

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теплотехніки і теплових двигунів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять і контрольної роботи
з дисципліни**

«ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ»

Харків – 2018

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки і теплових двигунів 19 березня 2018 р., протокол № 11.

Методичні вказівки призначені для виконання практичних занять з дисципліни «Теплові мережі» студентами денної та заочної форм навчання за спеціальністю 144 – «Теплоенергетика».

Укладачі:

доц. Г. В. Біловол,
старш. викл. В. К. Кадневський,
асист. О. В. Клецька

Рецензент

доц. О. М. Шкрегаль

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і контрольної роботи
з дисципліни

«ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ»

Відповідальний за випуск Біловол Г. В.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 05.04.18 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 2,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Програма дисципліни «Теплові мережі».....	5
2 Розрахунок витрат теплоти в житловому будинку.....	8
3 Визначення потреб у теплоті міського району.....	16
4 Вибір акумулятора теплоти.....	19
5 Визначення витрат теплоносія на ділянках мережі.....	23
6 Гідравлічний розрахунок теплової мережі.....	29
7 Побудова п'єзометричного графіка.....	31
8 Визначення напорів у тепловій мережі за п'єзометричним графіком.....	35
9 Оцінювання роботи системи теплопостачання за допомогою температурних графіків.....	37
10 Вибір компенсаторів та опор теплопроводів.....	39
11 Розрахунок теплових втрат у теплопроводах.....	43
12 Розрахунок зниження температури води в мережі.....	46
Список літератури.....	48
Додаток А. Деякі властивості води.....	49
Додаток Б. Розрахункові параметри атмосферного повітря.....	50
Додаток В. Кліматологічні дані для деяких міст України.....	51
Додаток Г. Розподіл однакових температур атмосферного повітря за часом опалювального періоду.....	52
Додаток Д. Найбільші питомі витрати теплоти на опалення будинків.....	53
Додаток Е. Сортамент сталевих труб.....	55
Додаток Ж. Густина води при температурі (100-200) °С.....	56
Додаток И. Розміри типових компенсаторів.....	57
Додаток К. Розміщення теплопроводів у непрохідних каналах.....	58
Додаток Л. Теплоізоляційні матеріали.....	59
Додаток М. Норми питомих втрат теплоти в теплопроводах	60

ВСТУП

Ці методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форм навчання з напрямку підготовки та за спеціальністю «Теплоенергетика».

Наведений у вказівках загальний обсяг завдань розрахований на проведення практичних занять, передбачених навчальним планом для студентів денної форми навчання з напрямку підготовки «Теплоенергетика». Студенти заочної форми навчання виконують за даними вказівками практичні заняття в обсязі, передбаченому навчальним планом, а решту завдань опрацьовують самостійно під час вивчення дисципліни «Теплові мережі». Студенти денної форми навчання з напрямку підготовки «Теплоенергетика», а також студенти денної і заочної форм навчання та слухачі інституту перепідготовки або підвищення кваліфікації за спеціальністю «Теплоенергетика» можуть використовувати методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи (дипломного проекту).

У розділі 1 вказівок наведено програму дисципліни «Теплові мережі» для студентів УкрДУЗТ напрямку підготовки «Теплоенергетика». Ознайомлення з програмою сприятиме самостійному вивченню дисципліни студентами всіх форм навчання. У програмі обсяги навчальних годин за окремими темами (модулями) вказано для студентів денної форми навчання протягом семестру, що містить 15 навчальних тижнів з щотижневим розподілом: 4 години аудиторних занять і 4 години самостійної роботи.

На джерела інформації є посилання у вказівках до виконання кожного завдання.

Для індивідуального виконання практичних занять і самостійної роботи в кожному завданні наведено 10 варіантів вихідних даних. Варіант вихідних даних обирається за останньої цифрою шифру або за вказівкою викладача.

1 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ «ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ»

1.1 Зміст лекцій

МОДУЛЬ 1. Потреби в енергії та схеми систем

Змістовий модуль 1. Споживачі і джерела теплової енергії

Мета і завдання курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами. Системи централізованого теплопостачання, теплофікація та її розвиток. Проблеми експлуатації сучасних систем теплопостачання.

Теплове навантаження та його класифікація. Укрупнені методи розрахунку потреб в енергії для опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, промислових споживачів. Режими споживання і виробництва теплової енергії, графіки теплопостачання та їх характеристики. Акумуляування теплоти, розрахунок і вибір акумуляторів.

Змістовий модуль 2. Схеми систем теплопостачання

Теплоносії та їх особливості. Водяні системи теплопостачання та їх класифікація, однотрубні та багатотрубні, відкриті та закриті системи. Залежні і незалежні схеми приєднання споживачів, схеми приєднання до теплових мереж опалювального устаткування, устаткування для гарячого водопостачання та вентиляції, змішувальні пристрої та їх призначення. Приєднання до теплової мережі різнорідних споживачів. Особливості парових систем і схем приєднання споживачів пари. Вибір теплоносія і системи теплопостачання.

Гідравлічний розрахунок теплової мережі: вихідні дані, основні поняття, завдання розрахунку, його методика та порядок проведення. П'єзометричний графік, його призначення, побудова та використання. Основні вимоги до роботи мережі, що стосуються величин тиску.

МОДУЛЬ 2. Регулювання теплопостачання та обладнання мереж

Змістовий модуль 3. Регулювання теплопостачання

Види регулювання теплопостачання: центральне, групове, місцеве, індивідуальне. Ступені регулювання, що використовуються на практиці. Параметри теплоносія, за допомогою яких можна здійснювати різні види регулювання. Методи центрального регулювання: якісний, кількісний, якісно-кількісний і їх застосування на практиці.

Змістовий модуль 4. Обладнання теплових пунктів і мереж

Основне обладнання теплових пунктів: насоси, теплообмінники, елеватори, фільтри, арматура, контрольно-вимірювальні прилади та засоби автоматизації. Характеристики елеваторів. Будова теплопроводів, надземне та підземне прокладення теплопроводів, їх профіль, опори рухомі і нерухомі, камери і павільйони. Температурні подовження теплопроводів, їх компенсація, радіальні та осьові компенсатори. Теплова ізоляція трубопроводів і її особливості, визначення теплових втрат у трубопроводах і зниження температури теплоносія.

1.2 Курсова робота

Тема курсової роботи «Розрахунок параметрів теплової мережі».

Навчальне навантаження на студента складає 30 годин (1 кредит) за рахунок годин, відведених на індивідуально-консультативну роботу.

Курсова робота – окремий модуль навчального курсу, який оцінюється як самостійний вид навчальної діяльності студента і складається з двох змістових модулів: виконання курсової роботи і оформлення та захист курсової роботи.

Видача завдання з курсової роботи здійснюється на першому тижні семестру, термін захисту роботи – 15-й тиждень семестру.

1.3 Методичне забезпечення

1 Савенко, В. В., Розрахунок параметрів теплової мережі [Текст]: метод. вказівки до курс. роботи з дисц. «Теплові мережі» та дипломного проектування / В. В. Савенко, О. В. Гришина, Г. В. Біловол. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – 21 с.

2 Савенко, В. В. Методичні вказівки до практичних занять і контрольної роботи з дисципліни «Теплові мережі» [Текст] / В. В. Савенко. – Харків : УкрДАЗТ, 2005. – 23 с.

1.4 Рекомендована література

Базова

3 Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 360 с.

4 Сафонов, А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям [Текст] / А. П. Сафонов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.

Допоміжна

5 Эксплуатация тепловых пунктов систем теплоснабжения [Текст] / В. П. Витальев, В. Б. Николаев, Г. А. Порывай, Н. Н. Сельдин. – М. : Стройиздат, 1985. – 382 с.

6 Єнін, П. М. Теплопостачання. Ч. 1 «Теплові мережі та споруди» [Текст]: навч. посібник / П. М. Єнін, Н. А. Швачко. – К. : Кондор, 2007. – 244 с.

7 Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: справ. пособие / Л. Д. Богуславский [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 624 с.

1.5 Інформаційні ресурси

- 1 НТБ УкрДУЗТ (Харків, майдан Феєрбаха, 7).
- 2 Медіатека УкрДАЗТ (Харків, майдан Феєрбаха, 7).
- 3 ХДНБ ім. В.Г. Короленка (Харків, пров. Короленка 18).
- 4 Харківський ЦНТЕІ (Харків, просп. Гагаріна, 4).

1 РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ТЕПЛОТИ В ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ

2.1 Завдання та вихідні дані

Визначити розрахункові теплові потоки на опалення і гаряче водопостачання багатоповерхового житлового будинку та річні витрати теплоти. Річні витрати теплоти розрахувати за різними формулами та шляхом побудови річного графіка теплоспоживання. Порівняти результати розрахунків трьома способами та зробити відповідні висновки.

Вихідні дані за варіантами завдання наведено в таблиці 2.1. Варіанти автоматизації системи опалення прийняти самостійно. Розрахункову температуру повітря у приміщеннях будинку прийняти в межах (18 – 22) °С. Регулярні теплонадходження в будинок прийняти в межах (10 – 15) % розрахункових теплових втрат будинку.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані за варіантами завдання

Показник та одиниця вимірювання	Значення показника за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Місто, де розташовано будинок	Вінниця	Донецьк	Запоріжжя	Київ	Львів	Полтава	Слов'янськ	Суми	Харків	Чернігів
Розрахункові теплові втрати будинку, кВт	620	980	960	850	820	940	720	990	950	830
Розрахункова кількість мешканців у будинку	770	996	988	985	980	990	900	998	995	975

2.2 Методичні вказівки

Розрахунковий тепловий потік на опалення будинків і споруд згідно з нормативним документом [1] треба визначати за формулою

$$Q_{op} = b_1 b_2 Q_1 + Q_2 - Q_{втр}, \quad (2.1)$$

де Q_1 – розрахункові теплові втрати через зовнішні огороження будинку у навколишнє середовище;

Q_2 – втрати теплоти від теплопроводів у приміщеннях, що не опалюються;

$Q_{втр}$ – регулярні теплонадходження у приміщення будинку від освітлення, обладнання, людей та інших джерел;

b_1 – коефіцієнт урахування додаткового теплового потоку через округлення типорозміру опалювальних приладів;

b_2 – коефіцієнт урахування додаткових тепловтрат через відсутність теплозахисних екранів в опалювальних приладах.

Розрахунки за формулою (2.1) є об'ємними та потребують великого обсягу даних щодо конструкції будинку і системи опалення та властивостей будівельних матеріалів. Такі розрахунки не входять до завдання, тому складові формули (2.1) наведено у вихідних даних, для чого формула перетворена до вигляду

$$Q_{op} = Q_{тпр} - Q_{втр}, \quad (2.2)$$

де $Q_{тпр}$ – розрахункові теплові втрати будинку.

У вихідних даних розрахункові теплові втрати задано в кіловатах (кВт), а теплонадходження – у відсотках (%) теплових втрат.

Потреби в теплоті на гаряче водопостачання в цілому на всіх мешканців будинку можна знайти за нормами витрат гарячої води, встановленими в нормативному документі [2]. Для житлових будинків норми встановлено, зокрема, на такі

величини: середню витрату води V_{cp} у літрах за добу на одну людину (у роботі [2] її названо нормою витрати води за середню добу); найбільшу витрату води V_{max} у літрах за годину на одну людину (у роботі [2] її названо нормою витрати води за годину найбільшого водоспоживання). Наприклад, для сучасних багатопверхових (не вище 12 поверхів) житлових будинків вказані норми складають $V_{cp}=90$ л/(доба·люд), $V_{max}=9,2$ л/(год·люд).

Відповідно до названих норм теплові потоки на гаряче водопостачання знайдемо за формулами, кВт,

$$Q_{гср} = \rho_v V_{ср} c_v (t_2 - t_x) \frac{n_l}{24 \cdot 3600} \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

$$Q_{гmax} = \rho_v V_{max} c_v (t_2 - t_x) \frac{n_l}{3600} \cdot 10^{-3}, \quad (2.4)$$

де ρ_v – густина води, кг/м³;

c_v – теплоємність води, кДж/(кг·К);

t_2, t_x – температури відповідно гарячої і холодної води, °С;

n_l – розрахункова кількість мешканців у будинку.

