

621.1
К 858

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

Є.М. Крючков

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ

**Методичні вказівки
до лабораторного практикуму**

*для студентів ЗДІА спеціальності 7.000008
«Енергетичний менеджмент»*

2007

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТА ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ

Методичні вказівки
до лабораторного практикуму

для студентів ЗДІА спеціальності 7.000008
«Енергетичний менеджмент»

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ТЕ
протокол №13 від 03.04 2007

2007

Теплопостачання та теплові мережі. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 7.000008.

«Енергетичний менеджмент».

/Укладач Є.М. Крючков. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА,
2007, - 41 с./

Уклад

ач:

Є.М. Крючков - канд. техн. наук,
доцент.

Відповідальний за випуск –
завідуючий кафедрою теплоенергетики
доктор технічних наук професор І. Г.
Яковлева.

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. Дослідження характеристик

елеватора.....	4
1. Мета роботи.....	4
2. Короткий опис процесу сумісної роботи елеватора і системи опалювання.....	4
3. Експериментальна установка.....	8
4. Програма експерименту.....	9
5. Проведення експерименту.....	11
6. Обробка результатів експерименту.....	12
7. Звіт.....	13

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. Дослідження гідравлічного режиму двохтрубної теплової

мережі.....	17
1. Вступ.....	17
2. Мета роботи.....	17
3. Теоретичні відомості.....	18
4. Проведення експерименту.....	21
5. Обробка результатів випробувань.....	22
6. Побудова п'єзометричного графіка.....	25
7. Вимоги до п'єзометричного графіка.....	25
8. Звіт	

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Теплові випробування теплових

мереж	31
1. Вступ.....	31
2. Мета роботи.....	31
3. Теоретичні відомості.....	31
4. Проведення експерименту.....	34
5. Обробка результатів випробувань.....	35
6. Звіт.....	36

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕВАТОРА

1 Мета роботи

Основною метою даного експериментального дослідження являється практичне опрацювання теоретичного матеріалу з дисципліни "Теплові мережі" і отримання практичних навиків по гідравлічному регулюванню систем опалювання.

В процесі виконання роботи досліджуються характеристики елеватора, які аналогічні характеристикам відцентрових насосів з тією лише різницею, що висоту положення характеристики насоса визначають числом обертів n , а елеватора – наявним перепадом тиску на абонентському ввіді перед соплом елеватора ΔP_p (МПа). Встановлюють вплив коефіцієнта гідравлічного опору системи опалювання S (МПа/(м³/с)²) на положення характеристики мережі місцевої системи. Визначають експериментальний і теоретичний коефіцієнти змішування U .

2 Теоретичний опис процесу сумісної роботи елеватора і системи опалювання

Елеватор, встановлений на абонентському ввіді, виконує одночасно дві функції: знижує температуру води і створює тиск на виході з дифузора, необхідний для забезпечення циркуляції води в системі.

Подовжній перетин елеватора показаний на рис. 1.

Основні показники роботи елеватора - тиск, що створюється елеватором P_e (МПа) і коефіцієнт змішування U .

Коефіцієнт змішування елеватора характеризує відношення витрати води, що підсмоктується через перемичку в камеру змішення V_0 (м³/с), до витрати води через сопло V_p (м³/с):

$$U = \frac{V_0}{V_p} \quad (1)$$

При роботі на гарячій воді коефіцієнт змішення експериментально визначають по температурі теплоносія на елеваторі

$$U = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2}, \quad (2)$$

де τ_1, τ_2, τ_3 - значення температур води відповідно в подаючій лінії тепломережі, на виході і вході системи опалювання °С.

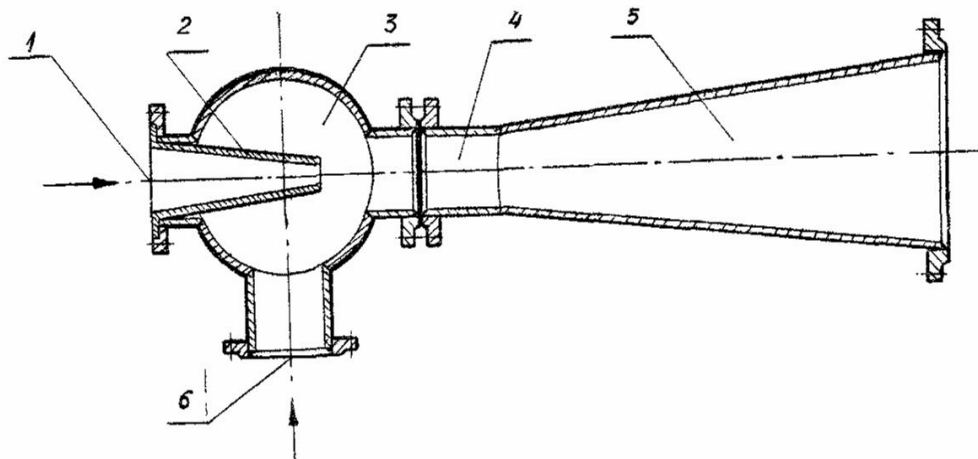


Рис. 1 - Подовжній перетин елеватора.

1 – вхід робочої рідини; 2 – сопло; 3 – приймальна камера;
4 – камера змішення; 5 – дифузор; 6 – вхід підмішуваної рідини.

У разі примусового руху води в опалювальній системі падіння тиску в ній ΔP_C забезпечується тиском ΔP_e , який створюється елеватором, і гравітаційним тиском $\Delta P_g = gh(\rho_2 - \rho_3)$, МПа:

$$\Delta P_C = \Delta P_e + \Delta P_g, \quad (3)$$

де h - висота системи опалювання, м;

ρ_2, ρ_3 - щільність відповідно охолодженої і гарячої води, кг/м³.

Експериментальна установка працює на холодній воді, при цьому $P_e = 0$ і відповідно

$$\Delta P_C = \Delta P_g \quad (4)$$

Графічне рішення рівняння (4) можна представити у вигляді перетину двох кривих (рис. 2) - характеристики мережі (крива 2) і характеристики елеватора (крива 1). Точка А на перетині кривих 1 і 2 називається робочою точкою, яка характеризує режим спільної роботи елеватора і місцевої системи опалювання.

Падіння тиску в теплових мережах і системах опалювання, як правило, підкоряється квадратичній залежності від витрати води, тому характеристика опалювальної системи є квадратичною параболою, що описується рівнянням

$$\Delta P_C = S_C \cdot V_C^2, \quad \text{звідки} \quad S_C = \frac{\Delta P_C}{V_C^2} \quad (3)$$

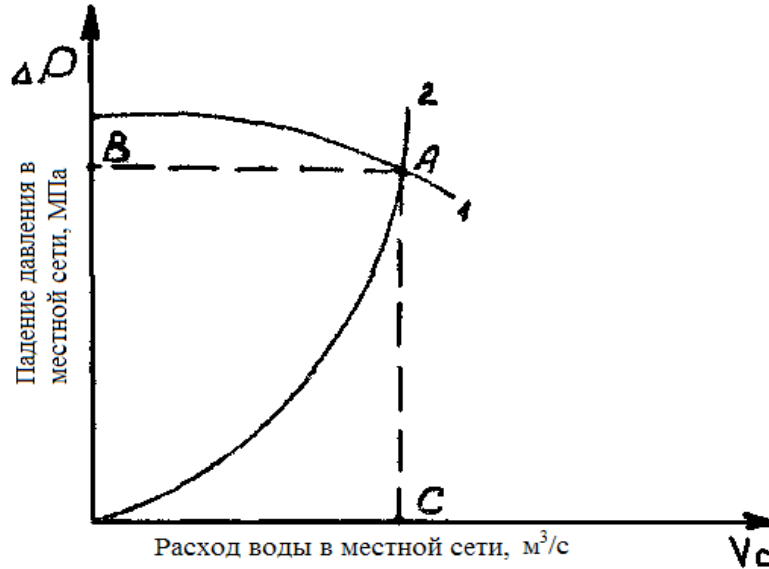


Рис. 2 – Гідрравлічна характеристика елеватора

- де V_c – витрата води на виході з елеватора, $\text{м}^3/\text{с}$;
 ΔP_c – падіння тиску в місцевій системі опалювання МПа;
 S_c – коефіцієнт опору опалювальної системи, $\text{МПа}/(\text{м}^3/\text{с})^2$.

