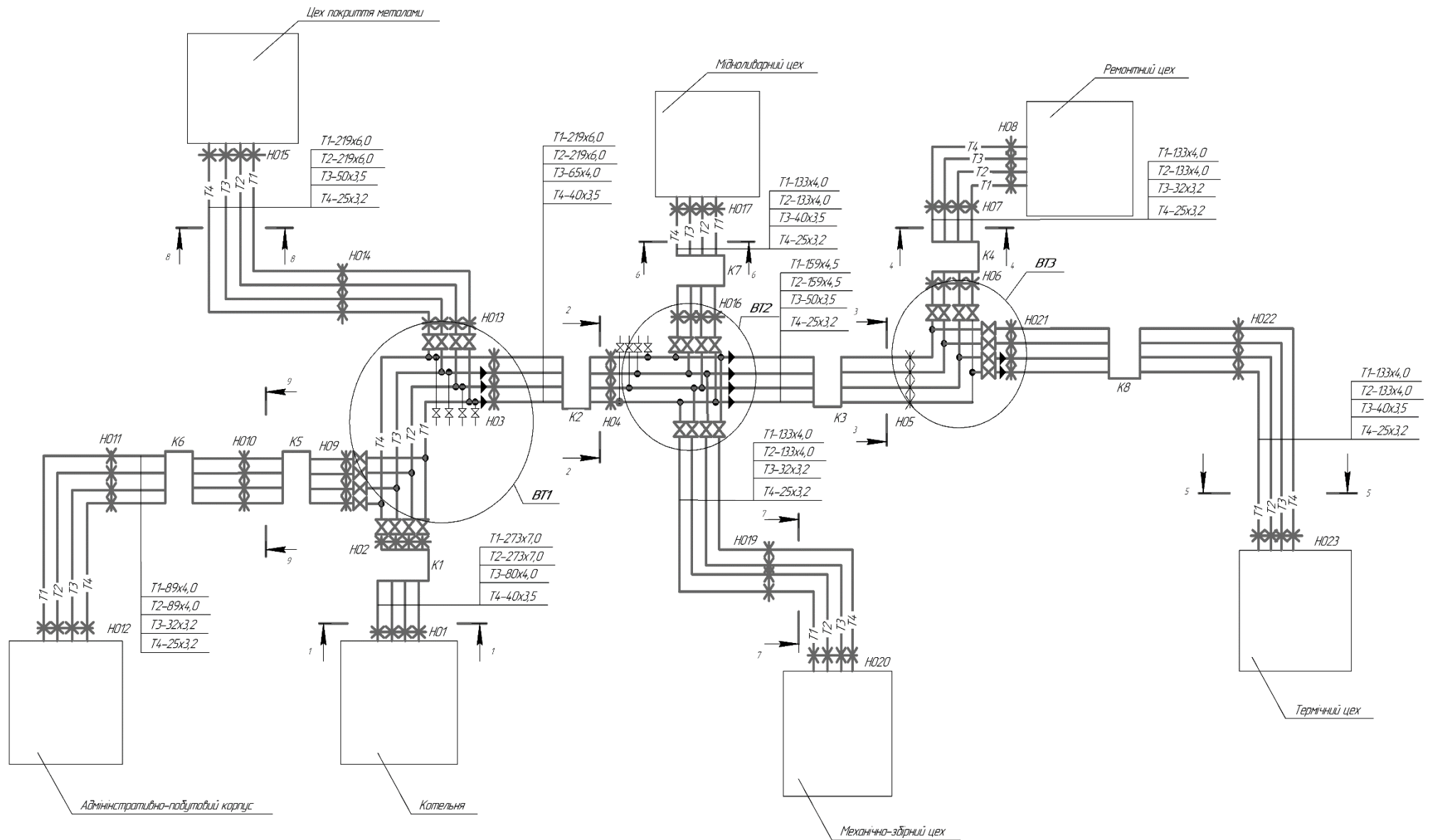


Рисунок 2.4 - Схема теплових мереж промислового підприємства

2.5.5 Розробка профілю теплових мереж

Поздовжній профіль теплових мереж необхідний для виконання земляних і будівельних робіт.