Значення ρ_v, c_v наведено в додатку А. Температуру t_2 приймають рівною найменшій температурі, що повинна бути в системі, – 55 °С. При розрахунках систем гарячого водопостачання температуру t_x приймають 5 °С для опалювального періоду, $t_{xl}= 15$ °С для літнього періоду. У формулах (2.3), (2.4) визначаються більші потреби, тому в них треба підставляти температуру t_{x3} .

Річні потреби в теплоті на опалення будинку згідно з роботою [1] треба визначати за формулою, ГДж/р.,

$$Q_{огод} = 0,086 Q_{op} S_{abc} \frac{1}{t_{вр} - t_{нр}}, \quad (2.5)$$

де Q_{op} – розрахунковий тепловий потік на опалення, кВт;

S – кількість градусо-днів опалювального періоду для даної місцевості;

$t_{вр}$ – розрахункова температура повітря в будинку, °С;

$t_{нр}$ – розрахункова для систем опалення температура атмосферного повітря, °С;

a – коефіцієнт, що дорівнює 0,8, який необхідно враховувати, якщо систему опалення обладнано приладами автоматичного зменшення теплової потужності в неробочий час;

b – коефіцієнт, що дорівнює 0,9, який необхідно враховувати, якщо більш ніж 75 % опалювальних приладів обладнано автоматичними терморегуляторами;

c – коефіцієнт, що дорівнює 0,95, який необхідно враховувати, якщо на абонентському вводі встановлено прилади автоматичного пофасадного регулювання.

Кліматологічні дані для деяких міст України за даними роботи [1] наведено в додатку Б.

Формула (2.5) має деякі недоліки та дає похибки у визначенні $Q_{огод}$. Тому на кафедрі «Теплотехніка та теплові двигуни» отримано більш досконалу формулу

$$Q_{огод} = \left(Q_{тнр} \frac{t_{вр} - t_{нсп}}{t_{вр} - t_{нр}} - Q_{втр} \right) \tau_o abc, \quad (2.6)$$

де $t_{нсп}$ – середня за опалювальний період температура атмосферного повітря;

τ_o – тривалість опалювального періоду.

Значення $t_{нсп}, \tau_o$ для деяких міст України за даними нормативного документа [3] наведено в додатку В.

У нормативному документі [4] для розрахунків річної потреби в теплоті на опалення будинків і споруд рекомендується формула, яка суттєво відрізняється від формул (2.5) і (2.6). До її

структури і методики визначення складових зауважень ще більше, ніж до формули (2.5), тому вона не розглядається.

Для визначення річної потреби в теплоті на гаряче водопостачання рік поділяють на два періоди: опалювальний (або зимовий) і літній. За потребами в теплоті на гаряче водопостачання ці періоди відрізняються температурою холодної води (t_{xz} , t_{xl}). Якщо для опалювального періоду $Q_{гср}$ вже визначено за формулою (2.3), то річна потреба в теплоті буде дорівнювати

$$Q_{ггод} = Q_{гср} \left(\tau_o + \tau_l \frac{t_2 - t_{xl}}{t_2 - t_{xz}} \right), \quad (2.7)$$

де τ_l – тривалість літнього періоду.

Річні потреби в теплоті на опалення та гаряче водопостачання можна визначити також шляхом побудови річних графіків теплоспоживання [5-7].

Під *річним графіком теплоспоживання* розуміють графік залежності теплового потоку від часу його споживання.

Для його побудови треба знати залежність потреб у теплоті від температури атмосферного повітря та розподіл цієї температури впродовж року, тобто треба будувати два графіки. Для побудови першого з них, а саме графіка $Q_o = f(t_n)$, можна використати таку просту залежність. Тепловий потік Q_o при $t_n = t_{нр}$ дорівнює розрахунковому потоку $Q_{ор}$. Якщо теплонадходження в будинок відсутні, то величини Q_o при інших температурах t_n можна визначити за формулою [9]

$$Q_o = Q_{ор} \frac{t_{вр} - t_n}{t_{вр} - t_{нр}}. \quad (2.8)$$

Як бачимо з формули (2.8), залежність $Q_o = f(t_n)$ лінійна, для її побудови достатньо мати дві крайні точки графіка. Одна з таких точок відповідає $t_n = t_{нр}$, $Q_o = Q_{ор}$. Опалювальний

період починається і закінчується при $t_H = 8 \text{ }^\circ\text{C}$, тому другу крайню точку треба взяти саме при такій температурі атмосферного повітря. Побудований за цими точками відрізок прямої буде варіантом 1 графіка $Q_O = f(t_H)$. Саме така залежність теплового потоку від температури закладена у формулу (2.5).

Варіант 2 вказаного графіка треба побудувати так. Спочатку побудувати графік $Q_{mn} = f(t_H)$ у такий самий спосіб, як графік $Q_O = f(t_H)$, з урахуванням того, що змінене теплого потоку Q_{mn} відбувається за залежністю (2.8). На відміну від цього, тепловий потік $Q_{вм}$ не залежить від t_H , у всьому інтервалі зміни температури t_H він буде однаковим і дорівнюватиме $Q_{втр}$. Якщо ці два графіки скласти з урахуванням знаків потоків згідно з залежністю (2.2), то отримаємо варіант 2 графіка $Q_O = f(t_H)$, який буде відрізнитись від попереднього (такий варіант зміни теплового потоку закладений у формулу (2.6)).

На цьому ж рисунку показати у прийнятому масштабі величину теплового потоку $Q_{зср}$ для опалювального періоду, яка не залежить від t_H . Тоді можна побудувати сумарний графік теплового потоку залежно від t_H , причому таких графіків буде два у відповідності з двома варіантами графіка $Q_O = f(t_H)$.

Отримані графіки є допоміжними, вони використовуються для побудови річних графіків, які доцільно розташувати на цьому ж рисунку, як показано, наприклад, на рисунку 2.1 (на рисунку показаний тільки один варіант графіка $Q_O = f(t_H)$).

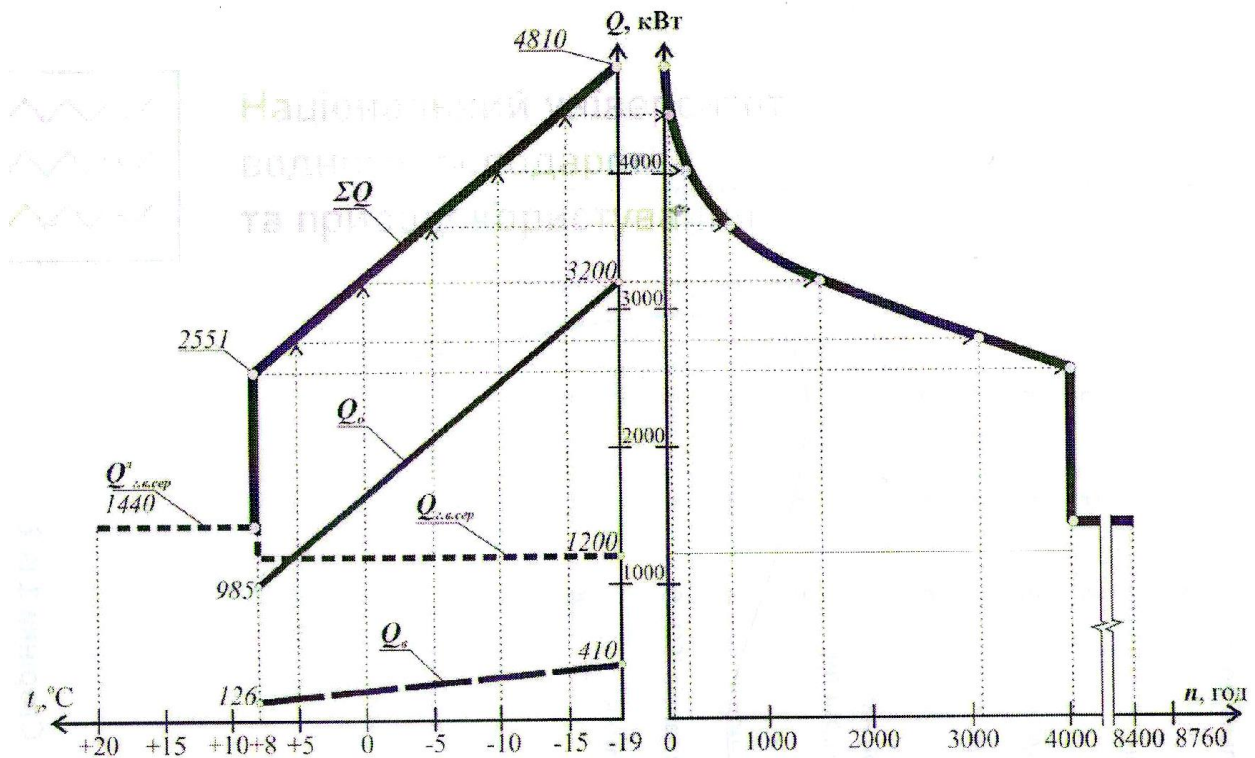


Рисунок 2.1 – Приклад побудови річного графіка теплоспоживання

Для побудови річного графіка використовуються метеорологічні статистичні дані з розподілу температур атмосферного повітря за часом опалювального періоду. Такі дані згідно з роботою [7] наведено в додатку Г. Методика побудови річного графіка з використанням таких даних викладена, наприклад, у роботі [6]. На осі часу цього графіка треба відкладати інтервали часу (додаток В), коли температура t_n буває нижче від даної, а на осі ординат – відповідний цій температурі тепловий потік з графіка $Q_o = f(t_n)$. На перетині вказаних значень відмічаємо точки, кількість яких буде співпадати з кількістю інтервалів температур у вихідних даних (додаток В). З'єднавши всі точки, отримаємо криву бажаного графіка (рисунок 2.1). Цей графік буде стосуватися тільки опалення, причому таких графіків повинно бути два, оскільки раніше побудовано два варіанти графіків $Q_o = f(t_n)$. Якщо до цього графіка додати незмінні значення потреби в теплоті на гаряче водопостачання, то отримаємо графік сумарних потреб у теплоті, але цей графік будувати не обов'язково.

Площа, яка на річному графіку обмежена кривою графіка та осями координат, дорівнює у прийнятому масштабі річній витраті теплоти. За графіком також треба визначити річні витрати теплоти за двома варіантами графіків. Площі під кривими можна визначити різними способами. У даному випадку доцільно поділити площу на окремі трапеції, ширина яких співпадає з інтервалами часу за даними додатка Г, замість розмірів трапецій брати величини часу і теплового потоку, тоді їх площі отримаємо одразу у відповідних одиницях річної потреби в теплоті. При таких розрахунках будуть використовуватись цифрові дані з додатка Г, а не дані з графіка, що зменшує похибки розрахунків.

Якщо площа під кривою буде визначатись в одиницях площі і складе F , то річну потребу в теплоті знайдемо з урахуванням прийнятих масштабів величин за формулою

$$Q_{\text{год}} = Fm_1m_2, \quad (2.9)$$

де m_1, m_2 – прийняті на графіку масштаби величин.

На рисунку 2.1, наприклад, відстань між цифрованими відмітками осі часу складає 26 мм (у масштабі графіка 100 %), тоді масштаб осі часу складе

$$m_1 = \frac{1000 \text{ год} / \text{рік}}{26 \text{ мм}} = 38,5 \frac{\text{год} / \text{рік}}{\text{мм}}$$

Таким чином, будемо мати декілька значень $Q_{\text{год}}$, два з них отримано за різними формулами, два – з різних графіків. Методика побудови графіків не викликає сумнівів, тому отримані з графіків дані слід вважати зразком для перевірки достовірності формул. Залишається встановити, який з двох графіків побудований правильно, для чого треба повернутись до двох графіків $Q_o = f(t_H)$ і визначитись з правильністю побудови кожного з них. Залежно від цього обрати правильний графік і формулу, що відповідає цьому графіку, і встановити похибку розрахунків за іншою формулою та іншим графіком.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБ У ТЕПЛОТІ МІСЬКОГО РАЙОНУ

3.1 Завдання та вихідні дані

Для міського району з вихідними даними за таблицею 3.1 визначити розрахункові теплові потоки на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання. Розрахувати річні потреби району в теплоті та необхідну витрату палива, якщо теплоту будуть виробляти в котельні, що працює на кам'яному вугіллі.