Характеристика елеватора з циліндричною камерою змішення описується рівнянням квадратичної параболи [1] і являється функцією геометричних розмірів, чистоти обробки внутрішніх поверхонь елеватора і тиску P_p , підведеного до елеватора з теплової мережі, МПа:

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = \varphi_1^2 \frac{f_{p1}}{f_3} \left[2\varphi_2 + (2\varphi_2 - \varphi_4^{-2}) \frac{f_{p1}}{f_{n2}} U^2 - (2 - \varphi_3^2) \frac{f_{p1}}{f_3} (1+U)^2 \right] \quad (6)$$

- де $\Delta P_p = P_p - P_n$ – наявний перепад тиску робочого потоку
 (P_p, P_n – тиск робочої води перед соплом і в приймальній камері підмішуваної води);
 $\Delta P_c = P_c - P_n$ – наявний перепад тиску що створюється елеватором
 (P_c, P_n – тиск змішаної води і на виході із дифузора);
 $f_{p1} = 0,785 d_1^2$ - площа вихідного перетину сопла, м^2 ;
 $f_3 = 0,785 d_3^2$ - площа вихідного перетину циліндричної частини камери змішення, м^2 ;
 $f_2 = f_3 - f_1$ – площа вхідного перетину камери змішення, м^2 ;
 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - коефіцієнти швидкості відповідно до сопла, камери змішення, дифузора і вхідної ділянки камери змішення;
 $U = V_0/V_p$ - коефіцієнт змішення елеватора;
 V_p – витрата води через сопло елеватора, $\text{м}^3/\text{с}$;
 V_0 – витрата води із зворотного трубопроводу через еремичку, $\text{м}^3/\text{с}$;

V_c – витрата води в місцевій системі, дорівнює сумі $V_0 + V_p$ або добутку, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$V_c = (1+U) V_p \quad (7)$$

Коефіцієнти швидкості для середніх умов обробки поверхні рекомендується приймати: $\varphi_1 = 0,95$; $\varphi_2 = 0,975$; $\varphi_3 = 0,9$; $\varphi_4 = 0,925$

Замінимо у формулі (6) коефіцієнти швидкості φ і перетини f їх числовими значеннями (розміри діаметрів – в паспорті стенду), після нескладних перетворень формула прийме вигляд

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = \frac{f_1}{f_3} \left[1.75 + 0.7 \frac{f_1}{f_2} U^2 - 1.07 \frac{f_1}{f_3} (1+U)^2 \right] \quad (8)$$

За рівнянням (8) будується залежність $\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = f(U)$ (рис. 3, крива 1).

Ця залежність називається теоретичною характеристикою елеватора, у відмінності від дослідної, побудованій за результатами випробування елеватора.

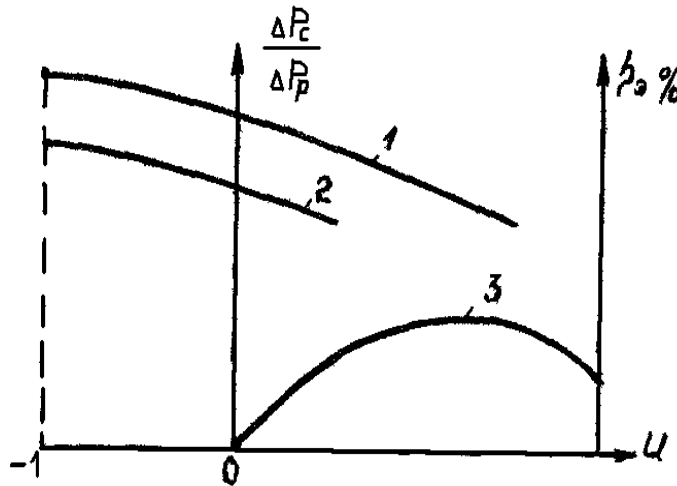


Рис. 3 – Енергетичні характеристики елеватора

Примітка: Характеристика мережі $\Delta P_c = f(V_c)$ в координатах $\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = f(U)$ перетвориться в точку.

Ступінь відхилення дослідної характеристики від теоретичної залежить від якості обробки внутрішньої поверхні елеватора, правильності установки сопла відносно осі елеватора і ряду інших факторів.

Для розрахунку теоретичного тиску, що створюється елеватором, рівняння (8) зручно представити у вигляді

$$\Delta P_C = \frac{f_1}{f_3} \left[1.75 + 0.7 \frac{f_1}{f_2} U^2 - 1.07 \frac{f_1}{f_3} (1+U)^2 \right] \Delta P_p \quad (9)$$

Замінивши у формулі (9) коефіцієнт зміщення U , виходячи з витрати води в системі опалювання, одержимо залежність втрати тиску в місцевій мережі ΔP_C від наявного перепаду тиску на абонентському ввіді ΔP_p і витрати води в місцевій мережі V_c , Мпа

$$\Delta P_C = f(\Delta P_p, V_c) \quad (10)$$

Ця залежність дозволяє побудувати в координатах ΔP_C - V_c сімейство характеристик елеватора, приймаючи ΔP_p за незалежний змінний параметр (рис.4).

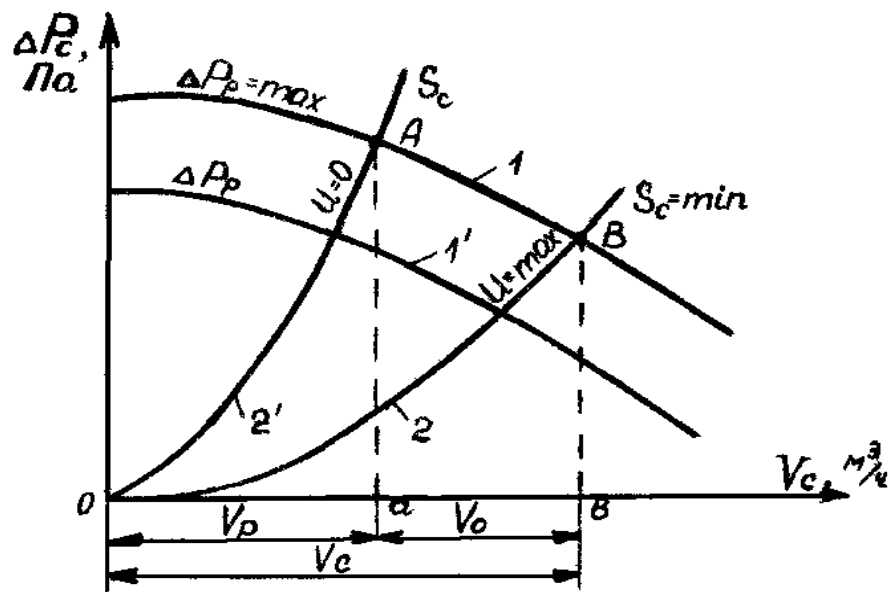


Рис. 4 – Гідравлічна характеристика елеватора

3 Експериментальна установка

Принципова схема установки показана на рис. 5. При роботі відцентрового насоса 1 в установці утворюються два циркуляційні контури руху води. Відцентровий насос створює потік робочої води в замкнутому контурі 1-П-1. Вторинний потік води, інжектуюється елеватором із зворотного трубопроводу, утворює вторинний замкнутий контур циркуляції 3-П-3.