Профіль викреслений в масштабі: горизонтальному 1:1000 і вертикальному 1:100.

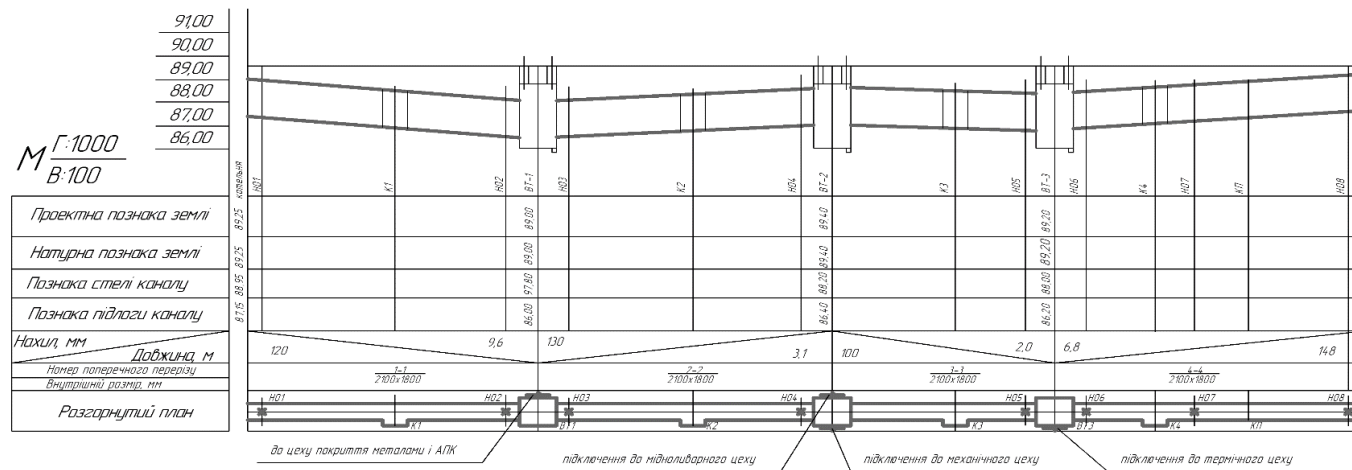
Спочатку нанесено спеціальний формуляр для проставлення чисельних даних розроблювального профілю.

Над формуляром викреслено рівні поверхні землі до планування, будинки, які приєднуються до теплової мережі.

Потім при побудові профілю теплової мережі зображено на ньому теплофікаційні камери, витримуючи необхідні заглиблення камер від поверхні землі на 0,5 м.

Далі намічено прорізи в стінках камер для проходу трубопроводів у камери так, щоб розмістити в них запірні арматури і витримати заглиблення прокладки для каналів 0,5 м.

Поздовжній профіль теплових мереж заводу (головної магістралі і відгалужень від неї) надано на рисунку 2.5.



