

# *Методичні вказівки*

ДОНЕЦЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

**Методичні вказівки  
до виконання  
лабораторних робіт  
до курсів:  
«Джерела теплопостачання»  
та  
«Теплові мережі»**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Промислова теплоенергетика»

**Методичні вказівки**  
до виконання лабораторних робіт до курсів:  
«Джерела теплопостачання» та «Теплові мережі»

для студентів спеціальностей

7.090510 – „Теплоенергетика”

7.090521 – „Теплові електричні станції”

7.000008 – „Енергетичний менеджмент”

Розглянуто  
на засіданні кафедри  
«Промислова теплоенергетика»  
протокол № \_\_\_\_ від «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 р.

Затверджено  
на засіданні учбово-видавничої ради ДонНТУ  
протокол № \_\_\_\_ від «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 р.

Донецьк, ДонНТУ, 2009

УДК 620.9

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт до курсів: «Джерела тепlopостачання» та «Теплові мережі» для студентів спеціальностей 7.090510 – „Теплоенергетика”, 7.090521 – „Теплові електричні станції”, 7.000008 – „Енергетичний менеджмент”, денної й заочної форм навчання. / Упоряд.: О.К. Сафонова, А.Л. Попов, Д.Л. Безбородов, В.Ю. Єрмакова, Ю.О. Боев. Комп'ютерне верстання: І.С. Марасін, Д.Ю. Гажев - Донецьк: ДонНТУ, 2009, - 22 стор.

Викладено основні розрахункові формули для визначення теплових втрат, проведення випробувань водяних теплових мереж та обладнання індивідуального теплового пункту. Наведено необхідні довідкові дані, рисунки та графіки для визначення теплових втрат водяних теплових мереж.

Укладачі: О.К. Сафонова, к.т.н., доц.  
А.Л. Попов, к.т.н., доц.  
Д.Л. Безбородов, ас.  
В.Ю. Єрмакова, ас.  
Ю.О. Боев, ас.

Рецензент:

О.Є. Сахно

Відповідальний за випуск:

С.М. Саф'янц

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Комплекс лабораторних робіт складається з 3 частин:

- визначення теплотехнічних характеристик будівлі з метою побудови температурного графіку роботи джерела тепlopостачання;
- визначення температурних втрат в тепловій мережі від джерела тепlopостачання до будівлі;
- визначення ефективності роботи основних елементів індивідуального теплового пункту: елеваторний вузол та бойлер системи гарячого водопостачання) (Даний розділ виконується за окремими методичними вказівками).

Загальний об'єм лабораторної роботи визначається викладачем у залежності від загального об'єму курсу.

Лабораторні роботи виконуються під час опалювального періоду, тобто з 15 жовтня по 15 квітня.

В залежності від кількості студентів у групі вони поділяються на дві або більше підгруп.

### 1 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ

Визначення теплотехнічних характеристик будівлі виконується з метою побудови температурного графіку роботи джерела тепlopостачання.

Перед початком робіт слід визначити наступні вихідні дані:

- зовнішній об'єм приміщення;
- питомий показник споживання теплової енергії;
- розрахункова температура опалення;
- середня температура опалювального періоду;
- температура початку опалювального періоду;
- розрахунковий температурний графік;
- розрахункова температура у приміщенні;
- розрахункова температура в системі опалення;
- визначення схеми приєднання споживача до системи опалення (елеваторна чи безелеваторна);
- коефіцієнт змішування елеватора;
- режим роботи бойлерів гарячого водопостачання.

Порядок розрахунку температурного графіка:

- визначити розрахункове теплове навантаження будівлі:

$$Q_T = q_0 \cdot V \cdot (t_b - t_n),$$

де  $q_0$  - питомий показник споживання теплової енергії;

$V$  – зовнішній об'єм приміщення;

$t_b$  – розрахункова температура у приміщенні;

$t_H$  – розрахункова температура опалення.

- визначити фактичне теплове навантаження будівлі при фактичній температурі;
- відносне теплове навантаження:

$$Q_{o}^{cp} = Q_o / Q_{o}^p = (t_{bp} - t_H) / (t_{bp} - t_{Ho}).$$

- розрахункова температура води у подавальному трубопроводі системи опалення:

$$\tau'_{o3} = (\tau'_{o1} + u \cdot \tau'_{o2}) / (1 + u),$$

де  $\tau'_{o1}$  – розрахункова температура в подавальному трубопроводі,

$\tau'_{o2}$  – розрахункова температура у зворотному трубопроводі,

$\tau'_{o3}$  – розрахункова температура у подавальному трубопроводі системи опалення,

$u$  – коефіцієнт змішування елеватора.

- температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах:

$$\tau_{o1} = t_{bp} + \Delta t' \cdot (Q_{o}^{cp})^{0,8} + (\delta \tau'_{o} - 0,5 \cdot \Theta') \cdot Q_{o}^{cp}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{o2} = t_{bp} + \Delta t' \cdot (Q_{o}^{cp})^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta' \cdot Q_{o}^{cp}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{o3} = t_{bp} + \Delta t' \cdot (Q_{o}^{cp})^{0,8} + 0,5 \cdot \Theta' \cdot Q_{o}^{cp}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

де  $\Theta' = \tau'_{o3} - \tau'_{o2}$ ,

$\delta \tau'_{o} = \tau'_{o1} - \tau'_{o2}$ ,

$\Delta t' = 0,5 \cdot (\tau'_{o3} + \tau'_{o2}) - t_{bp}$ .