На ділянці вторинного контура циркуляції, що складається з камери змішення, програма і опалювальної системи, протікає сумарна витрата робочею і підмішуваної води.

Вся система знаходиться під статичним тиском водяного стовпа, що створюється напірним баком III.

Робоча вода надходить в сопло елеватора через вентиль B_1 , виходить з сопла в приймальну камеру елеватора з великою швидкістю.

Внаслідок тертя води, що виходить з великою швидкістю із сопла і води, що знаходиться в приймальній камері, відбувається захоплення останньої в змішувальну камеру елеватора. На місце захоплених частинок вода із зворотного трубопроводу надходить (підсмоктується) в приймальну камеру через перемичку і вентиль B_3 .

Найвищий перепад тиску на абонентському введенні визначається по різниці показань манометрів M_2 і M_1 , а перепад тиску, що створюється елеватором, визначається по різниці показань манометрів M_3 і M_4 .

Кількість води, що витікає з програма елеватора, вимірюється водоміром R_1 .

Повітряник 5 встановлений у верхній точці системи служить для видалення повітря із системи перед початком експерименту.

4 Програма експерименту

1. Зняти на експериментальному стенді дві характеристики елеватора, за якими побудувати залежності

$$\Delta P_e = f(V_c); \Delta P_e = f(\Delta P_p)$$

одну - для максимального значення $\Delta P_p = \max$, іншу - при меншому значенні ΔP_p .

Характеристики елеватора при різних значеннях перепаду тиску на абонентському введенні ΔP_p зображені кривими 1 і 1' (рис. 4).

2. Зняти на експериментальному стенді дві характеристики місцевої мережі, за якими побудувати залежності

$$\Delta P_p = f(V_c); \Delta P_c = f(S_c)$$

одну - при мінімальному опорі вторинного контура $S_c = \min$, іншу - при нульовій витраті $V_o = 0$.

Характеристики місцевої системи опалювання при мінімальному опорі вторинного контура і нульовій витраті води в перемичці показані відповідно кривими 2 і 2' (рис.4).

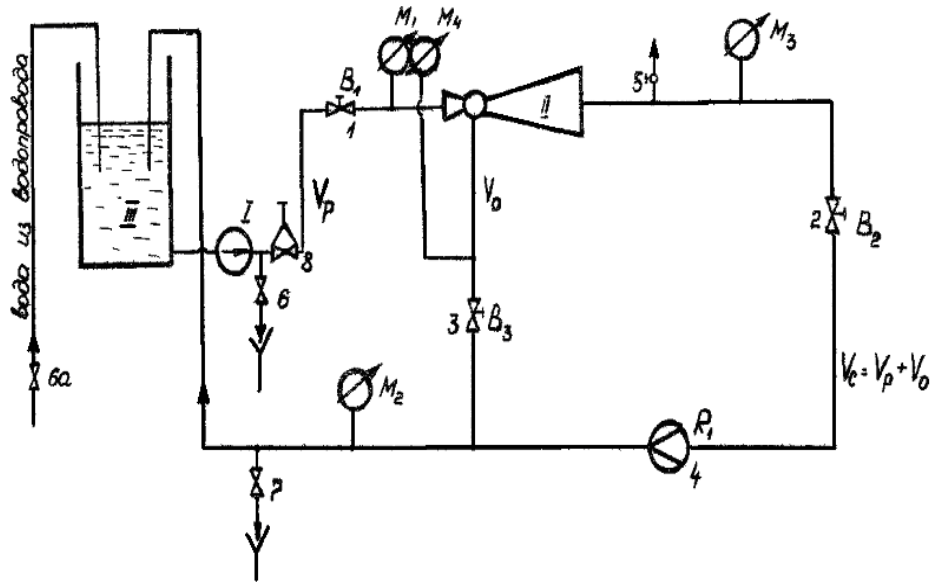


Рис. 5 - Принципова схема експериментальної установки

3. Побудувати теоретичну залежність $\frac{\Delta P_C}{\Delta P_P} = f(U)$;

дослідну характеристику елеватора $\frac{\Delta P_C}{\Delta P_P} = f(U)$ і залежність коефіцієнта корисної дії елеватора від коефіцієнта змищення $\eta_e = f(U)$ в координатах $\frac{\Delta P_C}{\Delta P_P} - U$ (рис.3, криві 1,2 і 3).

4. Виявити вплив ступені відкриття регулюючих органів на основні показники роботи системи $\Delta P_C, V, U, S_C$.

Геометричні розміри елеватора дані в паспорті установки, які визначені при його проектуванні за нижчеприведеними емпіричними рівняннями [2]

а) діаметр камери змищення, м:

$$d_3 = \frac{5}{\sqrt[4]{S_C}}, \quad (11)$$

де S_C гідравлічний опір місцевої системи, Па с²/м⁶;

б) діаметр вихідного перетину сопла елеватора, м:

$$d_1 = \frac{d_3}{(1+U)\sqrt{1.1-0.43\left(\frac{U}{1+U}\right)^2}}; \quad (12)$$

в) мінімально необхідний перепад тиску на абонентському ввіді, Мпа:

$$\Delta P_P^{теор} = 0.875 \cdot 10^{-3} d_1^{-4} V_P^2 \quad (13)$$

г) коефіцієнт гідравлічного опору місцевої системи S_c , МПа/(м³/с)² і абонентського введення $S_{аб}$, МПа/(м³/с)²:

$$S_c = \frac{\Delta P_c}{V_c^2}; \quad (14)$$

$$S_{аб} = \frac{\Delta P_p}{V_p^2}. \quad (15)$$

5 Проведення експерименту

а) Підготовка стенду до роботи.

1. Заповнити бак III водою з водопроводу через вентиль ба.
2. Перевірити заповнення системи водою. Для цього необхідно відкрити засувку 8 і вентиля В₁, В₂, В₃. Дренажі 6, 7 повинні бути закриті. Відкривають повітряник 5. Переконавшись у відсутності повітря в системі, закривають повітряний кран 5 і вентиль В₁ перед елеватором.
3. За дозволу викладача включити електродвигун насоса і поступово відкривати вентиль В₁.

б) Зняття характеристики елеватора.

Початкові дані для побудови характеристики елеватора знімають при постійному перепаді тиску на соплі елеватора ΔP_p .

Відкриваємо вентиль В₁ повністю, при повністю відкритих вентилях В₂ і В₃ встановлюють максимально можливу витрату води через установку. Потім, прикриваючи вентиль В₂, зменшують витрату води в мережі. Для кожного положення вентиля В₂ знімають показання всіх вимірювальних приладів. Термін виміру витрати води за водоміром повинен бути не меншого 1 хв. Ступінь повороту вентиля В₂ регулюють від повністю відкритого положення до зовсім закритого. Кількість проміжних вимірів повинна бути не меншого п'яти. Для рівномірного розташування дослідних точок на кривій характеристики елеватора необхідно регулювання вентиля В₂ контролювати по зміні показань манометра М₃.

При повністю закритому вентилю В₂ витрата води через перемичку негативна (у зворотному напрямі) і дорівнює витраті води через сопло. Для такого режиму коефіцієнт змішення

$$U = \frac{-V_0}{V_p} = -1 \quad (16)$$

У роботі необхідно зняти дані для побудови двох характеристик елеватора. Друга характеристика знімається при зменшеному ($\approx 20\%$) значення ΔP_p .