від ВТ-1 до адміністративно-
побутового корпусу

від ВТ-3 до
термічного цеху

від ВТ-2 до механічного-
збірного цеху

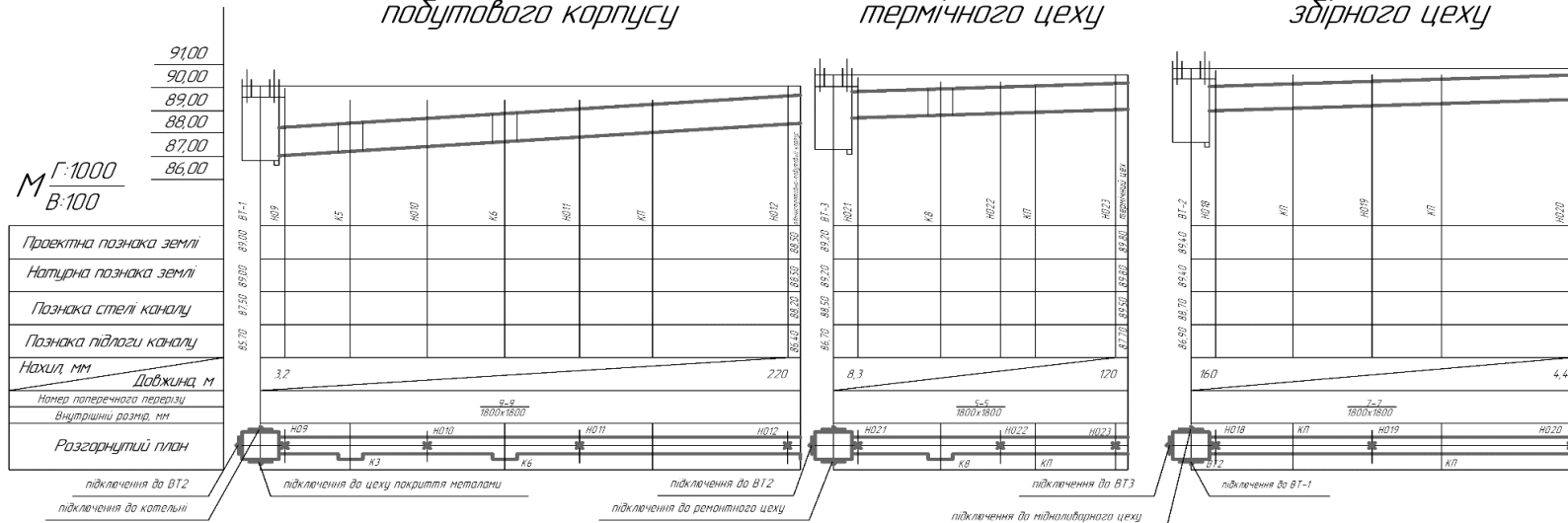


Рисунок 2.5 - Поздовжній профіль теплових мереж заводу

2.6 Розрахунок і вибір насосного устаткування

У водяних теплових мережах насоси використані для створення заданих тисків і подачі необхідної кількості води до споживачів теплоти.

Мережні насоси створюють циркуляцію води в системі теплопостачання, а підживлювальні – компенсують втрати води і підтримують необхідний рівень п'єзометричних ліній, як при статичному, так і при динамічному режимах. Кількість мережних насосів приймається не менш двох, з яких один резервний. У закритих системах теплопостачання встановлюється не менш двох підживлювальних насосів, з яких один є резервним.

Для мережних насосів продуктивність G_d визначено по розрахунковій витраті води на головній ділянці теплової мережі за формулою, кг/с

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + K_3 \cdot G_{hm}, \quad (2.50)$$

$$G_d = 25,01 + 31,94 + 0,5,14 = 56,95.$$

Напір мережного насоса H_{MH} визначено за формулою, м

$$H_{MH} = \Delta H_{mn} + \Delta H_{II} + \Delta H_{3e} + \Delta H_a + H_k, \quad (2.51)$$

$$H_{MH} = 10 + 3,42 + 3,42 + 14 + 23 = 53,84,$$

де ΔH_{mn} - втрати напору в тепловому пункті, м (прийнято підігрівниках одного ступеня 1 МПа);

$\Delta H_{II}, \Delta H_{3e}$ - втрати напору в подавальному та зворотному магістральному трубопроводі, м ($\Delta H_{II} + H_{3e} = 3,42 + 3,42 = 6,84$ м);

ΔH_a - необхідний напір на введенні останнього споживача, м (за

завданням прийнято рівним 14 м вод. ст.);

H_k - втрати напору у водогрійному котлоагрегаті, МПа (прийнято 0,23 МПа або 23 м вод. ст.).

За даними параметрами роботи мережних насосів G_d (кг/с), H_H (м), використовуючи робочі характеристики які наведені в таблиці 2.13, насос 1Д315-71 [4] (2 шт., 1 - робочий, 1 - резервний).