Міста, для яких проводяться розрахунки, взяти з таблиці 2.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані за варіантами завдання

Показник та одиниця вимірювання	Значення показника за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Загальна площа житлових будинків району, млн м ²	1,2	1,6	1,3	1,7	1,5	1,4	1,8	1,6	1,4	1,9

3.2 Методичні вказівки

Необхідні для проектування теплових мереж потреби в теплоті за різними видами теплоспоживання повинні визначатись за відповідними проектами систем споживачів. За відсутності таких проектів розрахункові теплові потоки на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання районів міст (крім підприємств) можуть визначатись за спрощеною методикою, що наведеною в роботі [8].

За цією методикою розрахунковий тепловий потік на опалення житлових і громадських споруд можна визначати за формулою

$$Q_{op} = q_o A(1 + k_1), \quad (3.1)$$

де q_o – питомий (на одиницю загальної площі) тепловий потік на опалення житлових і громадських споруд;

A – загальна площа житлових будинків;

k_1 – коефіцієнт, що враховує тепловий потік на опалення громадських споруд (прийняти 0,3).

Найбільші припустимі значення q_0 встановлені в роботі [1] і наведені в додатку Д.

Розрахунковий тепловий потік на вентиляцію громадських споруд

$$Q_{вр} = q_0 A k_1 k_2, \quad (3.2)$$

де k_2 – коефіцієнт, що враховує тепловий потік на вентиляцію громадських споруд (прийняти 0,2).

Середні теплові потоки на опалення та вентиляцію знайдемо за формулами [8]

$$Q_{оср} = Q_{ор} \frac{t_{вр} - t_{нсп}}{t_{вр} - t_{нр}}, \quad (3.3)$$

$$Q_{всп} = Q_{вр} \frac{t_{вр} - t_{нсп}}{t_{вр} - t_{нр}}, \quad (3.4)$$

де позначення температур ті самі, що у формулі (2.6).

Середній тепловий потік на гаряче водопостачання до житлових і громадських споруд у зимовий період буде дорівнювати

$$Q_{гср} = q_2 n_{л}, \quad (3.5)$$

де q_2 – питомий (на одну людину) середній тепловий потік на гаряче водопостачання.

За даними роботи [8] для будинків середнього рівня комфортності можна приймати $q_2 = 332$ Вт/люд. Розрахункову кількість мешканців району $n_{л}$ можна оцінити за відомою величиною A та питомою житловою площею на одну людину, яку можна приймати (9-12) м²/люд [6].

Найбільший тепловий потік на гаряче водопостачання

$$Q_{2max} = 2,4Q_{2cpr}. \quad (3.6)$$

У неопалювальний період середній тепловий потік на гаряче водопостачання в роботі [8] рекомендується визначати за формулою

$$Q_{2cprл} = Q_{2cpr} \frac{t_2 - t_{хл}}{t_2 - t_{хз}} \beta, \quad (3.7)$$

де β – коефіцієнт, що враховує зміну витрат води в неопалювальний період відносно опалювального періоду. Для звичайних умов у роботі [8] рекомендується приймати $\beta = 0,8$.

За визначеними середніми тепловими потоками річну потребу в теплоті споживачів району можна знайти за формулою

$$Q_{год} = (Q_{оср} + Q_{вср} + Q_{2cpr})\tau_o + Q_{2cprл}\tau_l, \quad (3.8)$$

де τ_o, τ_l – те саме, що у формулах (2.6), (2.7).

Для виробництва цієї теплоти в котельні потрібна річна витрата палива

$$B_k = \frac{Q_{год}}{\eta_k Q_H^p},$$

(3.9)

де η_k – ККД котельні;

Q_H^p – нижча теплота згоряння палива.

Після проведення розрахунків порівняти формули (3.3) і (2.6), звернути увагу на помилки у формулі (3.3), які призведуть до похибки в розрахунку річної витрати теплоти, і визначити цю похибку.

4 ВИБІР АКУМУЛЯТОРА ТЕПЛОТИ

4.1 Завдання та вихідні дані

В одного з великих споживачів системи гарячого водопостачання з нерівномірним добовим графіком теплопостачання планується встановлення акумулятора теплоти. Спрощений добовий графік теплоспоживання відповідає даним таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до вибору акумулятора теплоти

Варіант завдання	Позначення параметра графіка	Значення $\Delta\tau_i$, год, і P_i , МВт, на різних ділянках графіка								
		1	5	2	2	6	2	4	1	1
1	$\Delta\tau_i$	1	5	2	2	6	2	4	1	1
	P_i	1	0,6	0,8	1,2	1	1,3	2,5	2	1
2	$\Delta\tau_i$	2	4	2	2	6	2	4	-	2
	P_i	0,8	0,5	0,7	0,9	0,8	1	2	-	0,8
3	$\Delta\tau_i$	1	4	3	2	6	1	5	1	1
	P_i	0,7	0,4	0,5	0,6	0,5	0,7	2,2	1,8	0,7
4	$\Delta\tau_i$	1	5	2	1	7	2	5	-	1
	P_i	1	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	2,4	-	1
5	$\Delta\tau_i$	-	6	2	-	8	-	6	1	1
	P_i	-	0,6	0,8	-	1	-	2,2	1,5	0,6
6	$\Delta\tau_i$	2	4	-	3	7	2	4	-	2
	P_i	0,8	0,5	-	0,9	0,7	1,3	2	-	0,8
7	$\Delta\tau_i$	1	4	3	2	6	2	4	2	-
	P_i	1	0,6	0,7	1,2	1,1	1,4	2,3	1	-
8	$\Delta\tau_i$	-	6	4	-	6	2	4	2	-
	P_i	-	0,5	0,6	-	1	1,2	2,5	0,5	-
9	$\Delta\tau_i$	2	4	2	2	6	1	5	-	2
	P_i	1	0,6	0,8	1,1	1	1,4	2,2	-	1
0	$\Delta\tau_i$	1	4	3	2	7	-	5	1	1
	P_i	0,9	0,4	0,6	1	0,8	-	2	1,3	0,9

Визначити місткість акумулятора гарячої води та побудувати графік заповнення та спорожнення акумулятора.

У таблиці 4.1 позначено: P_i – теплова потужність споживача; $\Delta\tau_i$ – проміжок часу з однаковою тепловою потужністю, причому перше значення $\Delta\tau_i$ треба відлічувати від 0 годин.

4.2 Методичні вказівки

Питання акумулявання теплоти в системах гарячого водопостачання розглядаються, наприклад, у роботах [1, с. 227-229, 2, с. 142].

Для забезпечення теплою споживача з нерівномірним графіком теплоспоживання треба мати джерело теплоти і теплову мережу, які були б розраховані на найбільшу потужність споживача, що не завжди раціонально. Застосування акумулятора дозволяє постачати споживачу цілодобово однакову теплову потужність, що повинна дорівнювати середньодобовій, яку для умов завдання можна обчислити за формулою

$$P_{cp} = \frac{1}{\tau_c} \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i P_i , \quad (4.1)$$

де τ_c – тривалість доби;

n – кількість проміжків часу в добі з однаковою тепловою потужністю.

Для подальших розрахунків треба за вихідними даними побудувати добовий графік теплоспоживання, тобто залежність

$$P = f(\tau) , \quad (4.2)$$

де τ – час доби.

Далі на графік треба нанести значення P_{cp} . Тоді на графіку можна знайти проміжки часу, коли величина P_{cp} більша, ніж

потужність абонента P_{mi} у цей час. Це означає, що в ці проміжки часу акумулятор повинен заряджатися і за добу він отримає кількість теплоти

$$Q_z = \sum_{i=1}^m (P_{cp} - P_{mi}) \Delta \tau_{mi}, \quad (4.3)$$

де m , $\Delta \tau_{mi}$ – відповідно кількість проміжків часу і проміжки часу, коли $P_{cp} > P_{mi}$.

Також на графіку обов'язково знайдуться проміжки часу, коли P_{cp} менша, ніж потужність абонента $P_{\bar{oi}}$ у цей час. Це відповідає періодам розрядження акумулятора, а добова кількість теплоти, яку одержить споживач з акумулятора, можна знайти за формулою

$$Q_p = \sum_{i=1}^k (P_{\bar{oi}} - P_{cp}) \Delta \tau_{\bar{oi}}, \quad (4.4)$$

де k , $\Delta \tau_{\bar{oi}}$ – відповідно кількість проміжків часу і проміжки часу, коли $P_{cp} < P_{\bar{oi}}$.

Якщо все знайдено правильно, то $Q_z = Q_p$, а теплова ємність акумулятора (без урахування теплових втрат)

$$Q_a = Q_z = Q_p.$$

Маса води в повністю зарядженому акумуляторі

$$G_a = \frac{Q_a}{c_B (t_2 - t_x)}, \quad (4.5)$$

а об'єм води

$$V_a = \frac{1}{\rho_v} G_a, \quad (4.6)$$

де позначення величин і їх значення ті самі, що у формулі (2.4).

Графік заповнення та спорожнення акумулятора зручно будувати у вигляді залежності

$$Q_a = f(\tau), \quad (4.7)$$

тобто як графік зміни теплової ємності акумулятора за часом доби, причому цей графік зручно поєднати з вже побудованим графіком залежності (3.2). При цьому зміну ємності акумулятора впродовж довільного проміжку часу можна визначити за формулами вигляду (4.3) або (4.4). Наприклад, для проміжку часу $\Delta\tau_m$ з незмінною тепловою потужністю P_m зміна (збільшення) теплової ємності акумулятора складе

$$\Delta Q_a = (P_{cp} - P_m)\Delta\tau_m. \quad (4.8)$$

Крім величин зміни ємності ΔQ_a для побудови графіка треба знайти хоча б одне абсолютне значення Q_a у будь-який час доби. У більшості випадків шляхом аналізу вже побудованого графіка залежності (4.2) можна знайти час доби, коли акумулятор повністю заряджений ($Q_a = Q_3$) або повністю розряджений ($Q_a = 0$). Починаючи з цього значення Q_a , послідовно відкладають зміну ΔQ_a і отримують цілодобовий графік. За відсутності помилок через 24 години графік повинен повернутись до того самого значення Q_a , з якого його починали будувати.

Після побудови графіка знайти за його допомогою теплову ємність акумулятора у довільний час доби, наприклад, о 15 годині 30 хвилин.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ТЕПЛОНОСІЯ НА ДІЛЯНКАХ МЕРЕЖІ

5.1 Завдання та вихідні дані

Збільшена схема водяної теплової мережі в однолінійному зображенні наведена на рисунку 5.1. Від джерела теплота подається до ЦТП, один з яких зображений на рисунку, а звідти – до споживачів, що позначені прямокутниками (інші ЦТП та споживачі на рисунку не зображені).

Розподільна мережа (від ЦТП до споживачів) складається з двотрубною мережі для опалення та вентиляції, до якої споживачів приєднано за залежними схемами, і двотрубною мережі гарячого водопостачання з теплообмінниками, встановленими на ЦТП.

Визначити розрахункові витрати води на ділянках розподільної мережі та розрахункову витрату води даним ЦТП з магістральної теплової мережі. Тепловий потік для одного зі споживачів на опалення разом з вентиляцією прийняти рівним величині Q_{op} , що визначена в завданні 2. Для решти споживачів вказаний тепловий потік прийняти самостійно в межах (80 – 140) % Q_{op} . Середні теплові потоки на гаряче водопостачання $Q_{гср}$ для кожного зі споживачів прийняти самостійно в межах (100 – 150) % визначених у завданні 2 величин $Q_{гср}$. Розрахункові температури води в розподільній мережі перед споживачами та в магістральній мережі перед ЦТП прийняти самостійно за таблицею 5.1.