в) Зняти характеристики мережі.

Початкові дані для характеристики мережі знімають при незмінному коефіцієнті опору мережі ($S_c=const$), інакше кажучи, при відкритих вентилях B_2 і B_3 .

Для отримання початкових даних характеристики мережі, що має $S_c=min$ повністю відкривають вентилялі B_2 і B_3 . Витрату води регулюють положенням вентиля B_1 . Контроль зміни витрати води ведуть за показаннями манометра M_1 .

Для кожного положення вентиля B_1 знімають показання всіх вимірювальних приладів.

Всі вимірювання записуються в журнал спостережень (Додаток А).

Показання для другої характеристики мережі знімають при витраті води в перемичці, рівній нулю. Для побудови цього режиму необхідно повністю закрити вентиль B_3 , вентиль B_2 відкрити повністю. Витрату води як і раніше регулюють вентиляем B_1 .

6 Обробка результатів експерименту

На підставі експериментальних даних визначають необхідні величини для побудови характеристик у відповідних координатах.

1. Витрата води через сопло елеватора, m^3/c , визначається з тарировочної залежності сопла елеватора, при $d_1=7,6*10^{-3}$ м.

$$V_p = 33.8 \cdot d_1^2 \sqrt{\Delta P_p}, \quad (17)$$

де ΔP_p - перепад тиску в соплі елеватора, МПа.

2. Витрата води у вторинному контурі, m^3/c , визначається за показаннями водоміра

$$V_c = \frac{Q_k - Q_n}{Z}, \quad (18)$$

де Q_k, Q_n - показання водоміра в кінці та на початку випробувань, m^3 .

3. Витрата води в перемичці, m^3/c , визначають по різниці

$$V_0 = V_c - V_p \quad (19)$$

4. Коефіцієнт інжекції (змішення) елеватора визначають за формулою

$$U = \frac{V_0}{V_p} \quad (20)$$

5. Для побудови графіків перепад тиску $\Delta P_e = P_3 - P_4$, створюваний елеватором, і перепад тиску $\Delta P_p = P_1 - P_2$, на абонентському ввіді (підведений до сопла елеватора) складають відповідно, Па:

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{э}} &= g(P_3 - P_4) \cdot 10^4, \\ \Delta P_p &= g(P_1 - P_2) \cdot 10^4.\end{aligned}\quad (21)$$

Результати дослідів обробляють у вигляді залежностей $\Delta P_c = f(V)$ і $\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = f(U)$.

Дослідні точки наносяться на графік в прямокутних координатах (на міліметрівці). На рис. 5 разом з дослідною характеристикою, побудованою за даними випробувань, наноситься теоретична характеристику елеватора згідно формули (8). На цьому ж графіку наноситься крива змін енергетичного ККД елеватора $\eta_{\text{э}}$ за дослідними даними. ККД елеватора - відношення енергії, одержаної U кг ежектованої води при підвищенні тиску на ΔP_c , до енергії, витраченої 1 кг робочого потоку при зниженні його тиску з P_1 до P_3

$$\eta_{\text{э}} = \frac{U \Delta P_c}{\Delta P_p - \Delta P_c} = \frac{U}{\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} - 1}.\quad (22)$$

Так як крива 1 характеристики елеватора (див. рис. 4) знімається при незмінному значенні перепаду тиску в соплі елеватора, то і витрата води через сопло залишається постійною для будь-якої точки.

Відмітимо далі, що крива 2 (див. рис. 4) є витратною характеристикою сопла елеватора.

Із сказаного витікає, що коефіцієнт змішення знаходиться з графіка як відношення відрізків абсцис:

$$U = \frac{\bar{a} \bar{b}}{\bar{o} \bar{a}} = \frac{V_0}{V_p}.\quad (23)$$

Результати розрахунків, одержаних при обробці експериментальних даних, зводяться в журнал обробки дослідних даних (Додаток Б).

7. Звіт по роботі

Звіт по роботі повинен містити:

короткий зміст роботи;

принципову схему установки і ескіз подовжнього перетину елеватора;

журнал спостережень і обробки дослідних даних по (додаток А);

розрахунок теоретичної характеристики елеватора по формулі (8);

графіки $\Delta P_C = f(V_C)$; $\frac{\Delta P_C}{\Delta P_P} = f(U)$; $\eta_D = f(U)$;

аналіз отриманих результатів.

Питання для самоперевірки

1. Призначення елеватора і окремих його частин.
2. Застосування елеватора як пристрій змішувача в місцевих опалювальних системах.
3. Визначити розрахунковий коефіцієнт змішення елеватора для температурного графіка $130/70^\circ$ і $150/70^\circ$.
4. Вплив зміни опору місцевої системи S_C на коефіцієнт змішення елеватора U .
5. Кожна характеристика в координатах $\Delta P_C = f(V_C)$ має два постійні параметри. Назвіть їх для характеристики мережі і характеристики елеватора.
6. Для довільно узятій точки на графіку $\Delta P_C = f(V_C)$ визначити витрату води:
через сопло – V_p ; у перемишці до елеватора - V_0 ; у місцевій системі опалювання - V_C ; коефіцієнт змішення U ; тиск, що створюється елеватором - $\Delta P_e = \Delta P_C$.
7. Межі змін коефіцієнта змішення при регулюванні вентилем B_2 .
8. Зображення характеристики мережі в координатах $\frac{\Delta P_C}{\Delta P_P} = f(U)$.

Список літератури

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.И. Струйные аппараты. - М.: «Энергия», 1970. - 288 с. с ил.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. - М.: «Энергия», 1975. – 376 с. с ил.
3. Инструкция по эксплуатации тепловых сетей. –М.: «Энергия», 1972. – 343 с.

Журнал спостережень

Дата _____ Курс _____ Група _____
 Призвіще студента _____

Характеристика	№ досліду	Показники водоміру		час вимірів	Тиск, МПа			
		$Q_{\text{поч}}$	$Q_{\text{кін}}$	Т	P_1	P_2	P_3	P_4
Ельоватора	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
Мережі	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							

Підпис викладача _____

Примітка. Журнал спостережень готують до проведення дослідів і заповнюють чорнилом. До звіту додається в оригіналі

Журнал обробки дослідних даних

Характеристика	N° заміру	Витрата води, $\times 10^3, \text{ м}^3 / \text{ с}$			Перепад тиску, МПа		U	$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}$	η_e	Коефіцієнт гидравлічного опору $\times 10^{-3}, \text{ МПа} / (\text{ м}^3 / \text{ с})^2$	
		V _c	V _p	V _o	ΔP_c	ΔP_p				S _c	S _{об}
елеватор	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
мережа	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМУ ДВОХТРУБНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

1 Вступ

Водяні теплові мережі - складна гідравлічна система, об'єднуюча джерело теплопостачання і споживачів теплової енергії.

Споживачі, які підключені до теплової мережі, знаходяться не в однакових умовах по наявному тиску на абонентському вводі.

Протягом року теплове навантаження споживачів змінюється, що викликає необхідність регулювання витрати теплоносія на станції або у споживача.

Регулювання витрати теплоносія на станції або у окремих споживачів приводить до зміни перепадів тиску в мережі, що викликає в свою чергу зміну витрати теплоносія у абонентів, у тому числі і у тих, які по характеру свого навантаження вимагають збереження постійності витрати води.