Таблиця 2.13 - Основні технічні параметри насоса 1Д315-71

Найменування	Параметри
Продуктивність, кг/с (м ³ /год.)	87 (315)
Напір, м	71
Число обертів, об./хв.	2900
Потужність насосу, кВт	93
ККД насосу, %	80
Вага насосу, кг	190



Рисунок 2.6 - Загальний вигляд насоса (без двигуна) 1Д315-71

Продуктивність підживлювальних насосів для закритих систем тепlopостачання приймають з розрахунку компенсації витоків в кількості 0,75 % від обсягу води, що знаходиться в трубопроводах, і в безпосередньо приєднаних абонентських системах.

Розрахункову витрату води для підживлення закритої теплової мережі $G_{\text{підж}}$ визначено за формулою, кг/с

$$G_{\text{підж}} = \frac{0,75}{100} \cdot [(Q_{o,v \max}^{\text{житл}} + Q_{hm}^{\text{жс}}) \cdot g_{\text{сист}}^{\text{жс}}] \cdot \frac{K_{\text{вит}}}{3600}, \quad (2.52)$$

де $Q_{o,v \max}^{\text{житл}}$ - розрахунковий відпуск теплоти з котельні на опалення і вентиляцію для житлового комплексу, МВт;

$Q_{hm}^{\text{жс}}$ - розрахунковий відпуск теплоти на гаряче водopостачання в добу найбільшого споживання для житлового комплексу, МВт;

$g_{\text{сист}}^{\text{жс}}$ - питомий обсяг мережної води, що знаходиться в зовнішніх мережах житлового комплексу, кг/МВт. Прийнято $g_{\text{сист}}^{\text{жс}} = 65000$ кг/МВт;

$K_{\text{вит}}$ - коефіцієнт зниження витоків у системі тепlopостачання,

$$K_{\text{вит}} = 1,0$$

$$G_{\text{підж}} = \frac{0,75}{100} \cdot [(6,73 + 8,59 + 0,96) \cdot 65000] \cdot \frac{1}{3600} = 2,2.$$

Величину напору підживлювального насосу $H_{\text{ни}}$ визначено за формулою, м

$$H_{\text{ни}} = H_c + \Delta H + Z, \quad (2.53)$$

де H_c - статичний напір у мережі стосовно осі підживлювального насоса, м;

ΔH - втрати напору в трубопроводах підживлювальної лінії від підживлювального баку до точки приєднання до теплової мережі, м;

Z - різниця відміток між віссю насосу і нижнім рівнем води в підживлювальному баку, м. Прийнято $Z=0,5$ м

$$H_{\text{тн}} = 28,53$$

За даними параметрам роботи підживлювальних насосів $G_{\text{підж}}$ (кг/с), $H_{\text{тн}}$ (м), використовуючи робочі характеристики, ВК 10/45 [5] (2 шт., 1 - робочий, 1 - резервний) [5].

Таблиця 2.14 - Основні технічні параметри насоса ВК 10/45

Найменування	Параметри
Продуктивність, кг/с (м ³ /год.)	10 (36)
Напір, м	45
Число обертів, об./хв.	1450
Потужність насосу, кВт	27
ККД насосу, %	50
вага насосу, кг	50



Рисунок 2.7 - Загальний вигляд насоса ВК 10/45

2.7 Теплові втрати теплових мереж

Теплова ізоляція теплопроводів є конструкцією, виготовленою з матеріалів із малою теплопровідністю, що нанесена на зовнішні поверхні труб для зменшення теплових втрат. Передбачена для теплопроводів теплових мереж, арматури, фланцевих з'єднань, компенсаторів та опор труб.

Температура на поверхні ізоляційної конструкції, розташованої в виробничих приміщеннях (в тому числі ЦТП, ІТП) не повинна перевищувати 45 °С для теплопроводів з температурою теплоносія більше 100 °С. При прокладці в каналах, камерах, інших місцях, доступних для обслуговування, вона не повинна перевищувати 60 °С.

Товщина основного шару теплоізоляційної конструкції теплопроводів не розраховувалася, а була прийнята за рекомендаціями. В якості основного шару вибрано в залежності від діаметру труб мати зі скляного штапельного волокна на синтетичному зв'язуючому в рулонах і ровінг (джгут) зі скляних комплексних ниток.