Розрахунки зробити за допомогою комп'ютерної програми.

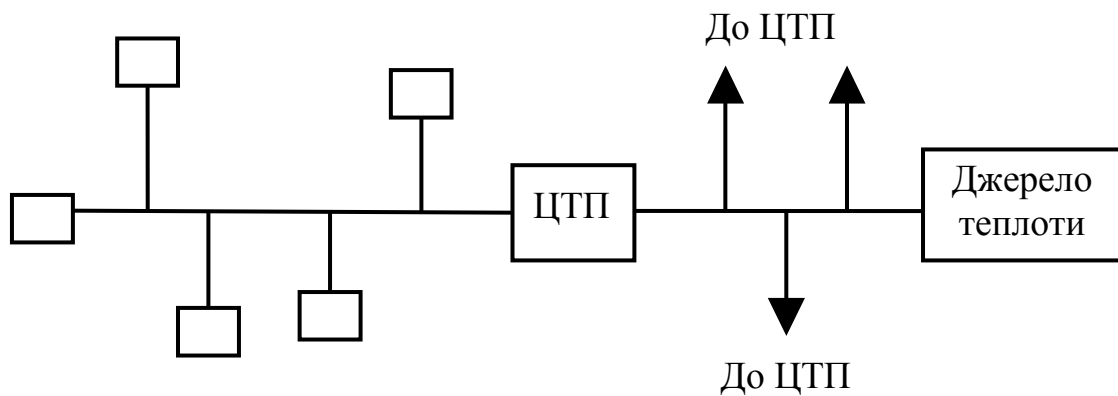


Рисунок 5.1 – Збільшена схема теплової мережі

Таблиця 5.1 – Варіанти розрахункових температур у мережі

Варіант розрахункової температури	Розрахункова температура, °С	
	у розподільній мережі перед споживачем	у магістральній мережі перед ЦТП
1	140/70	150/65
2	130/70	140/65
3	115/70	130/65
4	105/70	115/65

5.2 Методичні вказівки

Для вирішення даного завдання треба зробити розрахункову схему розподільної мережі. Для схеми мережі за рисунком 5.1 розрахункова схема буде відповідати рисунку 5.2.

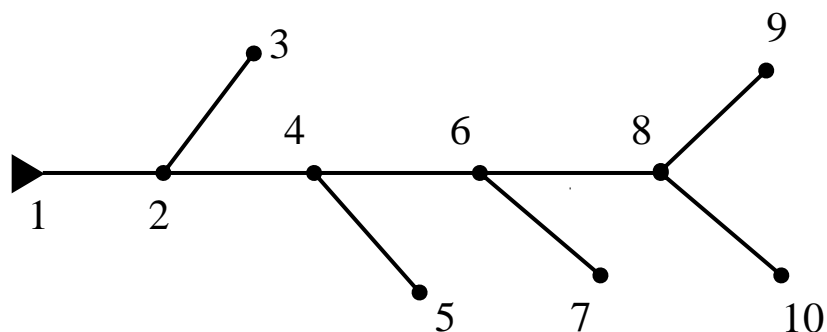


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема теплової мережі

Спочатку треба визначити витрати води в кожного споживача. За рисунками 5.1, 5.2 споживачів 5, вони приєднані

до мережі в кінцевих вузлах 3, 5, 7, 9, 10. За вихідними даними розподільна мережа складається з двох окремих мереж, розрахунки треба проводити для кожної з них.

Розрахункові витрати води на опалення разом з вентиляцією для кожного зі споживачів знайдемо за відомою формулою

$$G_{op} = \frac{Q_{op}}{c_v(t_{o1p} - t_{o2p})}, \quad (5.1)$$

де Q_{op} – розрахунковий тепловий потік на опалення разом з вентиляцією для даного споживача;

t_{o1p} , t_{o2p} – розрахункові температури води відповідно в подавальному та зворотному трубопроводі розподільної мережі (вихідні дані).

Аналогічно знайдемо витрати води в інших споживачів. Для того щоб споживачі одержали знайдені витрати води, за кожною ділянкою мережі треба подавати таку витрату, якої вистачить всім споживачам. Щоб визначити ці бажані для споживачів витрати води, починати розрахунки треба з кінцевих ділянок і виходити з умови, що для кожного вузла мережі сума припливів дорівнює сумі стоків (закон збереження маси). Наприклад, на ділянках 8-9 та 8-10 (рисунок 5.2) витрати води повинні бути такими самими, як у споживачів відповідно 9 та 10, тобто

$$G_{89} = G_9; \quad G_{810} = G_{10}. \quad (5.2)$$

Тоді на ділянці 6-8 витрата води дорівнюватиме

$$G_{68} = G_{89} + G_{810}. \quad (5.3)$$

Аналогічно знайдемо витрати води на інших ділянках, з них найбільша витрата буде на ділянці 1-2. Це й буде витрата води $G_{oцp}$ з ЦТП на опалення разом з вентиляцією. Знайдені витрати води в закритій системі опалення та вентиляції будуть однаковими в подавальному та зворотному трубопроводі.

Для окремої системи гарячого водопостачання будемо знаходити витрати води в подавальному трубопроводі. Якщо відомі теплові потоки в кожного споживача на гаряче водопостачання $Q_{гсп}$, витрати води в кожного споживача знайдемо за формулою

$$G_{гсп} = \frac{Q_{гсп}}{c_B(t_2 - t_{хз})}, \quad (5.4)$$

де температури ті самі, що у формулі (2.4).

На окремих ділянках мережі витрати води знайдемо так само спосіб, як для системи опалення та вентиляції. Сумарну найбільшу витрату води на ділянці 1-2 позначимо $G_{гцп}$.

Таким чином, вже визначено витрати води з ЦТП на опалення разом з вентиляцією та на гаряче водопостачання. На підставі цих даних розрахункову витрату води тепловим пунктом з магістральної мережі в нормативному документі [8] рекомендується визначати так.

Залежно від того, відкрита система або закрита, а також від схеми приєднання теплообмінників системи гарячого водопостачання витрати води на гаряче водопостачання визначають за різними формулами. Прийmemo, що на ЦТП у заданій мережі теплообмінники підключені за паралельною схемою. У такому разі витрату води з магістральної мережі на гаряче водопостачання треба визначати за формулою [8]

$$G_{г1п} = \frac{Q_{гспц}}{c_B(t_{1u} - t_{3u})}, \quad (5.5)$$

де $Q_{гспц}$ – тепловий потік на гаряче водопостачання для ЦТП (всіх споживачів разом взятих);

t_{1u} – температура води в подавальному трубопроводі магістральної теплової мережі в точці зламу графіків;

t_{3u} – температура води після теплообмінника в точці зламу графіків.

Для вказаної паралельної схеми сумарну витрату води з магістральної мережі належить визначати за формулою [8]

$$G_{1p} = G_{op} + G_{ep} + \kappa_3 G_{21p}, \quad (5.6)$$

де κ_3 – коефіцієнт, що приймається залежно від різних факторів. Наприклад, при застосуванні в мережі опалювального температурного графіка для закритих систем тепlopостачання потужністю менше 100 МВт приймається $\kappa_3 = 1,2$.

За роботою [8], для інших умов замість формули (5.6) треба застосовувати іншу формулу, але вважаємо умови в заданій системі такими, що треба використовувати саме формулу (5.6) і вказану величину κ_3 . Для розрахунків за формулою (5.5) приймемо $t_{1u} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{3u} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, як рекомендується в роботі [8].

Витрата води з теплової мережі (у даному випадку G_{1p}) змінюється при зміні температури атмосферного повітря t_n і досягає найбільшого значення при $t_n = t_{nu}$, коли на графіку витрати води та інших графіках відбувається їх злам. Тому такі точки на осі температур і на всіх графіках називають точками зламу. За формулою (5.6) намагаються визначити саме вказану найбільшу витрату води і прийняти її за розрахункову. Вибір такої розрахункової витрати не можна вважати раціональним, але вибір раціонального варіанта не входить до завдання. Разом з тим ту саму найбільшу витрату води в точці зламу можна визначити за іншою методикою, яка запропонована на кафедрі «Теплотехніка та теплові двигуни» і є більш обґрунтованою.

За цією методикою знаходять сумарний тепловий потік на всі види теплоспоживання в точці зламу, а потім визначають відповідні витрати води з мережі. Методика залишається незмінною для різних схем, різновидів систем, їхніх потужностей та інших показників. Тепловий потік з ЦТП на опалення разом з вентиляцією Q_{ou} у точці зламу визначимо за формулою

$$Q_{ou} = q_u Q_{oup}, \quad (5.7)$$

де $Q_{оцр}$ – розрахунковий тепловий потік з ЦТП на опалення разом з вентиляцією;

q_u – відносна витрата теплоти на опалення разом з вентиляцією, яку можна визначити за відомою формулою

$$q_u = \frac{t_{вр} - t_{ни}}{t_{вр} - t_{нр}}. \quad (5.8)$$

Тепловий потік з ЦТП на всі види теплоспоживання

$$Q_u = Q_{оцр} + Q_{гсрц}. \quad (5.9)$$

Тоді розрахункова витрата води з магістральної мережі даним ЦТП буде дорівнювати

$$G_u = \frac{Q_u}{c_B(t_{1u} - t_{2u})}, \quad (5.10)$$

де t_{2u} – температура води у зворотному трубопроводі магістральної мережі в точці зламу графіків.

Температуру t_{1u} задають (звичайно приймають $(65 - 70) ^\circ\text{C}$), залежно від неї можна розрахувати приблизно за відомими залежностями температури $t_{ни}$ та t_{2u} . Вище вже прийнято $t_{1u} = 70 ^\circ\text{C}$, тоді при заданому графіку в магістральній мережі 140/65 (вихідні дані) та опалювальному графіку відпускання теплоти можна розрахувати, що $t_{ни} = 2,2 ^\circ\text{C}$; $t_{2u} = 41 ^\circ\text{C}$ (точніше визначення цих температур потребує вибору та розрахунків обладнання ЦТП, що не входить до завдання).

Після визначення розрахункових витрат води $G_{1р}$ та G_u оцінити методики їх розрахунку, порівняти результати та зробити відповідні висновки.

6 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

6.1 Завдання та вихідні дані

Для розподільної мережі опалення та вентиляції з завдання 5 виконати гідравлічний розрахунок. Довжину кожної з ділянок мережі прийняти самостійно в межах (20 – 50) м. Частку місцевих утрат тиску в мережі прийняти самостійно в межах (0,1 - 0,25).

Під час виконання завдання треба проводити однотипні розрахунки для різних ділянок мережі. При цьому бажано використовувати обчислювальну техніку, незалежно від чого результати розрахунків доцільно зводити в таблиці.

Розрахунки зробити за допомогою комп'ютерної програми.

6.2 Методичні вказівки

Гідравлічні розрахунки в теплових мережах можуть бути різними. Залежно від поставлених цілей і завдань при цьому можуть застосовуватись різні методики розрахунків. Звичайно під гідравлічним розуміють розрахунок з визначення можливих втрат тиску в тепловій мережі, який виконується під час проектування мереж. Методику такого гідравлічного розрахунку наведено, наприклад, у роботах [5, с. 159-162, 6, с. 78-80].

За цією методикою розрахунок проводиться у два етапи: попередній і перевірний.