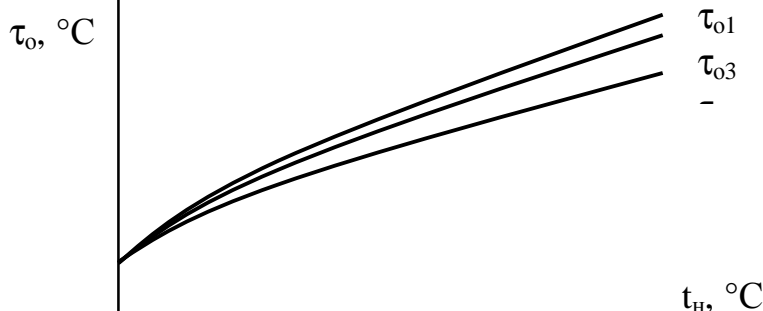
- визначаємо температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах при різних режимах та зводимо їх у таблицю 1:

Таблиця 1 - Температури теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах при різних режимах

$Q_{o}^{cp}$	$t_H$	$\tau_{o1}$	$\tau_{o2}$	$\tau_{o3}$
0				
0,2				
0,4				
0,6				
0,8				
1,0				

- будуємо температурний графік на основі отриманих даних.

Приклад:



## 2 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ ВТРАТ В ТЕПЛОВІЙ МЕРЕЖІ

Безпосереднім завданням випробувань водяних теплових мереж є визначення фактичних теплових втрат через теплову ізоляцію прийнятих для випробувань ділянок теплових мереж за обраним режимом і зіставлення їх з нормативними значеннями теплових втрат для тих самих ділянок теплової мережі.

Проведення випробувань водяної мережі передбачає:

- аналіз матеріалів по тепловій мережі;
- вибір ділянок мережі, що підлягають випробуванням;
- розрахунок параметрів випробувань;
- підготовку мережі і устаткування до випробувань;
- підготовку вимірювальної апаратури;
- проведення теплових випробувань;
- обробку даних, отриманих при випробуваннях;
- порівняння отриманих під час випробувань значень теплових втрат з нормативними значеннями.

### 2.1 Аналіз матеріалів по тепловій мережі

При підготовці до випробувань повинен бути проведений аналіз схеми теплової мережі, температурних режимів її роботи, типів прокладання і конструкцій теплової ізоляції, термінів служби трубопроводів, характерних випадків і причин пошкодженості схеми, режимів роботи і складу устаткування водопідігрівальної установки, а також даних про технічний стан теплової ізоляції і конструкцій прокладань в цілому.

За результатами збору і аналізу матеріалів складається таблиця (таблиця 2), в яку включається характеристика теплової мережі по окремих ділянках з вказівкою зовнішнього діаметру і довжини труб, конструкцій теплової ізоляції, типів прокладання (підземне безканальне і в каналах, надземне), а також термінів служби (роки введення в експлуатацію). У таблицю включаються всі ділянки теплових мереж.

Таблиця 2 - Матеріальна характеристика водяних теплових мереж

Ділянка мережі	Тип прокладання, конструкція теплової ізоляції	Рік введення в експлуатацію	Зовнішній діаметр $d_n$ , м	Довжина ділянки L, м	Матеріальна характеристика M, м <sup>2</sup>	Доля матеріальної характеристики за типом прокладання або конструкції і ізоляції

Для перерахунку отриманих при випробуваннях результатів на різні експлуатаційні режими роботи мережі і для визначення температурних параметрів випробувань повинні бути зібрані наступні кліматологічні дані для того населеного пункту, в якому розташована випробовувана мережа:

- середньорічні та середньомісячні температури ґрунту на середній глибині прокладання осі трубопроводів (для підземного прокладання);
- середньорічні та середньомісячні температури зовнішнього повітря (для надземного прокладання).

Ці дані слід приймати як багаторічні за матеріалами найближчої до даного населеного пункту метеостанції або по довідникам з кліматології.

## 2.2 Вибір ділянок мережі для випробувань

Випробуванням повинні підлягати ділянки теплової мережі, тип прокладення конструкції теплової ізоляції які є характерними для даної мережі або за призначенням викладача.

Характерними вважаються ділянки теплових мереж, частка яких, визначується по формулі 2.1, в матеріальній характеристиці всієї мережі складає не менше 20%:

$$\varphi = \frac{M_x}{M_c} = \frac{\sum_x (d_n L)}{\sum_c (d_n L)} > 0,2, \quad (2.1)$$

де  $M_x = \sum_x (d_n L)$  - матеріальна характеристика для подавального або зворотного трубопроводу мережі, підсумована для всіх ділянок з даним типом прокладання і конструкцією ізоляції,  $m^2$ ;

$M_c = \sum_c (d_n L)$  - матеріальна характеристика для подавального або зворотного трубопроводу, підсумована по всій мережі в цілому,  $m^2$ ;

$d_n$  - зовнішній діаметр труб в межах однієї ділянки мережі (по подавальній або зворотній лінії при рівних діаметрах труб), м;

$L$  - довжина ділянки мережі, м.