Для захисту теплопроводів від корозії і кращого нанесення ізоляційного шару передбачено нанесення антикорозійного покриття на поверхні теплопроводів (тобто фарбування масляно-бітумною фарбою БТ-177 у два шари по ґрунту ГФ-021), а зверху ізоляції покривний шар фольги алюмінієвої дубльованої для теплоізоляційних конструкцій.

2.8 Визначення об'єму земляних робіт, об'єму ізоляційних конструкцій, площ антикорозійного покриття і поверхневого шару теплопроводів

При складанні відомості об'ємів робіт з монтажу системи тепlopостачання визначено об'єм розроблюваного ґрунту при земляних роботах (ритті траншей, котлованів, зворотній засипці), об'єм ізоляційних конструкцій теплопроводів, площі їх антикорозійного покриття і

поверхневого шару.

Об'єм розроблюваного ґрунту V_{zp} , визначено за формулою, м³

$$V_{zp} = \frac{A + A + 2 \cdot 0,5}{2} \cdot H_{сер} \cdot L, \quad (2.54)$$

де A - ширина дна траншеї, м. Визначена в залежності від зовнішніх розмірів лотка каналу, встановленого в траншеї (див. рис. 2.6)

$$A = a_1 + 2 \cdot 0,2, \quad (2.55)$$

де a_1 - ширина лотків каналу (за зовнішніми розмірами), м;

0,2 - мінімальна відстань від стінки лотками до стінки траншеї, м;

$(A+2 \cdot 0,5)$ - ширина верху траншеї, м;

$H_{сер}$ - середня глибина траншеї, м

$$H_{сер} = h_{сер} + 0,2, \quad (2.56)$$

де $h_{сер}$ - середня глибина залягання підлоги каналу на певній ділянці, м (за поздовжнім профілем);

0,2 - глибина доробки дна траншеї вручну після землерийної техніки з метою його вирівнювання, м;

L - довжина траншеї, м.

Так для поперечного перерізу 1-1

$$A = 2,3 + 2 \cdot 0,2 = 2,7,$$

$$V_{ep} = \frac{2,7 + 2,7 + 2 \cdot 0,5}{2} \cdot 2,55 \cdot 120 = 979,2 \text{ м}^3.$$

Результат розрахунку занесено до таблиці 2.15.

Об'єм землі при зворотній засипці $V_{зв}$, визначено як різницю між об'ємом розроблюваного ґрунту і об'ємом лотків каналів (за зовнішніми розмірами) за формулою $V_{зв}$, м^3

$$V_{зв} = V_{ep} - V_{лотк}, \quad (2.57)$$

$$V_{лотк} = A \cdot H_{сер} \cdot L = 2,3 \cdot 2 \cdot 120 = 552 \text{ м}^3,$$

$$V_{зв} = V_{ep} - V_{лотк} = 979,2 - 552 = 427,2 \text{ м}^3.$$

Об'єм ізоляції трубопроводу $V_{із}$, визначено за формулою, м^3

$$V_{із} = v_{із} \cdot l_{тр}, \quad (2.58)$$

де $v_{із}$ - об'єм ізоляції на 1 м довжини трубопроводу при його певній товщині, м^3 ;

$l_{тр}$ - довжина ділянки трубопроводу, м.

Площу антикорозійного покриття $S_{ант}$, визначено за формулою, м^2

$$S_{ант} = s_{ант} \cdot l_{тр}, \quad (2.59)$$

де $S_{ант}$ - площа антикорозійного покриття 1 м довжини трубопроводу певного діаметру, м^2 .

Площу поверхневого шару трубопроводу $S_{пов}$ визначено за формулою, м^2

$$S_{нов} = s_{нов} \cdot l_{тр}, \quad (2.60)$$

де $s_{нов}$ - площа поверхневого шару 1 м довжини трубопроводу певного діаметру, м².