На попередньому етапі відомі лише витрати води на ділянках мережі (для заданої мережі вони визначені в завданні 5); діаметри трубопроводів, без яких неможливо розрахувати втрати тиску, поки що невідомі. Тому рекомендується на підставі техніко-економічних розрахунків оцінити оптимальне падіння тиску в мережі, зокрема величину питомого лінійного падіння тиску R_L (падіння тиску на одиницю довжини). Розрахунки з визначення оптимального R_L є складними і не входять до даного завдання. У даному випадку за результатами розрахунків, проведених на кафедрі «Теплотехніка та теплові двигуни», можна орієнтовно прийняти $R_L = (150 - 250)$ Па/м. Тоді розрахунковий

внутрішній діаметр трубопроводу на окремій ділянці можна одержати за формулою [5], м,

$$d_p = A_d \frac{G^{0,38}}{R_l^{0,19}}, \quad (6.1)$$

де G – розрахункова витрата води на ділянці, кг/с;

R_l – питома лінійне падіння тиску для даної мережі, Па/м;

A_d – коефіцієнт, що дорівнює 0,117, якщо одиниці вимірювання відповідають вказаним.

Знайдений розрахунковий діаметр d_p у подальших обчисленнях не використовується, тому для його знаходження можна користуватись номограмами для гідравлічних розрахунків, які наведені, наприклад, у роботах [5, 6, 9].

На перевірному етапі за розрахунковим діаметром d_p обирають найближчий до нього внутрішній діаметр d трубопроводу за сортаментом труб, які застосовують у теплових мережах (додаток Е). Далі можна визначити дійсне значення R_l для кожної з ділянок мережі за формулою [5], Па/м,

$$R_l = A_R \frac{G^2}{d^{5,25}}, \quad (6.2)$$

де одиниці вимірювання такі самі, як у формулі (6.1), а коефіцієнт A_R дорівнює $13,62 \cdot 10^{-6}$.

У закритій двотрубній тепловій мережі, якою є задана мережа, витрати води однакові в подавальному та зворотному трубопроводі, діаметри трубопроводів і їх конфігурація теж однакові. Втрати тиску Δp на окремій ділянці одного з трубопроводів, які вважають однаковими в подавальному та зворотному трубопроводі, і відповідні втрати напору ΔH можна обчислити за формулами

$$\Delta p = R_l l (1 + \alpha), \quad (6.3)$$

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho_v g}, \quad (6.4)$$

де l – довжина ділянки;

α – частка місцевих втрат тиску (вихідні дані);

g – прискорення вільного падіння.

Величини ΔH треба розраховувати з точністю до 0,01 м та звести до таблиці для зручності використання в подальшому.

7 ПОБУДОВА П'ЄЗОМЕТРИЧНОГО ГРАФІКА

7.1 Завдання та вихідні дані

За результатами гідравлічного розрахунку, проведеного в завданні 6, побудувати п'єзометричний графік.

Рельєф місцевості побудувати самостійно рівнинним, з перепадом висот не більше 5 м. Висоти будинків споживачів прийняти самостійно в межах (20 – 40) м. Найменший наявний напір у споживачів прийняти 8 м.

7.2 Методичні вказівки

Основні параметри п'єзометричного графіка та його побудова розглядаються, наприклад, у роботах [5, 6].

На цьому графіку показують зміну напорів води в тепловій мережі за довжиною трубопроводів. Довжину трубопроводів на графіку відкладають у масштабі або без масштабу. З навчальною метою рекомендується масштаб довжин не використовувати, замість цього навести під графіком розрахункову схему мережі, з якої лінійні розміри переносити на графік.

У гідравлічному розрахунку були одержані втрати напору на ділянках мережі. Абсолютні значення напорів поки що відсутні, тому за даними гідравлічного розрахунку можна побудувати безліч графіків. Прийнятний повинен знаходитись у

межах напорів, припустимих для теплових мереж. Такі припустимі величини напорів призначаються виходячи з такого:

1) для подавальних трубопроводів:

- найбільші напори повинні відповідати міцності труб і запірної арматури. Для сталевих трубопроводів теплових мереж ці напори не повинні перевищувати (150-250 м) [5];

- при температурі води 100 °С і більше вона не повинна скіпати, для чого у трубопроводах треба підтримувати відповідний надлишковий тиск, який можна визначити за додатком Ж. Наприклад, при температурі води 150 °С за таблицею Ж.1 абсолютний тиск води у трубопроводі повинен складати 476 кПа, що відповідає надлишковому напору 42 м;

2) для зворотних трубопроводів:

- найбільші напори не повинні перевищувати допустимих за міцністю обладнання, на яке цей напір діє. З цієї точки зору найбільш слабким місцем є опалювальні прилади споживачів, для яких звичайно напір обмежується значенням 40 м, і теплообмінники теплових пунктів з допустимим напором до 60 м [5];

- у будь-якій точці системи теплопостачання повинен підтримуватись надлишковий напір для запобігання підсмоктуванню повітря в систему. Найменшою прийнятною для цього величиною вважають напір 5 м [5].

Згідно з вихідними даними визначити можливі межі зміни напору в подавальному та зворотному трубопроводі. Побудований надалі графік не повинен виходити за ці межі. Виходячи з цього можна запропонувати як один з варіантів таку послідовність побудови графіка:

1) у прийнятому масштабі напорів на графік наносять профіль місцевості (вихідні дані). У вузлах приєднання споживачів показують прийняті як вихідні дані висоти будівель і споруд. При цьому за умовну нульову позначку приймають найнижчу за профілем точку місцевості;

2) побудову графіка починають з напорів у зворотних трубопроводах. Для цього обирають будь-який вузол мережі і задають для нього величину напору у зворотному трубопроводі приблизно таку, щоб вона була не менше висоти найближчої будівлі. За цією величиною напору та результатами гідравлічного

розрахунку визначаються напори в інших вузлах мережі. Наприклад, обрано вузол 1 за рисунком 5.2, для якого прийнято величину напору у зворотному трубопроводі h_1 . Тоді напір у вузлі 2 мережі дорівнюватиме

$$h_2 = h_1 + \Delta h_{12}, \quad (7.1)$$

де Δh_{12} – втрати напору на ділянці 1-2 (обчислені з урахуванням тільки одного з трубопроводів).

Точки з напорами h_1 і h_2 наносять на рисунок, з'єднують їх прямою і одержують частину графіка, що стосується ділянки 1-2. Відповідно напір, наприклад, у вузлі 4 складе

$$h_4 = h_2 + \Delta h_{24}. \quad (7.2)$$

Одержуючи у такий спосіб величини напорів у всіх вузлах мережі, побудуємо попередній варіант частини графіка, що стосується тільки зворотних трубопроводів;

3) побудовану частину графіка перевіряємо на відповідність умові забезпечення найменшого напору 5 м. При цьому треба орієнтуватись на споживача, для якого різниця між напором за графіком і висотою будівлі є найменшою, вона і повинна дорівнювати 5 м. Зрозуміло, що забезпечити це з першого разу, прийнявши приблизно величину h_1 , неможливо. Тоді треба встановити цю різницю у 5 м шляхом переміщення графіка по висоті. Одержане положення частини графіка буде відповідати його уточненому варіанту;

4) на уточненому варіанті частини графіка знаходять споживача, для якого величина напору є найбільшою (найбільша втрата напору від джерела до споживача). Для цього споживача відкладають заданий у вихідних даних наявний напір 8 м і одержують величину напору в подавальному трубопроводі для цієї точки. Це буде поки що єдина точка на другій частині графіка, що стосується до подавальних трубопроводів;

5) починаючи від знайденої точки знаходять напори у всіх інших вузлах мережі так само, як це робилось для зворотних

трубопроводів. При цьому для кожної ділянки треба враховувати напрямок течії теплоносія. Оскільки результати гідравлічного розрахунку однаково стосуються і подавальних, і зворотних трубопроводів, одержана друга частина графіка повинна бути дзеркальним відображенням першої частини;

б) якщо одержаний графік знаходиться у знайдених вище межах зміни напору в подавальному та зворотному трубопроводі, то його можна вважати остаточним.

П'єзометричні графіки наведені, наприклад, у роботах [5, 7]. Приклад навчального п'єзометричного графіка наведений на рисунку 7.1.

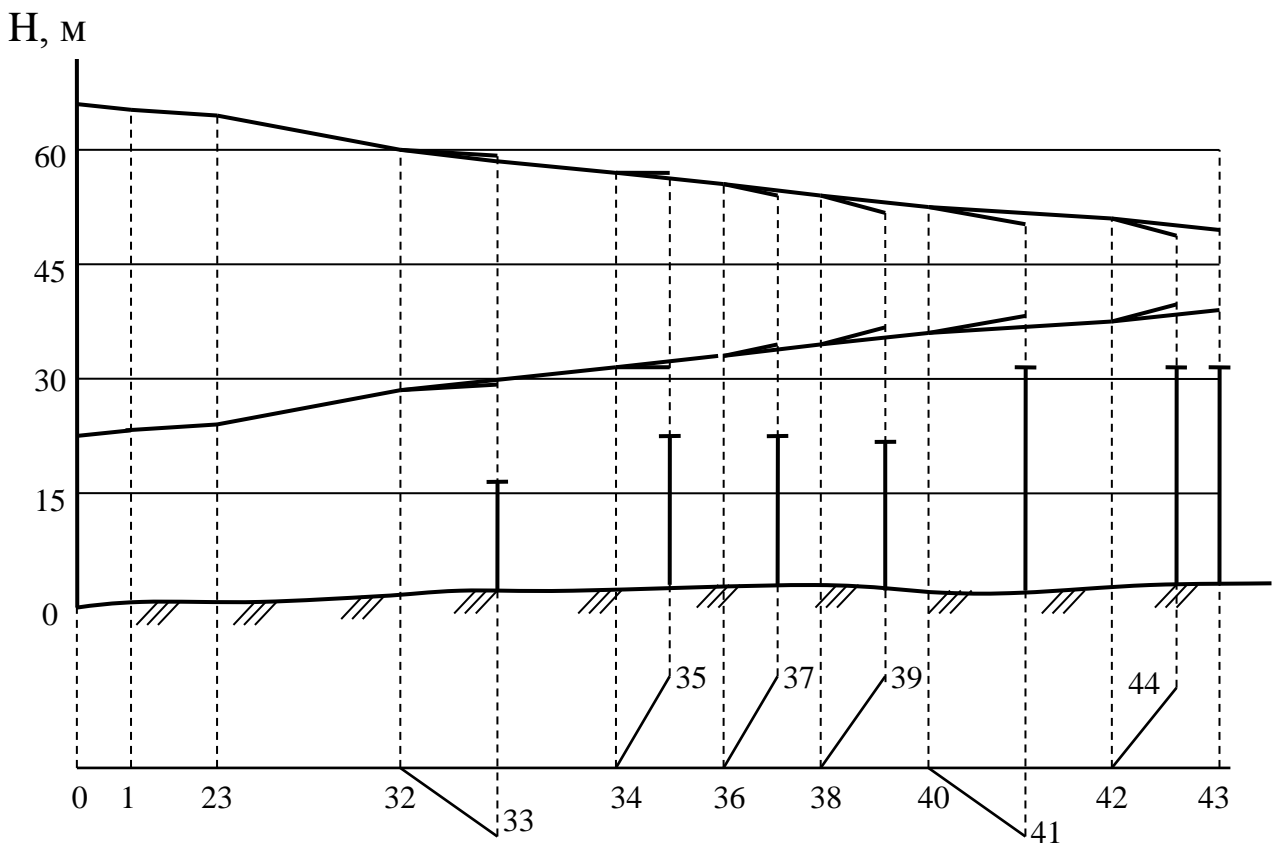


Рисунок 7.1 – Приклад навчального п'єзометричного графіка

8 ВИЗНАЧЕННЯ НАПОРІВ У ТЕПЛОВІЙ МЕРЕЖІ ЗА П'ЄЗОМЕТРИЧНИМ ГРАФІКОМ

8.1 Завдання та вихідні дані

За п'єзометричним графіком, побудованим у завданні 7, з'ясувати величини напорів, які присутні на графіку, з точністю до 0,01 м.

Виділити напори зі встановленими обмеженнями та перевірити відповідність знайдених параметрів цим обмеженням.