Випробування за визначенням теплових втрат двотрубної водяної теплової мережі необхідно проводити на циркуляційному кільці, що складається з подавальної і зворотної ліній з перемичкою між ними на кінцевій ділянці кільця.

Початкова ділянка циркуляційного кільця складається з обладнання і трубопроводів теплопідготовчої установки (рисунок 2.1).

Циркуляційне кільце складається з ряду послідовно з'єднаних ділянок, що розрізняються, як правило, типом прокладання і конструкцією ізоляції, а також діаметром трубопроводів. Рекомендується проводити випробування на циркуляційному кільці, яке включає основну магістраль теплової мережі, що складається з труб найбільшого діаметру і максимальної протяжності від джерела тепла. У кінцеву ділянку циркуляційного кільця можуть бути

включені ділянки розподільної (квартальної) мережі. Всі відгалуження і окремі абоненти, приєднані до циркуляційного кільця, на час випробувань від'єднуються від нього.

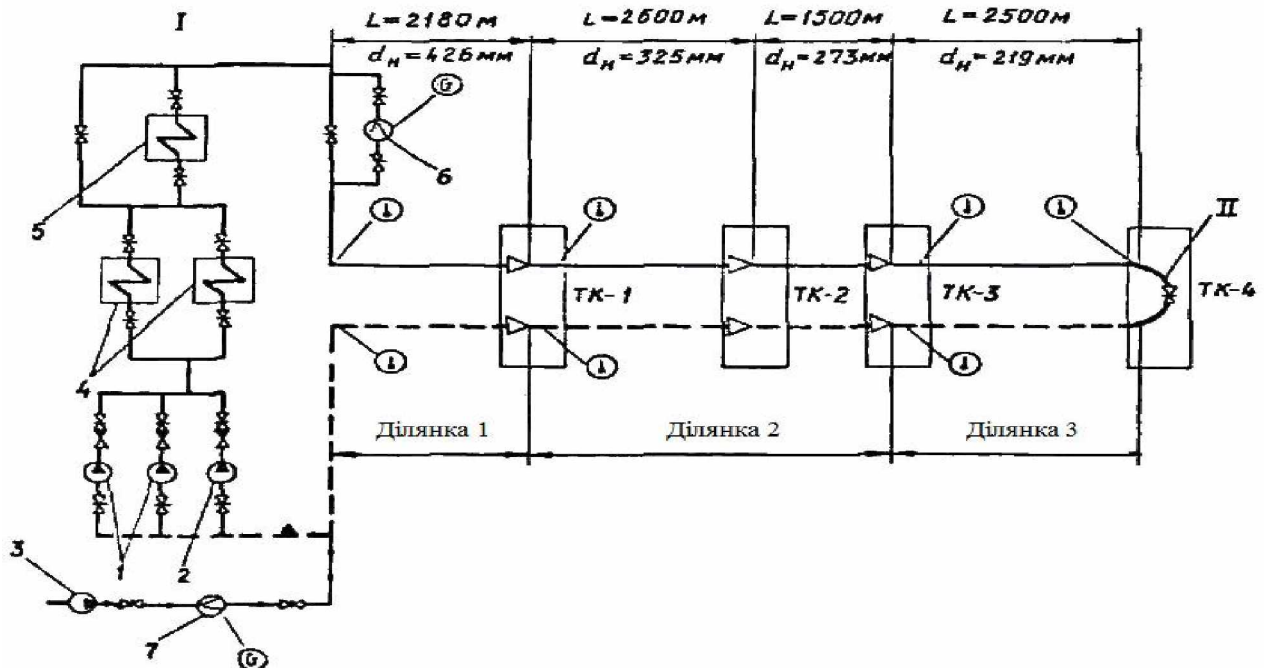


Рисунок 2.1 – Схема випробовуваного циркуляційного кільця

I - теплопідготовча установка; II - циркуляційна перемичка; 1 - мережні насоси; 2 - легкий насос малої подачі; 3 - підживлювальний насос; 4 - основні підігрівачі мережної води; 5 - піковий підігрівач мережної води або водогрійний котел; 6 - вимірювальна діафрагма на подавальному трубопроводі; 7 - вимірювальна діафрагма на живильній лінії; ТК - тепла камера;

————— - подавальний трубопровід;

— — — — — - зворотний трубопровід;

— · — · — · — - живильна лінія;

↓ — точка вимірювання температури;

⊙ — вимірювальний прилад.

Пониження температури води при цьому під час її проходження по циркуляційному кільцю обумовлено тепловими втратами трубопроводів і арматури в довкілля, які можуть бути визначені виходячи з вимірян під час випробувань витрати води і зниження температури.

### 2.3 Визначення параметрів випробувань

Основними параметрами випробувань є значення температури води в подавальній лінії мережі на виході з теплопідготовчої установки і витрати води на початковій ділянці випробовуваного циркуляційного кільця. Крім того, визначаються очікувані в процесі випробувань значення температури



води в зворотній лінії на вході в теплопідготовчу установку і витрати живильної води, а також орієнтовна тривалість випробувань.