Так для поперечного перерізу 1-1 для трубопроводів Т₁, Т₂

$$V_{із} = 0,05 \cdot 240 = 12,$$

$$S_{ант} = 1,17 \cdot 120 = 280,8,$$

$$S_{нов} = 0,86 \cdot 120 = 206,4.$$

Результати розрахунків об'єму ізоляції, площ антикорозійного покриття і поверхневого шару трубопроводів для перерізу 1-1 занесені до таблиці 2.15.

Розрахунків об'ємів розроблюваного ґрунту, об'ємів ізоляції, площ антикорозійного покриття і поверхневого шару трубопроводів для інших поперечних перерізів виконані аналогічно, їх результати занесені до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 - Вихідні дані для складання об'ємів робіт з монтажу системи тепlopостачання

№ поперечного перерізу	Діаметр грубо-проводу Dн x δ, мм	Сумарна довжина трубопроводу, м	Довжина каналу, м	Внутрішні розміри каналу, мм	Зовнішні розміри каналу АxН, мм	Витрати матеріалу (бетон), м3		Кількість вийнятого ґрунту, м3		Об'єм ізоляції, м3		Площа поверхневого шару, м2		Антикорозійне покриття, м2	
						на 1 лоток	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.
1-1	273x7,0	240	120	(2100x1800)	(2300x2000)	6,66	532,8	8,16	979,2	0,05	12	1,17	280,8	0,86	206,4
	80x4,0	120								0,020	2,4	0,55	66	0,24	28,8
	40x3,5	120								0,014	1,68	0,43	51,6	0,12	14,4
2-2	219x6,0	260	130	(2100x1800)	(2300x2000)	6,66	577,2	9,6	1248	0,042	10,92	1,00	260	0,69	179,4
	65x4,0	130								0,020	2,6	0,55	71,5	0,24	31,2
	40x3,5	130								0,014	1,82	0,43	55,9	0,12	15,6
3-3	159x4,5	200	100	(2100x1800)	(2300x2000)	6,66	444	9,6	960	0,033	6,6	0,81	162	0,50	100
	50x3,5	100								0,015	1,5	0,47	47	0,15	15
	25x3,2	100								0,012	1,2	0,36	36	0,08	8
4-4	133x4,0	296	148	(2100x1800)	(2300x2000)	6,66	657,12	8,16	1207,68	0,029	8,584	0,73	216,08	0,42	124,32
	32x3,2	148								0,014	2,072	0,43	63,64	0,12	17,76
	25x3,2	148								0,012	1,776	0,36	53,28	0,08	11,84

Продовження таблиці 2.15

№ поперечного перерізу	Діаметр трубопроводу Dн x δ, мм	Сумарна довжина трубопроводу, м	Довжина каналу, м	Внутрішні розміри каналу, мм	Зовнішні розміри каналу АхН, мм	Витрати матеріалу (бетон), м3		Кількість вийнятого ґрунту, м3		Об'єм ізоляції, м3		Площа поверхневого шару, м2		Антикорозійне покриття, м2	
						на 1 лоток	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.
5-5	133x4,0	240	120	(1800x1800)	(2000x2000)	6	480	6,67	800,4	0,029	6,96	0,73	175,2	0,42	63,84
	40x3,5	120								0,014	1,68	0,43	51,6	0,12	9,12
	25x3,2	120								0,012	1,44	0,36	43,2	0,08	6,08
6-6	133x4,0	152	76	(1800x1800)	(2000x2000)	6	304	6,67	506,92	0,029	4,408	0,73	110,96	0,42	63,84
	40x3,5	76								0,014	1,064	0,43	32,68	0,12	9,12
	25x3,2	76								0,012	0,912	0,36	27,36	0,08	6,08
7-7	133x4,0	320	160	(2100x1800)	(2300x2000)	6,66	666	6,67	1067,2	0,029	8,7	0,73	219	0,42	126
	32x3,2	160								0,014	2,1	0,43	64,5	0,12	18
	25x3,5	160								0,012	1,8	0,36	54	0,08	12
8-8	219x4,0	368	184	(1800x1800)	(2000x2000)	6	736	7,83	1440,72	0,042	15,456	1,00	368	0,69	253,92
	50x3,5	184								0,015	2,76	0,47	86,48	0,15	27,6
	25x3,2	184								0,012	2,268	0,36	66,24	0,08	14,72