8.2 Методичні вказівки

П'єзометричний графік у завданні 7 був побудований за втратами напору на ділянках мережі, тому ці величини не входять до складу тих, що підлягають з'ясуванню. Крім них, до напорів, які присутні на п'єзометричному графіку та використовуються для різних цілей, належать такі [5-7, 9]:

1) п'єзометричні напори води в мережі. Під п'єзометричним напором розуміють напір, що відлічується від рівня місцевості. Для різних точок теплової мережі та різних трубопроводів (подавального і зворотного) величини п'єзометричних напорів різні. На графіку обрати один з вузлів мережі та знайти для нього п'єзометричні напори в подавальному та зворотному трубопроводі;

2) повні напори води в мережі. Повними називають напори, що відлічені від умовного нуля. За умовний нуль звичайно приймають рівень розташування осі мережного насоса або найнижчий рівень місцевості. Знайти повні напори в подавальному та зворотному трубопроводі для одного з вузлів мережі;

3) наявні напори води. Наявними напорами називають різницю між напорами в подавальному та зворотному трубопроводі. На графіку треба знайти величини наявних напорів у кожного споживача та в початковому вузлі мережі;

4) втрати напору в мережі. Для знаходження цієї величини є втрати напору на ділянках мережі, а також вже визначені наявні напори у споживачів. Втратами напору в мережі можна вважати

сумарні втрати напору при течії води від початкового вузла мережі до кінцевого вузла у довільному напрямку. Треба обрати два різних напрямки від вузла 1 у подавальному трубопроводі (початковий вузол) до вузла 1 у зворотному трубопроводі (кінцевий вузол) і знайти для цих напрямків сумарні втрати напору. Порівняти ці величини та обрати з них втрати напору в мережі;

5) найбільший напір (надлишковий) у подавальному трубопроводі. Знайти цю величину напору на графіку, порівняти її з припустимою величиною, що приймалась під час побудови графіка, та зробити відповідні висновки;

6) найменший напір у подавальному трубопроводі. Знайти цю величину напору на графіку, порівняти її з припустимою величиною, що приймалась під час побудови графіка, і зробити відповідні висновки;

7) найбільший напір у зворотному трубопроводі. Ця величина теж оцінювалась під час побудови графіка. Треба знайти її на існуючому графіку, порівняти з допустимою величиною та зробити відповідні висновки;

8) найменший напір у зворотному трубопроводі. Треба ще раз перевірити виконання умови про найменший напір на побудованому графіку та зробити відповідні висновки.

Невиконання деяких з перелічених умов не обов'язково означає, що п'єзометричний графік треба суттєво змінювати або зовсім переробляти. Можуть бути інші варіанти узгодження параметрів теплової мережі, такі варіанти теж можна пропонувати.

9 ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕМПЕРАТУРНИХ ГРАФІКІВ

9.1 Завдання та вихідні дані

Опалювальні установки будинку приєднано до розподільної теплової мережі за залежною схемою. У розподільній мережі здійснюється якісне регулювання теплопостачання за опалювальним температурним графіком з розрахунковими температурами 130/70.

При температурі атмосферного повітря t_{H1} за показаннями термометрів температура води в подавальному трубопроводі на вході в будинок складає t_n , у зворотному трубопроводі на виході з будинку - $t_{3в}$.

З'ясувати, чи забезпечать вказані температури води потрібну температуру повітря у приміщеннях будинку. Якщо не забезпечать, то визначити приблизне зменшення теплового потоку на опалення та запропонувати можливі засоби поліпшення опалення.

Вихідні дані за варіантами завдання наведено в таблиці 9.1.

Розрахункові температури води прийняти з завдання 5.

Таблиця 9.1 – Вихідні дані за варіантами завдання

Позначення температури	Температури повітря і води, °С, за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
t_{H1}	-10	0	2	-15	-8	-19	-12	5	-6	-16
t_n	98	85	75	105	95	120	100	80	90	110
$t_{3в}$	54	42	40	55	52	65	58	45	50	60

9.2 Методичні вказівки

При якісному регулюванні подачі теплоти температуру води в подавальному трубопроводі змінюють залежно від температури атмосферного повітря t_H , відповідно змінюється температура води у зворотному трубопроводі. Є залежності, за якими можна

розрахувати зміну температур води та побудувати температурні графіки. Такі залежності і графіки наведено, наприклад, у роботах [5-7]. При розрахункових температурах води в мережі 130/70 і розрахунковій температурі повітря у приміщеннях будинку 18 °С для умов Харкова результати таких розрахунків наведено в таблиці 9.2, де позначено t_{o1} , t_{o2} – температури води відповідно в подавальному та зворотному трубопроводі.

Таблиця 9.2 – Результати розрахунків температурних графіків

Позначення температури	Температури повітря і води, °С								
	8	4	0	-4	-8	-12	-16	-20	-23
t_H	50	62	72	83	93	103	113	123	130
t_{o1}	36	41	46	50	55	59	63	67	70

Якщо дійсні температури води будуть дорівнювати розрахунковим, це означає, що система опалення працює за розрахунками і повинна забезпечувати у приміщеннях будинку температуру $t_{вр} = 18$ °С незмінною при змінах t_H . Якщо дійсна температура t_H або $t_{зв}$ відхиляється від розрахункової, то це призводить до відхилення дійсного теплового потоку, що направляється на опалення будинку, від розрахункового. Величину відхилення можна приблизно визначити за формулою для теплопередачі опалювальних приладів. Наприклад, відносний тепловий потік на опалення будинку дорівнюватиме

$$q_o = \frac{Q_{od}}{Q_{op}} = \frac{k_o F_o \Delta t_{od}}{k_o F_o \Delta t_{op}} = \frac{\Delta t_{od}}{\Delta t_{op}}, \quad (9.1)$$

де Q_{od} , Q_{op} – відповідно дійсний і розрахунковий тепловий потік на опалення будинку;

k_o , F_o – відповідно коефіцієнт теплопередачі та площа поверхні опалювальних приладів;

Δt_{od} , Δt_{op} – відповідно дійсний і розрахунковий температурний напір в опалювальних приладах.

Зазначені температурні напори приблизно дорівнюють

$$\Delta t_{od} = 0,5(t_n + t_{ze}) - t_{ep}, \quad (9.2)$$

$$\Delta t_{op} = 0,5(t_{o1} + t_{o2}) - t_{ep}. \quad (9.3)$$

Для вирішення завдання треба побудувати температурні графіки за даними таблиці 9.2. Якщо на побудовані графіки нанести задані температури t_n і t_{ze} , то можна побачити їх відхилення (якщо воно є) від розрахункових температур. Будемо вважати, що температури відрізняються, якщо різниця між ними складає більше 1 °С. У такому разі до аналізу роботи системи опалення разом з температурами води в подавальному та зворотному трубопроводі слід залучити відносний тепловий потік q_o . Аналіз можна проводити шляхом порівняння дійсних і розрахункових величин. За результатами порівняння зробити відповідні висновки. Якщо дійсний та розрахунковий теплові потоки відрізняються, вказати можливі причини цього та запропонувати заходи з усунення різниці.

10 ВИБІР КОМПЕНСАТОРІВ ТА ОПОР ТЕПЛОПРОВОДІВ

10.1 Завдання та вихідні дані

Для будь-якої ділянки теплової мережі, для якої зроблено гідравлічний розрахунок у завданні 5, обрати розміри П-подібних компенсаторів температурних подовжень і кількість рухомих опор. Прокладання теплопроводів – підземне в непрохідних каналах.

Побудувати схему розташування на ділянці обраних елементів з наведенням відповідних розмірів.

10.2 Методичні вказівки

Методику вибору П-подібних компенсаторів температурних подовжень для теплових мереж викладено, наприклад, у роботі

[9, с. 173-177]. Вибір типу та кількості рухомих опор теплопроводів розглядається, зокрема, у роботах [5, с. 264-265, 6, с. 145-150, 9, с. 22-24].

Для вибору розмірів П-подібного компенсатора треба визначити можливе подовження теплопроводу на ділянці за формулою

$$\Delta l = \alpha l \Delta t, \quad (10.1)$$

де α – коефіцієнт температурного подовження матеріалу трубопроводу;

l – довжина ділянки (відстань між нерухомими опорами);

Δt – різниця температур трубопроводу в експлуатації та під час монтажу теплотраси.

Для сталевих трубопроводів можна приймати $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/К [5, с. 269]. Величину Δt звичайно приймають рівною найбільшій температурі води в теплопроводі, тобто при температурному графіку, наприклад, 150/70 для подавальної лінії $\Delta t = 150$ °С, а для зворотної – $\Delta t = 70$ °С. У даному завданні обрати розміри компенсатора і для подавального, і для зворотного трубопроводу.

Якщо компенсатори обирають з типових конструкцій, то для них у довідкових даних вказують розміри компенсатора, а також його компенсуючу спроможність Δl_k . Компенсатор можна вважати прийнятним для даних умов, якщо його компенсуюча спроможність не менша за розрахункове подовження Δl . Розміри деяких типових П-подібних компенсаторів для теплових мереж з гнучими відводами за даними роботи [9, с. 176] наведено в додатку И, де позначено d_y – умовний діаметр трубопроводу; H – висота компенсатора; b – ширина спинки компенсатора; R – радіуси згинів.

Для зменшення розмірів компенсаторів застосовують їх 50-відсоткове монтажне розтягнення. Тоді компенсуюча спроможність компенсатора може бути удвічі менше від розрахункового подовження Δl .

За результатами вибору треба зробити ескізи компенсаторів для подавального та зворотного трубопроводу з наведенням їх розмірів.

Відстань між рухомими опорами теплопроводів визначають з умови

$$\sigma_u \leq \sigma_\partial, \quad (10.2)$$

де σ_u – напруження згину, що виникають у трубопроводі;

σ_∂ – допустимі для матеріалу трубопроводу напруження.

Якщо розглядати теплопровід на опорах як багатопріміжну балку, то з умови (10.2) можна знайти розрахункову відстань l_{on} між опорами за формулою

$$l_{on} \leq \sqrt{\frac{12\sigma_\partial W_{mp}}{q_v}}, \quad (10.3)$$

де W_{mp} – екваторіальний момент опору трубопроводу (додаток Е);

q_v – питоме вертикальне навантаження на теплопровід (на одиницю довжини).

Для сталевих трубопроводів теплових мереж з урахуванням зменшення міцності у зварювальних стиках можна приймати $\sigma_\partial = 50$ МПа [6].

Вертикальне навантаження на теплопровід складається з навантаження від ваги трубопроводу q_{v1} , води q_{v2} і теплоізоляції q_{v3} . Величини цих навантажень для деяких трубопроводів за даними роботи [9] наведено в таблиці 10.1 (дані взято для безшовних труб, щільність теплоізоляції прийнято 400 кг/м³ при рекомендованій у літературі товщині теплоізоляції).

Після розрахунку l_{on} можна визначити кількість рухомих опор на ділянці довжиною l та уточнити середню відстань між ними. Наприклад для $l = 40$ м одержано $l_{on} = 6,4$ м. Тоді кількість проміжків між опорами дорівнює $36/6,4 = 5,62 \approx 6$, а кількість опор дорівнює 6 з середньою відстанню між ними $36/6 = 6$ м.

Таблиця 10.1 – Питомі навантаження для деяких теплопроводів

d_y , мм	Питоме навантаження, Н/м		
	q_{e1}	q_{e2}	q_{e3}
70	53	37,5	77
80	71,5	52,4	87
100	100	77	100
125	125	120	146
150	168	173	162
175	227	262	184
200	310	327	206
250	457	516	244
300	614	740	284
350	800	1000	382

Тепер можна зробити схему розташування компенсаторів та опор на ділянці, враховуючи, що П-подібні компенсатори встановлюються всередині ділянки, а відстані між опорами однакові в подавальному та зворотному трубопроводі і дорівнюють середній розрахунковій відстані.