2.4.2 Температурний режим циркуляційного кільця під час випробувань задається виходячи з таких умов:

- різниця між середньою температурою води по всіх ділянках кільця і температурою доквілля під час випробувань приймається рівною середньорічному значенню різниці середньої по подавальному і зворотному трубопроводу температури води і температури доквілля по даній мережі;

- пониження температури води в циркуляційному кільці за рахунок його теплових втрат при випробуваннях повинне складати не менше 8 і не більш 20°C.

За наявності на випробовуваному кільці ділянок із різними типами прокладання і конструкціями ізоляції пониження температури води в кільці визначається відповідно до формули:

$$\Delta t_{\text{и}} = \frac{\Delta t_{\text{мин}}}{\left( \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{к.п}} + M_{\text{к.о}}} \right)_{\text{и}}}, \quad (2.2)$$

де  $\Delta t_{\text{мин}}$  - мінімально допустиме пониження температури води в подавальній або зворотній лінії на ділянці з найменшою матеріальною характеристикою  $M_{\text{мин}}$ , що приймається рівним 2°C з умов забезпечення необхідної точності вимірювань температури;

$\left( \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{к.п}} + M_{\text{к.о}}} \right)_{\text{и}}$  - відношення найменшої матеріальної характеристики для подавального або зворотного трубопроводу ділянки випробовуваного кільця  $M_{\text{мин}}$  до сумарної матеріальної характеристики подавального  $M_{\text{к.п}}$  і зворотного  $M_{\text{к.о}}$  трубопроводів для всього кільця в цілому.

При значенні відношення  $< 0,1$  теплові втрати на відповідних ділянках випробовуваного кільця, як правило, окремо не вимірюються.

Температури води в подавальному і зворотному трубопроводах випробовуваного кільця на виході із теплопідготовчої установки і на вході в неї визначаються за формулами:

$$t_{\text{п.и}} = \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.г}} + t_{\text{о}}^{\text{ср.г}}}{2} + \frac{\Delta t_{\text{и}}}{2} + t_{\text{окр.и}} - t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}}; \quad (2.3)$$

$$t_{\text{о.и}} = t_{\text{п.и}} - \Delta t_{\text{и}} = \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.г}} + t_{\text{о}}^{\text{ср.г}}}{2} - \frac{\Delta t_{\text{и}}}{2} + t_{\text{окр.и}} - t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}}. \quad (2.4)$$

де  $t_{\text{п}}^{\text{ср.г}}$  і  $t_{\text{о}}^{\text{ср.г}}$  - середньорічні температури води в подавальному і зворотному трубопроводах випробовуваної мережі °C; підраховуються як середньоарифметичні з

середньомісячних температур мережевої води, визначених по затвердженому експлуатаційному температурному графіку при середньомісячних температурах зовнішнього повітря;

$t_{\text{окр.и}}$  - очікувана усереднена по всіх ділянках кільця температура навколишнього середовища під час випробувань °С;

$t_{\text{окр.}}^{\text{ср.г}}$  - усереднена по тих же ділянках середньорічна температура навколишнього середовища °С.

За наявності в межах випробовуваного кільця ділянок як із підземним, так і із надземним прокладанням теплової мережі усереднені температури довкілля підраховуються відповідно до формул:

$$t_{\text{окр.и}} = \frac{t_{\text{гр.и}}^{\text{ср.м}} \cdot M_{\text{подз}} + t_{\text{в.и}}^{\text{ср.м}} \cdot M_{\text{надз}}}{M_{\text{к}}}; \quad (2.5)$$

$$t_{\text{окр.}}^{\text{ср.г}} = \frac{t_{\text{гр}}^{\text{ср.г}} \cdot M_{\text{подз}} + t_{\text{в}}^{\text{ср.г}} \cdot M_{\text{надз}}}{M_{\text{к}}}; \quad (2.6)$$

де  $t_{\text{гр.и}}^{\text{ср.м}}$  і  $t_{\text{в.и}}^{\text{ср.м}}$  - відповідно середні за місяць проведення випробувань температури ґрунту на середньому рівні осі теплопроводів і зовнішнього повітря, °С;

$t_{\text{гр}}^{\text{ср.г}}$  і  $t_{\text{в}}^{\text{ср.г}}$  - відповідно середньорічні температури ґрунту і зовнішнього повітря, °С;

$M_{\text{подз}}$  і  $M_{\text{надз}}$  - матеріальні характеристики для подавальної або зворотної лінії по всіх ділянках відповідно підземного і надземного прокладання, розташованих в межах випробовуваного циркуляційного кільця, м<sup>2</sup>;

$M_{\text{к}}$  - сумарна матеріальна характеристика для подавальної або зворотної лінії по всіх ділянках випробовуваного кільця, м<sup>2</sup>.

Розрахункова витрата води у випробовуваному кільці визначається виходячи з орієнтовного значення теплових втрат цього кільця при режимі випробувань, підраховуваного по формулі, Вт або ккал/год:

$$Q_{\text{и}} = \sum_{\text{подз}} [q_{\text{н.и}} \cdot \beta \cdot L] + \sum_{\text{надз}} [(q_{\text{н.п.и}} + q_{\text{н.о.и}}) \cdot \beta \cdot L], \quad (2.7)$$

де  $\beta$  - коефіцієнт місцевих втрат, що враховує теплові втрати арматури, опор і компенсаторів; приймається згідно СНиП 2.04.14-88 "Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов" для безканального прокладання рівним 1,15, для канального і надземного залежно від діаметру умовного проходу трубопроводів: до 150 мм - 1,2, 150 мм і більш - 1,15;

$q_{\text{н.и}}$  - значення питомих теплових втрат даної теплової мережі сумарне для подавального і зворотного трубопроводів кожного діаметру підземного (канального і безканального) прокладання при температурному режимі випробувань, Вт/м або ккал/(м·ч);

$q_{н.п.и}$  і  $q_{н.о.и}$  - значення питомих теплових втрат даної теплової мережі відповідно по подавальній і зворотній лініях для кожного діаметру труб надземного прокладання при температурному режимі випробувань, Вт/м або ккал/(м·ч).