Продовження таблиці 2.15

№ поперечного перерізу	Діаметр трубопроводу Dн x δ, мм	Сумарна довжина трубопроводу, м	Довжина каналу, м	Внутрішні розміри каналу, мм	Зовнішні розміри каналу АxН, мм	Витрати матеріалу (бетон), м3		Кількість вийнятого ґрунту, м3		Об'єм ізоляції, м3		Площа поверхневого шару, м2		Антикорозійне покриття, м2	
						на 1 лоток	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.	на 1 п.м	заг.
9-9	89x4,0	440	220	(1800x1800)	(2000x2000)	6	880	7,83	1722,6	0,022	9,68	0,59	259,6	0,28	123,2
	32x3,2	220								0,014	3,08	0,43	94,6	0,12	26,4
	25x3,2	220								0,012	2,64	0,36	79,2	0,08	17,6
Сума по Т1, Т2						5277,1 2	-	9932,42	-	83,308	-	2051,64	-	1277,88	
Сума по Т3, Т4 (>Ø50)										5		1044,78		298,12	
(<=Ø50)										29,792		3096,42		1576	
Сума по системі										118,1					

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі запроєктовано надійну, економічну і технічно-обґрунтовану систему тепlopостачання промислового підприємства, споживачами якого місцеві системи опалення, вентиляції і гарячого водopостачання різних цехів. Розроблена схема приготування гарячої води на потреби гарячого водopостачання.

В гідравлічному розрахунку за допомогою нормативної і довідкової літератури виконано розрахунки щодо вибору найбільш оптимальних діаметрів, визначені втрати тиску і напору на кожній із ділянок тепломереж. Розроблені план, схема, профіль теплових мереж, поперечні перерізи непрохідних каналів. По сумарних витратах теплоти на промисловий комплекс підібрано основне устаткування котельної - водогрійні котли KB-ГМ-4-150 та KB-ГМ-23,26-150, мережні насоси типу 1Д315-71 і підживлювальні насоси типу ВК10/45.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ-Н Б.В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2010-11-01] – Київ: Мінрегіонбуд, 2010. 127 с.
2. Дані про рельєф: веб сайт. URL: <http://geo.pnpu.edu.ua/relief.php> (дата звернення 01.03.2022)
3. Технічні характеристики водогрійних котлів: веб сайт. URL: <https://dkm.ru/for-developers/documentation/> (дата звернення 09.03.2022)
4. Слобожанський електромеханічний завод, насос 1Д315-71: веб сайт. URL:<https://konsolnik.com.ua/nasosy-dvustoronnego-vkhoda-d-1d/nasos-1d315-71/> (дата звернення 15.03.2022)
5. Слобожанський електромеханічний завод, насос ВК10/45: веб сайт. URL: <https://konsolnik.com.ua/nasosyi-vihrevyie-vk-vks/nasos-vk-10-45/> (дата звернення 15.03.2022)
6. ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі. [Чинний від 2009-01-07] - Київ, Мінрегіонбуд України, 2009. 56 с.
7. ДБН В.2.5-67. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ, 2014. (Інформація та документація)
8. ДСТУ Б В.2.7-107. Будівельні матеріали. [Чинний від 2010-01-01]. Київ, 2010. (Інформація та документація)
9. ДСТУ Б В.2.6-189. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу. [Чинний від 2014-01-01]. Київ, 2014. (Інформація та документація)
10. Варламов Р. Б., Любчик Р. М., Маляренко С. А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник. – К: ІВЦ "Політехніка", 2003. 232 с.
11. Васильчук М.В. та ін. Основи охорони праці: Проб. підручник для учнів проф. – техн. навч. закладів / Васильчук М.В., Винокуров Л.Е., Тесленко М.Я. К.: Просвіта, 1997. 208 с.
12. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони

праці: Підручник. 3-є вид. / За ред. М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2006. 392 с.