Ступінь зміни витрати води в абонентській системі і в мережі, тобто ступінь розрегулювання, визначають з відношення фактичної витрати води V до розрахункової витрати V_p за формулою

$$\bar{V} = \frac{V}{V_p} \quad (1)$$

Характер зміни витрати води у абонента залежить від місця проведення регулювання.

При центральному регулюванні на станції виникає, як правило, відповідна і пропорційна зміна витрати води у всіх абонентів, приєднаних до теплової мережі.

При місцевому регулюванні (у абонента) виникає пропорційна зміна витрати води у всіх кінцевих споживачів, розташованих за об'єктом регулювання, і непропорційне у споживачів, приєднаних до теплової мережі до регульованого об'єкту.

2. Мета роботи

1. Експериментальне вивчення закономірностей зміни форми п'єзометричного графіка тупикової мережі.

2. Теоретичне вивчення впливу способу регулювання на зміну витрати води в тепловій мережі у абонентів.

3 Теоретичні відомості

Рух води в трубопроводах відбувається з втратою енергії на тертя, що викликає зниження тиску води по довжині мережі. Втрату тиску на ділянці мережі визначають на підставі рівняння гідравлічних втрат

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \frac{W^2}{2} \rho + \sum \xi \frac{W^2}{2} \rho \quad (2)$$

де λ - коефіцієнт лінійного тертя;
 l - довжина ділянки, м;
 W - швидкість води, м/с;
 ξ - коефіцієнт місцевого опору;
 ρ - щільність води, кг/м³.

Швидкість руху води в трубопроводах визначають на підставі рівняння суцільності

$$V = f \cdot W \quad (3)$$

де V - об'ємна витрата води, м³/с;
 f - живий перетин для проходу води, м².

Для систем теплопостачання швидкість руху води приймають на підставі техніко-економічних розрахунків виходячи з мінімуму приведених витрат:

$$\begin{aligned} \text{при } V < 0,5 \text{ м}^3/\text{с} & \quad W = 2,5 V^{0,24}, \text{ м/с;} \\ \text{при } V \geq 0,5 \text{ м}^3/\text{с} & \quad W = 2,18 V^{0,04}, \text{ м/с;} \\ \text{для відгалужень} & \quad W = 0,48 R_l^{0,38} V^{0,24}, \text{ м/с;} \end{aligned} \quad (4)$$

де R_l - питоме лінійне падіння тиску, Па/м; приймають з умов допустимої гідравлічної стійкості тепломережі ($R_l \leq 300$ Па/м).

Питоме лінійне падіння тиску характеризує втрату тиску на один метр довжини трубопроводу і виражає тангенс кута нахилу п'єзометричної лінії до горизонталі

$$R_l = \frac{\lambda}{d} \frac{W^2}{2} \rho \quad (5)$$

Для квадратичного режиму руху води критерій Рейнольдса $Re \geq Re_{np}$ (Re_{np} - граничне значення критерію Рейнольдса, рівне $560 \frac{d}{k_s}$).

Коефіцієнт гідравлічного тертя сталених трубопроводів в залежності від числа Re і відносної шорсткості добре описується універсальним рівнянням, запропонованим А.Д. Альтшулем

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (6)$$

для області ламінарного режиму

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}; \quad (7)$$

Для перехідної області $k_s = 0$ (формула Блазіуса)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}; \quad (8)$$

для турбулентного режиму $\text{Re} = \infty$ формула Шифринсона)

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0,25} \quad (9)$$

де k_s - еквівалентна шорсткість трубопроводів тепломережі; приймається - $k_s = 5 \cdot 10^{-4}$ м.

Еквівалентну довжину місцевих опорів визначають за формулою, м:

$$l_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sum \xi \cdot d}{\lambda}. \quad (10)$$

У системах теплопостачання, як правило, має місце квадратичний режим руху води, для якого рівняння (2) записують у вигляді

$$\Delta P = S \cdot V^2 \quad (11)$$

де S - гідравлічний опір ділянки мережі, $\text{Па}/(\text{м}^3/\text{с})^2$;

V – витрата води на ділянці, $\text{м}^3/\text{с}$.

Аналіз гідравлічного режиму мережі ведеться на підставі рівняння (11), рішення якого щодо витрати води дає наступну залежність

$$V = \sqrt{\frac{\Delta P}{S}}. \quad (12)$$

Зміна витрати води на станції або абонентом на підставі рівняння (1) визначається за формулою

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_p} \frac{1}{S/S_p}} \quad (13)$$

де ΔP , ΔP_p - перепад тиску відповідно для поточного і розрахункового режимів тепломережі, Па;

S , S_p - гідравлічний опір відповідно для поточного і розрахункового режимів мережі.

Рівняння (13) може бути застосовано до окремих споживачів, груп споживачів і всієї мережі.

Для знаходження сумарних гідравлічних опорів їх необхідно скласти.

Сумарний гідравлічний опір послідовно включених ділянок мережі дорівнює сумі опорів цих ділянок

$$S_{1-2} = S_1 + S_2 \quad (14)$$

Сумарний гідравлічний опір ділянок паралельного з'єднання визначають через їх провідність

$$S_{1-2} = \frac{1}{a_{1-2}^2}, \quad a_{1-2} = a_1 + a_2,$$

$$a_1 = \frac{1}{\sqrt{S}}, \quad a_2 = \frac{1}{\sqrt{S_2}}. \quad (15)$$

Двохлінійну тепломережу (рис.2.1) по аналогії з електричними мережами можна представити у вигляді електричного ланцюга з осередженими опорами. Для цього підсумуємо гідравлічні опори прямої і зворотній ліній по ділянкам.

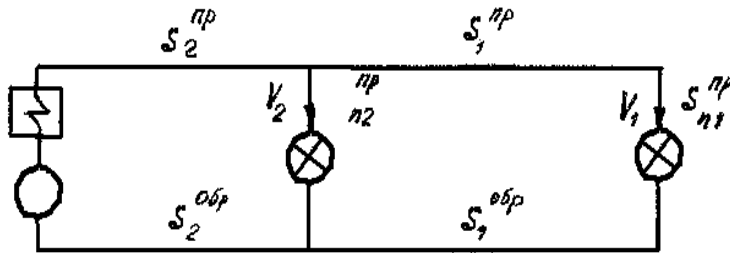


Рис.2.1 - Двохлінійна тепломережа

ТЭС - теплопідготовча станція;

Сн - мережний насос;

$\Delta P_{С.Н.}$ - тиск, що створюється мережним насосом;

S - опір ділянок мережі;

V - витрата води.

Опори підведення до споживачів

$$S_{n1} = S_{n1}^{np} + S_{n1}^{обр},$$

$$S_{n2} = S_{n2}^{np} + S_{n2}^{обр}, \quad (16)$$

Опори ділянок тепломережі

$$S_1 = S_1^{np} + S_1^{обр},$$

$$S_2 = S_2^{np} + S_2^{обр}, \quad (17)$$

Крім того, маємо опори абонентів Sa_1 , Sa_2 і опір теплопідготовчої станції $S_{тпс}$ /рис. 2.2/.

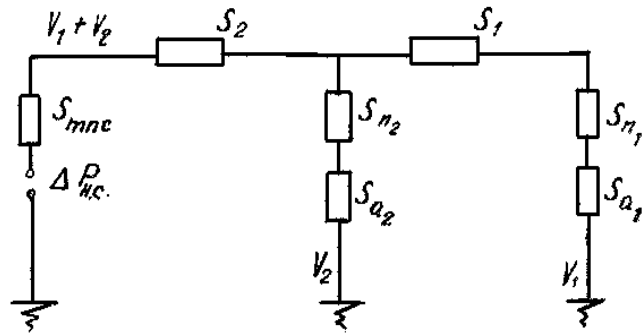


Рис.2.2 - Однолінійна модель тепломережі

Включення насосної станції на мережі еквівалентно включенню негативного гідравлічного опору:

$$S_{H.C.} = -\frac{\Delta P_{H.C.}}{V_{H.C.}^2}, \quad (17)$$

де $\Delta P_{H.C.}$ - тиск, що створюється насосною станцією, Па;

$V_{H.C.}$ - продуктивність насосної станції, м³/с.