Значення питомих теплових втрат для підземного і надземного прокладання визначаються, виходячи з норм теплових втрат при температурному режимі і циркуляційному кільці під час випробувань за формулами, Вт/м або ккал/(м·год):

$$q_{н.и} = q_n \frac{t_{н.и}^{ср} + t_{о.и}^{ср} - 2t_{гр.и}^{ср.м}}{t_{п}^{ср.г} + t_{о}^{ср.г} - 2t_{гр}^{ср.г}}; \quad (2.8)$$

$$q_{н.п.и} = q_{н.п} \frac{t_{н.и}^{ср} - t_{в.и}^{ср.м}}{t_{п}^{ср.г} - t_{в}^{ср.г}}; \quad (2.9)$$

$$q_{н.о.и} = q_{н.о} \frac{t_{о.и}^{ср} - t_{в.и}^{ср.м}}{t_{о}^{ср.г} - t_{в}^{ср.г}}, \quad (2.10)$$

де значення,  $q_n$ ,  $q_{н.и}$ , та  $q_{н.о}$  приймаються за "Нормами проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования электрических станций и тепловых сетей" (М.: Госэнергоиздат, 1959) при випробуваннях ділянок теплових мереж, теплова ізоляція яких виконана відповідно до даних Норм, або по нормах щільності теплового потоку для теплових мереж із тепловою ізоляцією, виконаною по нормах СНиП 2.04.14-88 (додаток 2), при середньорічних температурах мережної води і довкілля.

Значення питомих теплових втрат при температурах, що відрізняються від нормативних, визначаються шляхом лінійної інтерполяції (або екстраполяції).

Середні температури води при режимі випробувань відповідно в подавальному і зворотному трубопроводах випробовуваного кільця визначаються за формулами °С:

$$t_{п.и}^{ср} = t_{п.и} - \frac{\Delta t_{и}}{4} = \frac{t_{п}^{ср.г} + t_{о}^{ср.г}}{2} + \frac{\Delta t_{и}}{4} + t_{окр.и} - t_{окр}^{ср.г}; \quad (2.11)$$

$$t_{о.и}^{ср} = t_{о.и} - \frac{\Delta t_{и}}{4} = \frac{t_{п}^{ср.г} + t_{о}^{ср.г}}{2} + \frac{\Delta t_{и}}{4} + t_{окр.и} - t_{окр}^{ср.г}. \quad (2.12)$$

Розрахункова витрата води в циркуляційному кільці під час випробувань визначається за формулою, кг/с або т/год:

$$G_{и} = \frac{Q_{и}}{c \cdot \Delta t_{и}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.13)$$

де  $c$  - питома теплоємність мережної води, приймається рівною  $4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг·°С) або 1 ккал/(кг·°С).

Очікувана тривалість пробігу часток води по випробовуваному циркуляційному кільцю визначається за формулами, ч:

$$\text{при } G_{\text{и}} \text{ в кг/с} \quad \tau_{\text{к}} = \frac{V \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{3,6 \cdot G_{\text{и}}}; \quad (2.14)$$

$$\text{при } G_{\text{и}} \text{ в т/год} \quad \tau_{\text{к}} = \frac{V \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{G_{\text{и}}}, \quad (2.15)$$

де  $V$  - сумарний об'єм труб випробовуваного циркуляційного кільця в межах від виходу до входу їх в теплопідготовчу установку,  $\text{м}^3$ ;  
 $\rho$  - щільність води у випробовуваному кільці при середній температурі води  $\frac{t_{\text{п.и}} + t_{\text{о.и}}}{2}$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

#### 2.4 Підготовка мережі та обладнання до випробувань

У якості обладнання, яке підігріває воду, при випробуваннях повинні використовуватися теплообмінники, що забезпечують теплову потужність, відповідну розрахунковим втратам теплової енергії в циркуляційному кільці, а також можливість підтримки заданої розрахункової температури на виході із джерела при відносно невеликій витраті води при випробуваннях.

Для перепускання води із подавальної лінії в зворотну можуть бути використані також елеваторні перемички введень, розташованих за кінцевою ділянкою випробовуваного кільця. Сопла елеваторів при цьому мають бути видалені.

#### 2.5 Підготовка вимірювальної апаратури

При теплових випробуваннях мережі підлягають виміру: витрата води, циркулюючої по випробовуваному кільцю, витрата живильної води і температура води в точках спостереження.

Крім того повинен контролюватися тиск в зворотній лінії випробовуваного кільця на вході її в теплопідготовчу установку.

Витрати мережної та живильної води, як правило, вимірюються за допомогою витратоміра (портативного чи стаціонарного).