При розробленні схеми треба враховувати відстань між розміщеними в одному каналі двома трубопроводами. Це можна зробити на підставі нормативів, встановлених у роботі [8]. У цьому нормативному документі встановлено найменшу відстань між зовнішніми поверхнями теплопроводів і граничні товщини теплової ізоляції, які для непрохідних каналів наведено в додатку К.

Розрахункові розміри компенсаторів для різних трубопроводів можуть бути такими, що не дозволяють розмістити подавальний і зворотний трубопровід в одній компенсаторній ніші. Треба розглянути можливі варіанти узгодження розмірів компенсаторів і дотримання необхідної відстані між теплопроводами і прийняти один з них, який показати на остаточній схемі.

11 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ ВТРАТ У ТЕПЛОПРОВОДАХ

11.1 Завдання та вихідні дані

Для довільної ділянки теплової мережі з завдання 6 визначити питомі втрати теплоти в надземному подавальному трубопроводі при середніх за опалювальний період умовах. Порівняти розрахункові втрати з нормативними та зробити відповідні висновки.

Середню за опалювальний період температуру води в подавальному трубопроводі прийняти: для розрахункових температур 150, 130, 105, 95 °С відповідно 89, 79, 66, 61 °С. Середня температура атмосферного повітря наведена для різних міст у додатку В. Матеріал теплоізоляції прийняти самостійно з тих, що пропонуються в нормативних документах і наведені в додатку Л. Нормативні втрати теплоти для надземного прокладення теплопроводів в умовах Харкова наведено в додатку М, ці дані можна використати також для підземного двотрубного прокладення теплопроводів у непрохідних каналах. Товщину шару ізоляції в розрахунках прийняти за таблицею 11.1.

Таблиця 11.1 – Орієнтовна товщина ізоляції для розрахунків теплових втрат

Умовний діаметр трубопроводу, мм	Товщина шару ізоляції, мм
25-50	40
65-80	60
100-125	80
150-200	100
250-300	120
450-800	140

Розрахунки провести за допомогою комп'ютерної програми, наприклад редактора Excel.

11.2 Методичні вказівки

Вихідним для розрахунку теплових втрат Q_{mp} у теплопроводах теплових мереж є рівняння [11]

$$Q_{mp} = \frac{\pi l (t_1 - t_H)}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{mp}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{уз}} \ln \frac{d_{уз}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_H d_{уз}}}, \quad (11.1)$$

де l – довжина теплопроводу;

t_1, t_H – температури відповідно теплоносія та навколишнього повітря;

d_1, d_2 – внутрішній і зовнішній діаметри трубопроводу;

$d_{уз}$ – зовнішній діаметр теплової ізоляції;

α_1, α_H – коефіцієнти тепловіддачі відповідно від теплоносія до внутрішньої поверхні трубопроводу та в навколишнє повітря від зовнішньої поверхні теплопроводу;

$\lambda_{mp}, \lambda_{уз}$ – коефіцієнти теплопровідності відповідно стінки трубопроводу та матеріалу ізоляції.

Виходячи з формули (11.1) формулу для визначення питомих лінійних (на одиницю довжини теплопроводу) втрат теплоти можна привести до вигляду [5, 6, 9]

$$q_l = \frac{t_1 - t_H}{R_l}, \quad (11.2)$$

де R_l – сумарний термічний опір теплопередачі.

У величину R_l відповідно до формули (11.1) входять чотири складових термічних опори:

$$R_l = R_1 + R_{mp} + R_{уз} + R_H. \quad (11.3)$$

Для теплопроводів термічні опори R_1 , $R_{тр}$ звичайно не враховують, тому що вони малі порівняно з двома іншими. Термічний опір шару теплоізоляції $R_{уз}$ та опір тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплопроводу в навколишнє повітря R_H визначаються за формулами

$$R_{уз} = \frac{1}{2\pi\lambda_{уз}} \ln \frac{d_{уз}}{d_2}, \quad (11.4)$$

$$R_H = \frac{1}{\pi d_{уз} \alpha_H}. \quad (11.5)$$

Слід звернути увагу, що в деякій літературі формули для термічних опорів $R_{уз}$ та R_H не співпадають з наведеними: у них відсутнє число π . Але тоді це число повинно бути у формулі (11.2).

У коефіцієнті тепловіддачі α_H у літературі рекомендують враховувати тепловіддачу конвекцією та випромінюванням [5, 6], тобто

$$\alpha_H = \alpha_{НК} + \alpha_{НР}. \quad (11.6)$$

Як показують практичні розрахунки, при реальній товщині теплоізоляції величина $\alpha_{НР}$ складає близько 2 % $\alpha_{НК}$. Тому в більшості випадків урахування втрат теплоти випромінюванням нема сенсу. Для умов вимушеної конвекції величину $\alpha_{НК}$ можна визначити, наприклад, за залежністю [5, 6]

$$\alpha_{НК} = 4,65 \frac{v^{0,7}}{d_{уз}^{0,3}}, \quad (11.7)$$

де $\alpha_{НК}$ – тепловіддача конвекцією, Вт/(м²·К);

$d_{уз}$ – зовнішній діаметр теплової ізоляції, м;

v – швидкість руху повітря (швидкість вітру), м/с, для середніх умов можна приймати 5 м/с.

Результати розрахунків втрат теплоти за формулою (11.2) треба порівняти з нормативними втратами. Якщо розрахункова величина питомих втрат теплоти перевищує нормативну, то треба запропонувати заходи щодо зменшення втрат теплоти. Такими заходами можуть бути, наприклад, застосування більш ефективної ізоляції, збільшення товщини ізоляції. Прийнятність обраного заходу треба підтвердити відповідними розрахунками. Якщо розрахункові втрати теплоти менші за норму, то треба встановити розрахунками можливе зменшення товщини теплоізоляції.

12 РОЗРАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ В МЕРЕЖІ

12.1 Завдання та вихідні дані

Для мережі за рисунком 5.1 розрахувати зниження температури води в надземних теплопроводах системи опалення від ЦТП до найбільш віддаленого споживача при розрахунковій для опалення температурі атмосферного повітря. Вихідні дані взяти з попередніх завдань.

Розрахунки провести за допомогою комп'ютерної програми, наприклад редактора Excel.

12.2 Методичні вказівки

Втрати теплоти на довільній ділянці 1-2 теплової мережі та зниження температури води на ділянці пов'язані залежністю (напрямок течії – від вузла 1 до вузла 2)

$$t_1 - t_2 = \frac{\Delta Q_{12}}{c_w G_{12}}, \quad (12.1)$$

де ΔQ_{12} – втрати теплоти на ділянці;

t_1, t_2 – середні за перерізом трубопроводу температури води відповідно у вузлах 1 та 2;

G_{12} – витрата води на ділянці.

Методика розрахунку втрат теплоти розглянута в попередньому розділі, але за методикою, що викладена в завданні 11, розраховані втрати теплоти належать до усереднених за опалювальний період умов. У даному завданні розрахунки треба провести для розрахункового режиму при $t_H = t_{нр}$. Для цього можна використати результати розрахунків з розділу 11, перерахувавши їх пропорційно температурним напорам. Наприклад, для довільної ділянки 1-2 скористаємось формулою

$$\Delta Q_{12p} = \Delta Q_{12} \frac{t_{1p} - t_{нр}}{t_1 - t_H}, \quad (12.2)$$

де ΔQ_{12p} – втрати теплоти на ділянці на розрахунковому режимі при температурі води t_{1p} і температурі атмосферного повітря $t_{нр}$;

ΔQ_{12} – втрати теплоти на ділянці на іншому режимі (при температурах t_1 і t_H).

Для вирішення завдання треба на схемі мережі за рисунком 5.1 знайти найбільш віддаленого споживача. У напрямку від ЦТП до обраного споживача для кожної ділянки мережі встановити вихідні дані з попередніх завдань і визначити втрати теплоти і зниження температури. Визначити також сумарне зниження температури води в теплопроводах на обраному напрямку і температуру води в кінцевого споживача. Оцінити результати розрахунків і зробити відповідні висновки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі [Електронний ресурс]: затв. наказом Міністерства регіон. розвитку та будівництва України від 09.12.2008 р. № 568. – Чинні з 2009-01-07. – Режим доступу : <http://dbn.at.ua/load/1-1-0-204>.

2 СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vashdom.ru/snip/20401-85/>

3 СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.proxima.com.ua/dbn/articles.php?clause=271>.

4 ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 70 с.

5 Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст] : учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 360 с.

6 Сафонов, А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям [Текст] / А. П. Сафонов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.

7 Єнін, П. М. Теплопостачання Ч. 1 «Теплові мережі та споруди» [Текст] : навч. посібник / П. М. Єнін, Н. А. Швачко. – К. : Кондор, 2007. – 244 с.

8 Водяные тепловые сети [Текст] : справ. по проектированию / под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.

9 СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Нормы проектирования [Текст]. – М. : ЦИТП Госстроя, 1989. – 22 с.

10 Михеев, М. А. Основы теплопередачи [Текст] / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.

ДОДАТОК А

Деякі властивості води

Таблиця А.1 – Деякі властивості води при різній температурі за даними роботи [5] (мовою оригіналу)

Температура, °С	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, кДж/(кг·К)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Кинематическая вязкость, 10 ⁻⁶ м ² /с
0	999,9	4,19	0,556	1,795
10	999,7	4,19	0,576	1,310
20	998,2	4,19	0,599	1,010
30	995,7	4,19	0,627	0,804
40	992,2	4,19	0,631	0,659
50	988,1	4,19	0,643	0,556
60	983,2	4,19	0,656	0,478
70	977,8	4,19	0,664	0,416
80	971,8	4,19	0,668	0,367
90	965,3	4,19	0,678	0,328
100	958,4	4,20	0,682	0,296

ДОДАТОК Б

Розрахункові параметри атмосферного повітря

Таблиця Б.1 – Розрахункові параметри атмосферного повітря для деяких міст України в опалювальний період за даними роботи [1] (мовою оригіналу)

Город	Температура, °С	Барометрическое давление, гПа	Количество граду- со-суток отопите- льного периода
Бердянск	-19	1010	3024
Винница	-21	970	3610
Джанкой	-17	1010	2640
Днепр	-23	1010	3325
Донецк	-23	1010	3623
Евпатория	-16	1010	2324
Житомир	-22	990	3610
Запорожье	-22	1010	3202
Ивано-Франковск	-20	970	3330
Керчь	-15	1010	2174
Киев	-22	990	3572
Кропивницкий	-22	1010	3515
Луганск	-25	1010	3528
Луцк	-20	970	3403
Львов	-19	970	3476
Мариуполь	-23	1010	3253
Николаев	-20	1010	2904
Одесса	-18	1010	2805
Полтава	-23	990	3721
Ровно	-21	970	3555
Севастополь	-11	1010	2015
Симферополь	-15	970	2544
Славянск	-23	990	3585
Сумы	-24	990	3997
Тернополь	-21	970	3515
Ужгород	-18	990	2657
Умань	-22	990	3572
Феодосия	-15	1010	2174
Харьков	-23	990	3799
Херсон	-19	1010	2906
Хмельницкий	-21	970	3553
Черкасы	-22	990	3591
Чернигов	-23	990	3763
Черновцы	-20	970	3228
Ялта	-6	1010	1613

ДОДАТОК В

Кліматологічні дані для деяких міст України

Таблиця В.1 – Кліматологічні дані для деяких міст України згідно з [5] (мовою оригіналу)

Город	Температура наружного воздуха, °С				Период со среднесуточной температурой наружного воздуха ≤ 8 °С	
	абсолютная минимальная	абсолютная максимальная	средне-годовая	наиболее холодной пяти-дневки	продолжительность периода, сутки	средняя температура, °С
Бердянск	-29	39	9,6	-19	168	0
Винница	-36	38	6,7	-21	189	-1,1
Луганск	-42	41	8	-25	180	-1,6
Джанкой	-30	41	10,5	-17	160	1,5
Днепр	-34	40	8,5	-23	175	-1
Донецк	-37	40	7,5	-23	183	-1,8
Евпатория	-28	40	11	-16	149	2,4
Житомир	-35	38	6,8	-22	192	-0,8
Запорожье	-34	41	9	-22	174	-0,4
Ивано-Франковск	-34	37	7,3	-20	184	-0,1
Киев	-32	39	7,2	-22	187	-1,1
Кропивницкий	-35	40	7,5	-22	185	-1
Луцк	-34	38	7,2	-20	187	-0,2
Львов	-33	37	6,7	-19	191	-0,2
Николаев	-30	40	9,8	-20	165	0,4
Одесса	-28	37	9,8	-18	165	1
Полтава	-37	38	7	-23	187	-1,9
Ровно	-36	38	6,9	-21	191	-0,5
Симферополь	-29	40	10,2	-16	158	1,9
Сумы	-36	38	6	-24	195	-2,5
Тернополь	-34	37	6,9	-21	190	-0,5
Ужгород	-28	40	9,6	-18	162	1,6
Феодосия	-25	38	11,7	-15	144	2,9
Харьков	-36	39	6,9	-23	189	-2,1
Херсон	-32	39	9,8	-19	167	0,6
Хмельницкий	-32	36	6,8	-21	191	-0,6
Черкассы	-37	38	7,2	-22	189	-1
Чернигов	-34	39	6,5	-23	191	-1,7
Черновцы	-32	38	7,8	-20	179	-0,2
Ялта	-15	39	13	-6	126	5,2

ДОДАТОК Г

Розподіл однакових температур атмосферного повітря за часом опалювального періоду

Таблиця Г.1 – Розподіл однакових температур атмосферного повітря за часом опалювального періоду для міст України за даними роботи [7] (мовою оригіналу).