4 Проведення експерименту

Лабораторну роботу виконують на теплових мережах Орджонікідзевської філії концерну "Запорізькі теплові мережі". Допуск до виконання лабораторної роботи проводиться після проведення інструктажа по техніці безпеки із записом в спеціальному журналі. Принципова схема системи теплопостачання показана на рис. 3.

Досліджувана ділянка теплової мережі показаний на рис.4.

Контрольні заміри гідравлічного режиму проводяться на наступних постах спостережень:

- районній котельні (пост №1);
- насосній підстанції кварталу 121 (пост №2);
- тепловому пункті по вул. Козачій (пост №3).

Вимірювання тиску і витрати теплоносія проводиться за показаннями контрольно-вимірювальних приладів, розташованих у вказаних пунктах.

На схемі теплової мережі (рис.4) показані геодезичні висоти в характерних точках, довжини ділянок мережі і діаметри трубопроводів, а також витрати теплоносія на цих ділянках.

Перед проведенням випробувань студенти вивчають район теплопостачання, характеристику теплових мереж і устаткування станції.

В період проведення випробувань повинна бути забезпечена підтримка стабільного гідравлічного режиму по витраті теплоносія і тиску на вихідних колекторах станції.

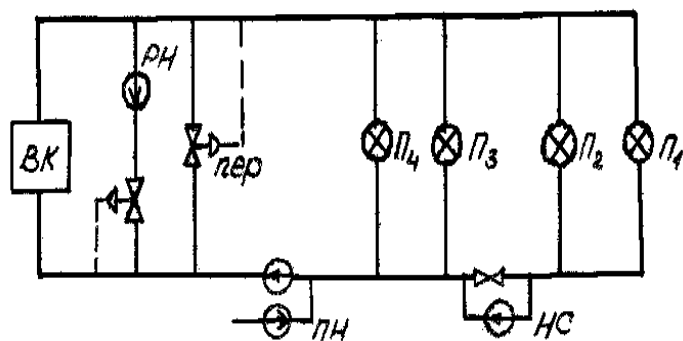


Рис.2.3 - Принципова схема системи теплопостачання

- ВК - водогрійний котел;
- РН рециркуляційний насос;
- СН - мережний насос;
- ПН - підживлюючий насос;
- НС - насосна станція на зворотній лінії мережі;
- П - споживачі, теплоти;
- пер - перепускна перемичка.

В процесі випробувань вимірюються параметри в наступних характерних точках:

Пост №1. На подаючому і зворотному колекторах станції. На напірному і всмоктуючому колекторах мережних насосів. Витрата води в прямому і зворотному колекторах мережі.

Пост № 2. У подаючому і зворотному трубопроводах тепломережі верхньої та нижньої зони, на нагнітанні і всмоктуванні перекачуючих насосів.

Пост № 3. У прямому і зворотному трубопроводах теплового пункту.

При знятті показань манометрів необхідно заміряти поправку Z_m відмітки центру манометра по відношенню до осі трубопроводу.

Результати випробувань заносяться в журнал спостережень (форма №3).

5 Обробка результатів випробувань

На підставі отриманих результатів випробувань на кожному посту спостережень визначають величини п'єзометричних напорів в подаючій і зворотній лініях тепломережі

$$H_{зам} = \frac{P_{зам} \cdot 10^4}{\rho} + Z_{м} \quad (18)$$

де $H_{зам}$ - заміряний напір води в трубопроводі, м.в.ст.;

$P_{зам}$ - заміряний тиск води в трубопроводі, кгс/см²;

$Z_{м}$ - геодезична поправка на положення центру манометра по відношенню до осі трубопроводу, м.

Для визначення втрат напору по ділянкам теплової мережі і побудови п'єзометричного графіка необхідно заміряні тиски привести до нульового рівня відліку.

Повний тиск води в будь-якій точці тепломережі по відношенню до нульового рівня відліку визначають за формулою

$$H = H_{зам} + Z_{геод} \quad (19)$$

де $Z_{геод}$ – геодезична відмітка осі трубопроводу в місці проведення виміру параметрів, м; приймається по рис.4.

По різниці повних напорів на початку і кінці ділянки визначають втрату натиску(напору) на даній ділянці:

$$\Delta H = H_{поч} - H_{кін} \quad (20)$$

де $H_{поч}$, $H_{кін}$ – повні напори відповідно на початку і кінці ділянки.

Визначають фактичні питомі втрати тиску в подаючій і зворотній лініях тепломережі на ділянках і порівнюють їх з допустимими ($R_{лдоп} = 80$ Па/м):

$$R_{ли} = \frac{\Delta H_i \cdot g \cdot \rho}{l_i} \leq R_{лдоп} \quad (21)$$

Невиконання умови нерівності свідчить про перевантаження ділянки по витраті води або про неповне відкриття запірної арматури на даній ділянці магістрального трубопроводу.

Результати обробки випробувань заносять в журнал (форма № 4).

**Рис 4 - Розрахункова схема теплової мережі
Орджонікідзевського району**

См отдельный файл

6 Побудова п'єзометричного графіка

Для побудови п'єзометричного графіка в певному масштабі викреслюють профіль прокладки теплової мережі на місцевості.

Відстань між характерними точками і їх геодезичні відмітки вказані на схемі теплової мережі (див. рис. 4).

Нанесені на графік точки повних напорів за результатами виміру з'єднуються прямими лініями відповідно для подаючого і зворотного трубопроводів.

Абсолютна величина тангенса кута нахилу п'єзометричної лінії характеризує значення питомого падіння тиску на ділянці:

$$/ \operatorname{tg} \alpha / = R_{\text{л}} \quad (22)$$

Типовий п'єзометричний графік теплової мережі з перекачуючою насосною станцією на зворотному трубопроводі показаний на рис.5.

Різниця повних тисків між лініями графіка для подаючої і зворотною трубопровода характеризує наявний тиск в даній точці тепломережі:

$$\Delta H_p = H_{np} - H_{obr} \quad (23)$$

7. Вимоги до п'єзометричного графіка

Теплова мережа повинна знаходитися під надлишковим тиском. Підпір на всмоктуванні мережних насосів повинен бути не менше ніж 5 м.в.ст. Мінімальний тиск в подаючій лінії мережі визначається умовою нескипання при максимальній температурі води в системі теплопостачання.

Максимальний тиск в зворотній лінії мережі визначається умовою механічної міцності опалювальних систем, приєднаних до системи теплопостачання по залежній схемі.

Результати аналізу п'єзометричного графіка заносяться в журнал (форма №5)

8. Звіт

Звіт повинен містити в короткій формі наступні відомості.

1. Мета роботи і методи її розв'язання.
2. Короткий опис району теплопостачання.
3. Відомість випробування і результати обробки даних.
4. П'єзометричний графік тепломережі.
5. Принципова схема районної котельні.
6. Принципова схема насосної станції кварталу 121.
7. Аналіз отриманих результатів і висновки.