13. Anatoliy Pavlenko, Valeriy Ivanovich Deshko, Andrii O. Cheilytko, Iryna Sukhodub. Efficiency of using energy in the housing sector. Monografie. *Kielce: Kielce University of Technology*. 2020. P.147 ISBN 978-83-65719-97-3.

14. Bryson, T., Major, W., and Darrow, K., Assessment of On-Site Power Opportunities in the Industrial Sector, ORNL/TM-2001/169, prepared by Onsite Energy Corp. for the Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, September 2001.

15. Elliott, R. N., Vendors as Industrial Energy Service Providers, *American Council for an Energy-Efficient Economy*, Washington, D.C., July 2002.

16. Iannucci, J., Horgan, S., Eyer, J., and Cibulka, L., Air Pollution Emission Impacts Associated with Economic Market Potential of Distributed Generation in California, prepared for the California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, prepared by Distributed Utility Associates, Livermore, California, June 2000.

17. Limaye, D. R., Industrial Cogeneration Applications, *The Fairmont Press, Inc.*, Lilburn, Georgia, 1987.

18. Limaye, D. R., Planning Cogeneration Systems, *The Fairmont Press, Inc.*, Atlanta, Georgia, 1985.

19. Ткаченко С. Й. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання / С. Й. Ткаченко, М. М. Чепурний, Д. В. Степанов. – Вінниця : ВНТУ, 2005. 137 с.

20. Ільїн С. В. Чейлитко А. О. Кушнір С. М. Черненко Т. В. Енергетична ефективність будівель та інженерних систем: монографія. Запоріжжя: Видавничий дім "Гельветика", 2021. 180 с.

21. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіобуд України, 2013. 101 с.

22. Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання : навч. посіб. /В.В.Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», 2011. 116 с.

23. ДБН В.2.5-56:2010. Державні будівельні норми. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2011-10-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 34 с.

24. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999-12-01]. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1999. 15 с.

25. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Чинний від 1999-12-01]. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1999. 35 с.

26. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробних приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. – Київ, 1999.

27. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні. [чинний з 01.01.2013] – К.: НДІБК, 2011. 229 с. – (Державний стандарт України).

28. ДБН В.1.1-7:2016. Правила пожежної безпеки в Україні. [чинний з 2017.06.01] Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 39 с.

29. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2017-05-01]. Офіц. Вид. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017.

30. Кравченко В. С., Саблій Л. А. Гаряче водопостачання будівель: Навч. Посібник. – Рівне: Рівненський державний технічний університет, 1999. 74 с.

31. Левцев А.П., Ванін А.Г. Проектування теплопостачання підприємств (курсове проектування): Навчальний посібник. -Саранськ: Вид-во Мордов. ун-ту, 2000. 160 с.

32. Межев А.М. Теплопостачання промислових підприємств. Навчальний посібник. - Ленінград: ЛТІЦБП, 1965. 295 с.

33. Методичні вказівки щодо теплових та гідравлічних розрахунків пластинчастих теплообмінників (водоподогрівачів), що застосовуються в системах тепlopостачання. Тарадай А. М. «Харківтеплоенерго», 1998. 49 с.

34. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби на Україні. –Київ: КТМ 204 України 244-94, 1996. 636 с.

35. Пешехонов Н.И. Проектирование теплоснабжения. –Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. 328 с.

36. Правила користування тепловою енергією. /Міністерство енергетики України, Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – Київ, 1999. 74 с.

37. Правила технічної експлуатації систем тепlopостачання комунальної енергетики України / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. – Київ : 1999. 200 с.

38. Рекомендації з проектування теплових мереж з попередньоотеплогідрозольованих труб. Видав. ВАТ “Енергоресурс”. – Львів, 2001.

39. Система труб та деталей трубопроводів теплових мереж з тепловою ізоляцією з поліуретану і захисною оболонкою. Каталог виробів та рекомендації з використання і проектування. ВАТ “Завод сантехнічних заготовок”. 160 с.