Температура води у випробовуваному циркуляційному кільці повинна вимірюватися окремо по подавальній та зворотній лініях і точках, розташованих на межах ділянок. У кінцевій точці випробовуваного кільця в місці установки циркуляційної перемички встановлюється один термометр.

Термометр на зворотному трубопроводі в теплопідготувальній установці розміщується до точки врізання живильного трубопроводу по ходу води.

Температура води, а також температура зовнішнього повітря під час випробувань вимірюється лабораторними термометрами із ціною ділення  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

## 2.6 Складання технічної і робочої програм випробувань

Перед проведенням випробувань складаються технічна і робоча програми випробувань.

Технічна програма випробувань повинна містити:

- найменування об'єкту, мета випробувань і їх обсяг;
- перелік підготовчих робіт і терміни їх проведення;
- умови проведення випробувань;
- етапи проведення випробувань, їх послідовність і очікувана тривалість кожного етапу і випробувань в цілому;
- режим роботи обладнання джерела тепла, випробовуваних ділянок і пов'язаних з ними теплових мереж на кожному етапі, розрахункові параметри, їх допустимі відхилення і граничні значення параметрів;
- режим роботи обладнання джерела тепла і теплової мережі після закінчення випробувань;
- вимоги техніки безпеки при проведенні випробувань;
- перелік осіб, відповідальних за підготовку і проведення випробувань;
- перелік осіб, що погоджують технічну програму.

Робоча програма випробувань повинна містити:

- перелік робіт, що виконуються безпосередньо перед випробуваннями (підготовка обладнання, збірка схеми на джерелі тепла і по мережі, установка засобів вимірів, підготовка системи зв'язку і сигналізації і ін.), дані про вихідний стан обладнання;
- перелік заходів щодо підготовки спостерігачів, включаючи проведення інструктажу по веденню вимірів і діям при відхиленнях від режиму і несправностях засобів вимірів; проведення інструктажу з техніки безпеки при випробуваннях;
- перелік і послідовність технологічних операцій по підготовці і проведенню режимів випробувань;
- графік проведення випробувань (час початку і закінчення кожного етапу і випробувань в цілому);
- вказівки про можливе корегування графіка випробувань (перерв, повторення режимів, припинення випробувань і ін.) по проміжних результатах випробувань;
- вказівки про режим роботи устаткування після завершення випробувань;
- вимоги техніки безпеки при проведенні випробувань;
- перелік осіб, відповідальних за забезпечення і проведення випробувань; необхідні схеми, креслення, графіки.

## 2.7 Проведення теплових випробувань

Здійснення розроблених гідравлічних і температурних режимів випробувань виробляється в наступному порядку:

- вмикаються витратоміри на лініях мережній і живильної води і встановлюються термометри на циркуляційній перемичці кінцевої ділянки кільця, на виході трубопроводів із теплопідготовчої установки і на вході в неї;
- встановлюється визначена розрахунком витрата води по циркуляційному кільцю, який підтримується постійним протягом всього періоду випробувань;
- встановлюється тиск в зворотній лінії випробовуваного кільця на вході її в теплопідготовчу установку;
- встановлюється температура води в подавальній лінії випробовуваного кільця на виході із теплопідготовчої установки.

Визначення теплових втрат при підземному прокладанні мереж виробляється при сталому тепловому стані, що досягається шляхом стабілізації температурного поля в ґрунті, що оточує теплопроводи, при заданому режимі випробувань.

Починаючи із моменту досягнення сталого теплового стану у всіх намічених точках спостереження встановлюються термометри і вимірюється температура води. Запис показань термометрів і витратомірів ведеться одночасно з інтервалом 1-10 хв.

На завершальному етапі випробувань методом "температурної хвилі" уточнюються температури води по циркуляційному кільцю. На цьому етапі температура води в подавальній лінії за 20-40 хв підвищується на 10-20°C в порівнянні із значенням і підтримується постійною на цьому рівні протягом 1 год. Потім із тією ж швидкістю температура води знижується до значення, яке і підтримується до кінця випробувань.

## 2.8 Обробка результатів випробувань

В результаті випробувань визначаються теплові втрати для кожної з ділянок випробовуваного кільця окремо по подавальній і зворотній лініях.

Для виявлення періоду, протягом якого температурний режим випробувань був найбільш близький до сталого, необхідно побудувати по всіх точках вимірів графік зміни температури.

По кожному наглядовому пункту мають бути усереднені значення температури води, отримані при 20-30 послідовних вимірах в той період, коли режим випробувань був найбільш близький до сталого. За цей же період усереднюються значення витрат мережної та живильної води.

Усереднюванні значення температури мають бути зміщені за часом на фактичну тривалість пробігу води між точками виміру, визначену методом "температурної хвилі".

Теплові втрати по подавальному і зворотному трубопроводах для кожної з ділянок випробовуваного кільця визначаються за формулами, Вт або ккал/год:

$$Q_{п.и} = c(G_c - \frac{G_{п}}{4})(t_{п}^H - t_{п}^K) \cdot 10^3; \quad (2.16)$$

$$Q_{о.и} = c(G_c - \frac{3G_{п}}{4})(t_{о}^H - t_{о}^K) \cdot 10^3, \quad (2.17)$$

де  $G_c$  - усереднена витрата мережної води в подавальній лінії на виході із теплопідготувальної установки, кг/с (т/год);  
 $G_{п}$  - усереднена витрата живильної води, кг/с (т/год);  
 $t_{п}^H$  і  $t_{п}^K$  - усереднені температури води на початку і в кінці подавального трубопроводу на ділянці °С;  
 $t_{о}^H$  і  $t_{о}^K$  - усереднені температури води на початку і в кінці зворотного трубопроводу на ділянці °С.