Контрольні питання

1. Показати на п'езометричному графіку повний і на п'езометричний напір.
2. Що відбудеться з втратами тиску в мережі і наявним тиском на абонентських вводах споживачів при прикритті засувки на подаючому колекторі котельні, тобто зменшенні витрати води в мережі.
3. Як змінюється п'езометричний графік і витрати води на абонентських вводах при відключенні кінцевого споживача.
4. Як змінюється п'езометричний графік і витрати води на абонентських вводах при приєднанні до мережі на її кінці додаткового споживача.
5. Призначення насосної станції на прямій (зворотній) лінії мережі і як змінюється положення п'езометричного графіка при роботі насосів.
6. Визначити наявний опір в характерних точках мережі за результатами експериментальних вимірів.
7. Якими факторами зумовлено вибір тиску в зворотному трубопроводі.
8. Чим небезпечно скипання води в тепловій мережі і за допомогою яких заходів можна запобігти цьому явищу.

Список літератури

1. Соколов Є.Я. Теплофікація і теплові мережі. - М.: Енергія, 1975. - 376 с. з іл.
2. Сафонов А.П. Збірник задач по теплофікації і тепловим мережам. - М. : Енергія, 1968. - 240 с. з іл.

Рис. 5 - П'єзометричний графік теплової мережі з перекачуючою насосною станцією на зворотному трубопроводі

На отдельном файле

Додаток А-2
Журнал реєстрації показань приладів

Додаток Б-2
Журнал обробки результатів випробувань

Додаток В-1

Отд. файл

Лабораторна робота № 3

ТЕПЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

1 Вступ

Теплова ізоляція наноситься на трубопроводи теплових мереж з метою зниження теплових втрат, що дозволяє одержати економію палива при експлуатації системи тепlopостачання.

Із збільшенням товщини ізоляції знижуються теплові втрати, але одночасно з цим зростають витрати на ізоляційну конструкцію.

Товщину ізоляції трубопроводів систем тепlopостачання визначають по мінімуму розрахункових витрат

$$\frac{\partial Z}{\partial \delta_{uz}} = 0 \quad (1)$$

де Z - розрахункові витрати на ізоляції трубопроводів, грн;

δ_{uz} - товщина ізоляції, м.

Крім того, в практиці проектування систем тепlopостачання використовують вибір товщини ізоляції трубопроводів за нормативними втратам теплоти.

2 Мета роботи

1. Експериментальне визначення теплових втрат трубопроводами системи тепlopостачання.

2. Визначення розрахункових втрат теплоти трубопроводами і порівняння їх з експериментальними.

3. Визначення величини падіння температурит вздовж теплопровода теоретичним і експериментальним методом.

3 Теоретичні відомості

Втрату теплоти системою тепlopостачання в результаті теплообміну трубопроводів з навколишнім середовищем визначають на підставі втрат кожною ділянкою мережі по всій її довжині:

$$Q_{mn} = \sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{i=1}^m [q_i \cdot l \cdot (1 + \beta)]_i \right\}_j \quad (1)$$

де n - кількість ділянок мережі з однаковим діаметром;

m - кількість трубопроводів на ділянці;

q_i - лінійна щільність теплового потоку, Вт/м;

l - довжина ділянки мережі, м;

β -коэффициент місцевих втрат;

для труб діаметром $d_n \leq 0,45$ м приймають $\beta = 1,15$ і труб $d_n > 0,45$ м; $\beta = 1,25$

Лінійну щільність теплового потоку для подаючого трубопроводу q_l^{np} і зворотного $q_l^{обр}$ визначають за формулами

$$q_l^{np} = \frac{\tau_1 - t_k}{R_{mp}^{np}} \quad (2)$$

$$q_l^{обр} = \frac{\tau_2 - t_k}{R_{mp}^{обр}} \quad (3)$$

де τ_1, τ_2 - температура теплоносія відповідно в прямому і зворотному трубопроводах теплової мережі °С;

t_k - температура повітря усередині каналу °С;

$R_{mp}^{np}, R_{mp}^{обр}$ - термічні опори трубопроводів спільно з ізоляцією відповідно подаючої і зворотної лінії тепломережі, Вт/(м. К).

Термічний опір кожного з трубопроводів визначається як сума термічних опорів ізоляції і зовнішньої поверхні

$$R_{mp} = R_{уз} + R_{н.н} \quad (4)$$

де $R_{уз}$ - термічний опір ізоляції, Вт/(м. К)

$$R_{уз} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{уз}} \cdot \ln \frac{d_n + 2 \cdot \delta_{уз}}{d_n} \quad (5)$$

$\lambda_{уз}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції при середній температурі ізоляційного шару, Вт/(м. К);

$\delta_{уз}$ - товщина ізоляції, м;

$R_{н.н}$ - термічний опір зовнішньої поверхні трубопроводу

$$R_{н.н} = \frac{1}{\pi \cdot (d_n + 2 \cdot \delta_{уз}) \cdot \alpha_{н.н}} \quad (6)$$

$\alpha_{н.н}$ - коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні ізоляції; при природній конвекції приймається

$$10 \leq \alpha_{н.н} \leq 12 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Температура повітря усередині невентильованого каналу

$$t_k = \frac{\frac{\tau_1}{R_{mp}^{np}} + \frac{\tau_2}{R_{mp}^{обр}} + \frac{t_k}{(1 + \beta) \cdot R_{к-зр}}}{\frac{1}{R_{mp}^{np}} + \frac{1}{R_{mp}^{обр}} + \frac{1}{(1 + \beta) \cdot R_{к-зр}}} \quad (7)$$

де $R_{к-зр}$ - термічний опір каналу і ґрунту, Вт/(м. К):

$$R_{к-зр} = R_{н.к} + R_{зр} \quad (8)$$

$R_{н.к}$ - термічний опір внутрішньої поверхні каналу;

$$R_{н.к} = \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{экв}} \cdot \alpha_{н.н}} \quad (9)$$

$d_{\text{экв}}$ - еквівалентний діаметр каналу:

$$d_{\text{экв}} = \frac{P}{\pi} \quad (10)$$

P - периметр каналу.

Термічний опір ґрунту визначають за формулою Форхгеймера

$$R_{зр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{зр}} \ln \frac{4 \cdot h}{d_{\text{экв}}} \quad (11)$$

де $\lambda_{зр}$ - коефіцієнт теплопровідності ґрунту; $1 \leq \lambda_{зр} \leq 2$ Вт/(м. К);

h - глибина пролягання осі трубопроводу від поверхні землі

$$h = (0.7 + d_n) \geq 1.2 \text{ м} \quad (12)$$

В результаті теплообміну трубопроводів тепломережі з навколишнім середовищем відбувається зниження температури теплоносія, яке визначають з рівняння теплового балансу, записаного для елементарної ділянки в диференціальній формі:

$$q_l \cdot (1 + \beta) \cdot dl = -G \cdot c \cdot d\tau \quad (13)$$

Використовуючи залежність (2) і розділення змінних, рівняння (13) інтегрують в межах зміни:

$$\int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{\tau - t_k} = - \int_0^l \frac{1 + \beta}{R_{mp} \cdot G \cdot c} \cdot dl \quad (14)$$

$$\ln \frac{\tau_1 - t_k}{\tau_2 - t_k} = \frac{1 + \beta}{R_{mp} \cdot G \cdot c} \cdot l \quad (15)$$

Розв'язання рівняння (15) відносно температури теплоносія в кінці ділянки тепломережі τ_k , °С, приводить до формули

$$\tau_k = t_k + (\tau_n - t_k) \cdot \exp\left(-\frac{1 + \beta}{R_{mp} \cdot G \cdot c} \cdot l\right) \quad (16)$$

де t_k - температура повітря усередині каналу °С;

τ_n - температура теплоносія на початку ділянки °С;

l - довжина ділянки, м;

R_{mp} - термічний опір трубопроводу, м. К/Вт;

G - масова витрата теплоносія, кг/с;

c - теплоємність води, кДж/(кг·К).