Город	Число часов с температурой наружного воздуха, °С, в интервалах								
	-35- -30	-30- -25	-25- -20	-20- -15	-15- -10	-10- -5	-5- 0	0- +5	+5- +8
Бердянск	-	9	35	122	226	439	1107	1452	642
Винница	1	10	39	126	320	642	1225	1493	680
Джанкой	-	-	-	-	7	78	457	1782	1516
Днепр	-	9	37	127	235	457	1152	1514	669
Донецк	-	10	44	183	398	730	1141	1216	670
Евпатория	-	-	-	-	6	73	426	1660	1411
Житомир	-	5	22	103	309	616	1237	1554	762
Ивано- Франковск	-	10	39	134	247	481	1212	1591	702
Киев	1	4	31	130	336	627	1225	1480	654
Кропивницкий	-	10	39	134	248	483	1219	1600	707
Луганск	1	7	53	161	382	665	1038	1340	673
Луцк	-	5	21	100	301	600	1206	1513	742
Львов	-	-	2	20	62	458	1039	1678	1133
Одесса	-	-	5	22	134	399	975	1781	644
Полтава	5	8	45	161	391	723	1224	1128	803
Ровно	-	5	22	102	307	613	1231	1546	758
Севастополь	-	-	-	-	6	67	392	1525	1298
Симферополь	-	-	3	15	87	341	846	1364	1136
Сумы	1	10	40	130	330	662	1263	1542	702
Тернополь	1	10	39	126	322	644	1231	1502	685
Ужгород	-	-	2	18	55	404	919	1484	1006
Феодосия	-	-	2	12	53	236	689	1367	1097
Харьков	-	10	46	189	411	754	1179	1255	692
Херсон	-	-	7	36	163	433	885	1555	929
Черкасы	1	10	39	126	320	642	1225	1493	680
Чернигов	1	10	39	127	324	648	1238	1510	687
Черновцы	-	10	38	130	240	468	1179	1548	683
Ялта	-	-	-	-	5	61	360	1404	1194

ДОДАТОК Д

Найбільші питомі витрати теплоти на опалення будинків

Таблиця Д.1 – Найбільші питомі показники для систем опалення деяких житлових та громадських будинків згідно з роботою [1] (мовою оригіналу)

Тип здания	Этаж-ность	Удельная тепловая мощность, Вт/м ²				Удельное теплопотребление, ГДж/(м ² ·год)			
		при количестве S, градусо-суток							
		>3500	3001-3500	2501-3000	<2500	>3500	3001-3500	3001-3500	<2500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Одноквартирный жилой дом	1	94	93	91	83	0,77	0,72	0,63	0,50
	2	86	83	81	74	0,70	0,65	0,56	0,45
Двухквартирный жилой дом	1	79	77	76	68	0,65	0,59	0,5	0,41
	2	72	69	68	63	0,59	0,54	0,4	0,38
Секционный жилой дом	3	61	58	57	51	0,50	0,45	0,4	0,31
	4	57	56	55	48	0,47	0,43	0,3	0,29
Рядовая, угловая, поворотная жилая блок-секция	5	55	53	52	48	0,45	0,41	0,3	0,31
	9-10	51	50	49	43	0,41	0,38	0,3	0,25
	12-16	55	53	52	48	0,45	0,41	0,3	0,29
	>16	59	57	56	50	0,49	0,45	0,4	0,31
Односекционный жилой дом	2-16	63	61	60	55	0,51	0,48	0,41	0,33
	>16	68	67	65	59	0,56	0,52	0,47	0,36
Детские дошкольные учреждения	1	79	77	75	67	0,56	0,52	0,45	0,34
	2	75	74	71	64	0,52	0,49	0,43	0,34
	3	65	64	62	55	0,45	0,43	0,38	0,29
Общеобразовательные школы, специализированные учебно-производственные комбинаты, ПТУ, техникумы	1	58	57	55	49	0,36	0,32	0,27	0,20
	2	50	49	48	43	0,31	0,29	0,23	0,18
	3	44	43	42	37	0,29	0,23	0,20	0,16
	4	39	38	37	33	0,23	0,22	0,18	0,14
НИИ, проектные, общественные организации, управления, административные здания	2	75	74	71	64	0,43	0,41	0,34	0,27
	3	65	64	62	55	0,40	0,36	0,31	0,22
	4	62	61	59	53	0,38	0,34	0,29	0,20
	>4	59	57	55	49	0,36	0,32	0,28	0,19

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Магазини, универсамы, универмаги	1	45	44	43	38	0,29	0,27	0,22	0,16
	2	40	39	38	34	0,27	0,23	0,20	0,14
Столовые, кафе	1	47	46	45	40	0,31	0,27	0,22	0,16
	2	42	41	40	36	0,27	0,25	0,22	0,14
Гостиницы, кемпинги, мотели	2	74	73	70	63	0,52	0,49	0,41	0,34
	3	65	64	62	55	0,45	0,41	0,38	0,29
	4	62	61	59	53	0,43	0,40	0,36	0,27
	>4	59	58	56	50	0,41	0,38	0,32	0,25
Отделения связи	1	75	74	71	64	0,45	0,41	0,34	0,25
	2	70	69	67	60	0,41	0,40	0,32	0,25

ДОДАТОК Е

Сортамент сталевих труб

Таблиця Е.1 – Сортамент деяких сталевих труб, що застосовуються в теплових мережах, за даними роботи [5]

Внутрішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Маса 1 м труби, кг	Екваторіальний момент опору, 10^{-6} м^3
33	2,5	2,15	2,33
40	2,5	2,6	3,52
51	3	4,0	6,85
70	3	5,4	12,1
82	4	7,3	18,1
100	4	10,2	35,2
125	4	12,7	51
150	4,5	17,2	82,1
184	5	23,2	129
207	6	31,5	210
259	7	46,7	384
309	8	62,5	645
359	9	81,5	950
408	9	91,6	1310
414	6	62,0	920
466	7	80,5	1210
514	8	103	1730
612	9	137	2740
700	10	174	4040
800	10	200	5000
898	11	246	7950
996	12	298	8800
1096	12	326	11600
1192	14	415	16300
1392	14	482	22500

ДОДАТОК Ж
Густина води при температурі (100 -200) °С

Таблиця Ж.1 – Густина води на лінії насичення при температурі (100-200) °С за даними роботи [9] (мовою оригіналу)

Температура, °С	Абсолютное давление, кПа	Плотность, кг/м ³
100	101,3	958,1
110	143,3	950,7
120	198,5	942,9
130	270,1	934,6
140	361,4	925,8
150	476	916,8
160	618	907,3
170	792	897,3
180	1002,7	886,9
190	1255,2	876,0
200	1555,1	864,7

ДОДАТОК И

Розміри типових компенсаторів

Таблиця И.1 – Розміри деяких типових П-подібних компенсаторів

d_y , мм	Розміри компенсатора			Δl_K , мм
	H , м	b , м	R , мм	
50	0,6	0,5	200	25
	0,8			35
	1,0			50
	1,2			60
100	1,2	1,1	450	50
	1,6			75
	2,0			125
	2,4			140
125	1,5	1,31	530	50
	2,0			90
	2,5			130
	3,0			155
150	1,8	1,56	630	60
	2,4			110
	3,0			140
	3,6			175
200	2,4	2,1	850	80
	3,2			120
	4,0			175
	4,8			210
250	3	2,5	1000	100
	4			155
	5			200
	6			300
300	3,6	3,1	1250	130
	4,8			200
	6,0			250
	7,2			340

ДОДАТОК К

Розміщення теплопроводів у непрохідних каналах

Таблиця К.1 – Вимоги роботи [8] до розміщення теплопроводів у непрохідних каналах

Зовнішній діаметр трубопроводу, мм	Найменша відстань між зовнішніми поверхнями теплопроводів, мм	Гранична товщина теплової ізоляції, мм	
25	100	60	
32		80	
45		90	
57		100	100
76			
89			
108	140	120	
133			
159			
219			
273			
325	160		
377			
426	200	140	
476			
530			
630			
720			
820			
920	250		
1020 і більше			

ДОДАТОК Л

Теплоізоляційні матеріали

Таблиця Л.1 – Теплоізоляційні матеріали для застосування в теплових мережах і їх властивості за даними роботи [10] (мовою оригіналу)

Теплоизоляционный материал	Температура применения, °С	Теплопроводность материала в конструкции, Вт/(м·К)
Маты минераловатные прошивные ГОСТ 21880-86 марки 100	Минус 180 - 450	$0,045+0,00021t_m$
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем ГОСТ 10499-78 марки МС-35	Минус 60 - 180	$0,04+0,0003t_m$
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем ГОСТ 9573-82 марки 50	Минус 60 - 400	$0,04+0,00029t_m$
Маты звукопоглощающие базальтовые марки БЗМ РСТ УССР 1977-87	Минус 180 - 450	$0,04+0,0003t_m$
Плиты теплоизоляционные из пенопласта на основе резольных фенолформальдегидных смол ГОСТ 20916-87 марки 50	Минус 180 - 130	$0,040+0,00022t_m$
Пенопласт терморезактивный жесткий ТУ 6-05-1303-76 марки ФФ	Минус 60 - 150	$0,055-0,052$
Пенополиуретан ППУ-331/3 (заливочный)	Минус 180 - 120	$0,036-0,031$

ДОДАТОК М

Норми питомих втрат теплоти в теплопроводах

Таблиця М.1 – Норми питомих втрат теплоти в теплопроводах теплових мереж надземного прокладення для умов Харкова згідно з роботою [10] (мовою оригіналу)

Условный диаметр трубопровода, мм	Удельные нормы потерь теплоты в теплопроводах, Вт/м, при среднегодовой температуре воды в трубопроводе, °С				
	89	79	66	61	49
25	25	23	19	18	15
40	30	27	23	21	18
50	32	29	24	23	19
65	37	33	29	27	23
80	41	37	31	29	25
100	45	41	35	33	28
125	51	46	40	37	32
150	57	51	44	41	35
200	70	63	55	51	44
250	80	72	63	59	51
300	92	83	72	68	59
350	102	93	81	76	66
400	111	101	89	84	73

Вказані в таблиці температури теплоносія 89, 79, 66, 61, 49 °С є середніми за опалювальний період для умов Харкова при розрахункових температурах води у трубопроводі відповідно 150, 130, 105, 95, 70 °С.