Отримані за результатами випробувань фактичні теплові втрати, перераховані на середньорічні температурні умови роботи теплової мережі, використовуються як основа для подальшого нормування теплових втрат тепловими мережами енергозабезпечуючої організації на п'ятирічний період, а також для оцінки зміни теплотехнічних властивостей теплоізоляційних конструкцій і технічного стану теплових мереж в цілому.

Оцінка фактичних теплових втрат для середньорічних умов виконується шляхом їх зіставлення із відповідними значеннями теплових втрат, визначених по Нормам, приведених в додатку 2.

Перерахунок фактичних теплових втрат для всіх випробуваних ділянок теплової мережі на середньорічні умови її роботи виконується за формулами, Вт або ккал/год:

- для ділянок підземного прокладання, сумарно по подавальному і зворотному трубопроводах

$$Q_{н.и}^{ср.г} = \frac{Q_{п.и}(t_{п}^{ср.г} - t_{гр}^{ср.г}) + Q_{о.и}(t_{о}^{ср.г} - t_{гр}^{ср.г})}{\frac{1}{4}(t_{п}^H + t_{п}^K + t_{о}^H + t_{о}^K) - t_{гр.и}};$$

- для ділянок надземного прокладання окремо по подавальному і зворотному трубопроводах

$$Q_{н.п.и}^{ср.г} = \frac{Q_{п.и}(t_{п}^{ср.г} - t_{в}^{ср.г})}{\frac{1}{2}(t_{п}^H + t_{п}^K) - t_{в.и}}; \quad Q_{о.п.и}^{ср.г} = \frac{Q_{о.и}(t_{о}^{ср.г} - t_{в}^{ср.г})}{\frac{1}{2}(t_{о}^H + t_{о}^K) - t_{в.и}},$$

де  $t_{гр.и}$  і  $t_{в.и}$  - температура ґрунту і довколишнього повітря, середня за час випробування °С.

При неможливості розрахунку теплових втрат по різниці температур на початку та в кінці трубопроводу, розрахунки слід вести згідно до формули визначення питомих теплових втрат, Вт/м:

$$q = (\tau_T - t_o) / R_{то},$$

де  $\tau_t$  - температура теплоносія, °С;

$t_o$  - температура зовнішньої середи, °С;

$R_{t0}$  - сумарний термічний опір в інтервалі температур від  $\tau_t$  до  $t_o$ , м·°С/Вт;

Значення середньорічних теплових втрат за нормами для випробуваних ділянок даної теплової мережі визначаються за формулами, Вт або ккал/год:

- для ділянок підземного прокладання  $Q_n^{ср.г} = \sum \beta q_n L$ ;

- для ділянок надземного прокладання  $Q_{н.п}^{ср.г} = \sum \beta q_{н.п} L$ ;  $Q_{н.о}^{ср.г} = \sum \beta q_{н.о} L$ ,

де значення  $q_n$ ,  $q_{н.п}$ ,  $q_{н.о}$  і  $\beta$  визначаються згідно даних методичних вказівок.

Співвідношення фактичних і визначених за нормами теплових втрат визначаються за формулами:

- для ділянок підземного прокладання  $K = \frac{Q_{н.п}^{ср.г}}{Q_n^{ср.г}}$ ;

- для ділянок надземного прокладання  $K_n = \frac{Q_{н.п.п}^{ср.г}}{Q_{н.п}^{ср.г}}$ ;  $K_o = \frac{Q_{н.о.п}^{ср.г}}{Q_{н.о}^{ср.г}}$ .



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Водяные тепловые сети. Справ. пособие по проектированию/И.В.Балейкина, В.П.Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
- 2 Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. Учебн. Пособие для вузов. – 3-е изд., пере раб. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232.
- 3 Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. – 5-е издание, пере раб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
- 4 Теплоснабжение (курс.проектирование). Учеб. пособие для вузов/В.М.Копко и др.. – Минск: Высш.шк., 1985. – 139 с.
- 5 Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05.-91. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1991.

## ДОДАТОК А

### ФОРМИ ТАБЛИЦЬ ВИХІДНИХ ДАНИХ І РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Таблиця А2 - Матеріальна характеристика випробовуваних ділянок теплової мережі

Ділянка мережі	Тип прокладання, конструкція теплової ізоляції	Зовнішній діаметр $d_n$ , м	Довжина ділянки $L$ , м	Об'єм трубопроводу $V$ , м <sup>3</sup>	Матеріальна характеристика $M$ , м <sup>2</sup>

Таблиця А3 - Середньомісячні і середньорічні температури довкілля і мережної води

Місяць, рік	Температура °С		Температура мережевої води в трубопроводах °С	
	грунту на середній глибині залягання	зовнішнього повітря	подавальний $t_n$	зворотний $t_o$