Для коротких ділянок мережі температура теплоносія в кінці ділянки τ_k може бути визначена за формулою

$$\tau_k = \tau_n - \frac{q \cdot l \cdot (1 + \beta)}{G \cdot c} \cdot l \quad (17)$$

4. Проведення експерименту

Лабораторну роботу виконують на теплових мережах Орджонікідзевської філії концерну „Міські теплові мережі”.

Допуск до виконання лабораторної роботи проводять після проведення інструктажа по техніці безпеки із записом в спеціальному журналі.

Досліджувана ділянка теплової мережі показаний на рис.4 лабораторної роботи № 2. Контрольні виміри основних параметрів проводяться на тих же постах, що і випробування гідравлічного режиму:

- районній котельній;
- насосній підстанція кварталу I21;
- тепловому пункті по вл. Козачій.

Вимірювання витрат теплоносія і його температури в прямому і зворотному трубопроводах тепломережі проводиться за показаннями контрольно-вимірювальних приладів, розташованих на постах виміру.

Перед проведенням роботи вивчають характеристику системи теплопостачання:

- спосіб прокладки теплових мереж;
- кількість трубопроводів в каналі;
- розміри каналу $a, x b$ (мм);
- глибина заставляння осі трубопроводів від поверхні ґрунту h (м);
- конструкцію ізоляційного матеріал і товщину ізоляції подаючого трубопроводу δ_{np} і зворотного $\delta_{зв}$.

В процесі випробування реєструється температура повітря усередині каналу t_k . Вимірювання і реєстрація значень витрат і температури теплоносія проводиться кожні 10 хв протягом однієї години.

Характеристику системи теплопостачання заносять в табл., додаток А-3, а результати випробувань мережі в журнал, додаток Б-3.

Температуру повітря в каналах і температуру води в тепломережі заміряють ртутними термометрами з ціною поділок 0,1°С.

Теплові випробування теплової мережі проводять для сталого температурного режиму тепломережі і ґрунту навколо теплотраси.

5. Обробка результатів випробувань

На підставі отриманих результатів випробувань визначають достовірність експериментальних даних.

Час запізнювання ΔZ_n надходження контрольної порції теп-юносія з першого поста до подальших визначають за формулою, с:

$$\Delta Z_n = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{l}{w}\right)_i \quad (18)$$

де n - номер поста виміру;

l - довжина ділянки, м;

w - швидкість води, м/с.

Швидкість води в трубопроводі визначають з рівняння суцільності потоку

$$V = f \cdot w \quad (19)$$

де V - об'ємна витрата теплоносія, м³/с

$$V = \frac{G}{\rho} \quad (20)$$

G - масова витрата теплоносія, кг/с;

ρ - щільність води, кг/м³;

f - живий перетин трубопроводу для проходу води.

Експериментальні дані за період $Z < \Delta Z_m$ одержані на посту n від початку випробувань, являються недостовірними і з подальшої обробки повинні бути виключені.

Для вибірки експериментальних даних, що залишилася, проводять їх обробку з визначенням падіння температури води в трубопроводі на ділянках мережі, які порівнюють з результатами розрахунку.

За експериментальними даними визначають лінійну щільність теплового потоку на ділянці тепломережі в прямому трубопроводі

$$q_l = \frac{\Delta \tau}{l} \cdot G \cdot c \quad (21)$$

де $\Delta \tau$ - падіння температури теплоносія на ділянці, °С:

$$\Delta \tau = \tau_H - \tau_K \quad (22)$$

τ_H, τ_K - температура теплоносія відповідно на початку і кінці ділянки °С;

G - масова витрата теплоносія, кг/с;

c - ізобарна теплоємність води, кДж/(кг*К).

Втрата теплоті $Q_{\text{тп}}$ подаючим трубопроводом тепломережі на ділянці, кДж/с

$$Q_{\text{тп}} = q_L \cdot (1 + \beta) \cdot l \cdot 10^{-3} \quad (23)$$

де β - коефіцієнт місцевих втрат теплоти; приймається $\beta = 1,25$;

l - довжина ділянки, м.

Сумарна втрата теплоти $\sum Q_{mn}$ подаючим трубопроводом на всій довжині магістралі, кДж/с:

$$\sum Q_{mn} = \sum_{i=1}^n [q_l(1 + \beta) \cdot l] \cdot 10^{-3} \quad (24)$$

де n - кількість ділянок магістралі.

Одержана за експериментальними даними лінійна щільність теплового потоку порівнюється з розрахунковою величиною і нормативною щільністю (див. додаток).

За результатами порівняння робиться висновок про ефективність роботи ізоляційної конструкції і якісному стані ізоляції. Теплові випробування в системах теплопостачання проводяться періодично у міру зміни теплотехнічних показників ізоляційної конструкції в процесі її експлуатації. Результати проведених випробувань оформлюються у вигляді підсумкової таблиці, додаток В-3.

6. Звіт

Звіт повинен містити відповіді на наступні питання:

- мета роботи і методи її розв'язання;
- короткий опис району теплопостачання;
- характеристику споживачів теплової енергії;
- розрахункову схему теплової мережі;
- відомість випробування і результати обробки даних;
- аналіз отриманих результатів і висновки.

Контрольні питання

1. Мета теплових випробувань теплових мереж.
2. Мета теплового розрахунку теплових мереж.
3. З чого складається термічний опір трубопроводу.
4. Лінійна щільність теплового потоку, її визначення.
5. Визначення температури повітря усередині каналу.
6. Розрахунок втрат теплоти неізольованими поверхнями трубопроводів.
7. Визначення вартості втраченої теплоти трубопроводом за рік.
8. Визначення капіталовкладення в ізоляцію і щорічні відрахування від них.
10. Пояснити методику визначення економічної товщини ізоляції варіантним способом розрахунку.

Список літератури

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. - М.: Энергия, 1975. – 376 с .с ил.
3. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. – М.: Энергия, 1968, - 240 с.с ил.

Характеристика системи тепlopостачання

См отд. файл

№ п/п	Величина	Позначення	Одиниця	Ділянки мережі		
				1-2	2-3	3-4

См. Отд. файл

Журнал реєстрації показань приладів

Місце виміру (No поста)	Час	Подаючий трубопровід			Зворотний трубопровід		
		$\tau_{np, oC}$	$G_{np},$ $m/год$	t_k, oC	$\tau_{обр, oC}$	$G_{обр},$ $m/год$	t_k, oC

Додаток В-3

Журеал обробки

См. Отд. файл

Норми втрат теплоти ізольованими трубопроводами водяних теплових мереж підземної прокладки при розрахунковій температурі теплоносія 150°C

Зовнішній діаметр труб, мм $q_{лнр}$

$$\frac{q_{лнр}}{\sum q_i} \text{ Вт/м}$$

Наружний діаметр труби, мм	Линейная плотность теплового потока подающего трубопровода, $q_i^{nod}, \text{Вт/м}$	Суммарная плотность теплового потока подающего и обратного трубопровода, $\sum q_i, \text{Вт/м}$	Наружний діаметр труби, мм	Линейная плотность теплового потока подающего трубопровода, $q_i^{nod}, \text{Вт/м}$	Суммарная плотность теплового потока подающего и обратного трубопровода, $\sum q_i, \text{Вт/м}$
219	92	151	478	154	259
273	105	174	529	165	283
325	116	195	630	189	322
377	124	213	720	190	356
426	141	236	820	233	397