Таблиця А4 - Розрахунок втрат тепла на випробовуваних ділянках теплової мережі

Ділянка мережі	Тип прокладання, конструкція теплової ізоляції	Витрата мережевої і живильної води, кг/с (т/год)		Температура води на початку і в кінці ділянки, °С		Температура довкілля при випробуваннях, °С	Фактичні теплові втрати $Q_{и}$ , Вт (ккал/год)
		$G_c$	$G_n$	$t_n$	$t_k$		

Таблиця А5 - Результати зіставлення теплових втрат

Ділянка мережі	Тип прокладання, конструкція теплової ізоляції	Фактичні теплові втрати, приведені до середньорічних умов, $Q_{н.и}^{ср.г}$ , Вт (ккал/год)	Визначені за нормами теплові втрати, приведені до середньорічних умов, $Q_n^{ср.г}$ , Вт (ккал/год)	Співвідношення фактичних і визначених за нормами теплових втрат, К

## ДОДАТОК Б

### ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ

1. Норми втрат тепла ізольованими водяними теплопроводами розташованими в непрохідних каналах і при безканальному прокладанні (із розрахунковою середньорічною температурою ґрунту +5°C на глибині залягання теплопроводів)

Зовнішній діаметр труб, мм	Норми втрат тепла, Вт/м <sup>2</sup> [ккал/(м <sup>2</sup> ·год)]			
	зворотного теплопроводу при середній температурі води (t <sub>o</sub> <sup>сп.г</sup> =50 °С)	двотрубному прокладанні при різниці середньорічних температур води і ґрунту 52,5°C (t <sub>н</sub> <sup>сп.г</sup> =65 °С)	двотрубному прокладанні при різниці середньорічних температур води і ґрунту 65°C (t <sub>н</sub> <sup>сп.г</sup> =90 °С)	двотрубному прокладанні при різниці середньорічних температур води і ґрунту 75°C (t <sub>н</sub> <sup>сп.г</sup> =110 °С)
32	23 (20)	52 (45)	60 (52)	67 (58)
57	29 (25)	65 (56)	75 (65)	84 (72)
76	34 (29)	75 (64)	86 (74)	95 (82)
89	36 (31)	80 (69)	93 (80)	102 (88)
108	40 (34)	88 (76)	102 (88)	111 (96)
159	49 (42)	109 (94)	124 (107)	136 (117)
219	59 (51)	131 (113)	151 (130)	165 (142)
273	70 (60)	154 (132)	174 (150)	190 (163)
325	79 (68)	173 (149)	195 (168)	212 (183)
377	88 (76)	191 (164)*	212 (183)	234 (202)
426	95 (82)	209 (180)*	235 (203)	254 (219)
478	106 (91)	230 (198)*	259 (223)	280 (241)
529	117 (101)	251 (216)*	282 (243)	303 (261)
630	133 (114)	286 (246)*	321 (277)	345 (298)
720	145 (125)	316 (272)*	355 (306)	379 (327)
820	164 (141)	354 (304)*	396 (341)	423 (364)
920	180 (155)	387 (333)*	433 (373)	463 (399)
1020	198 (170)	426 (366)*	475 (410)	506 (436)
1220	233 (200)	499 (429)	561 (482)	591 (508)
1420	265 (228)	568 (488)	644 (554)	675 (580)

Примітки: 1. Відмічені знаком "\*" значення питомих теплових втрат приведені як оцінні через відсутність в Нормах відповідних значень питомих теплових втрат для подавального трубопроводу.

2. Питомі теплові втрати для діаметрів 1220 і 1420 мм через їх відсутність в Нормах визначено методом екстраполяції і приведено як значення, що рекомендуються.

3. Норми втрат тепла одним ізольованим водяним теплопроводом при надземному прокладанні із розрахунковою середньорічною температурою зовнішнього повітря +5°C.

Зовнішній Діаметр труб $d_n$ , мм	Норми втрат тепла, Вт/м <sup>2</sup> [ккал / (м <sup>2</sup> ·год)]			
	Різниця середньорічної температури мережевої води в подавальному або зворотному трубопроводах і зовнішнього повітря °С			
	45	70	95	120
32	17 (15)	27 (23)	36 (31)	44 (38)
49	21 (18)	31 (27)	42 (36)	52 (45)
57	24 (21)	35 (30)	46 (40)	57 (49)
76	29 (25)	41 (35)	52 (45)	64 (55)
82	32 (28)	44 (38)	58 (50)	70 (60)
108	36 (31)	50 (43)	64 (55)	78 (67)
133	41 (35)	56 (48)	70 (60)	86 (74)
159	44 (38)	58 (50)	75 (65)	93 (80)
194	49 (42)	67 (58)	85 (73)	102 (88)
219	53 (46)	70 (60)	90 (78)	110 (95)
273	61 (53)	81 (70)	101 (87)	124 (107)
325	70 (60)	93 (80)	116 (100)	139 (120)
377	82 (71)	108 (93)	132 (114)	157 (135)
426	95 (82)	122 (105)	148 (128)	174 (150)
478	103 (89)	131 (113)	158 (136)	186 (160)
529	110 (95)	139 (120)	168 (145)	197 (170)
630	121 (104)	154 (133)	186 (160)	220 (190)
720	133 (115)	168 (145)	204 (176)	239 (206)
820	157 (135)	195 (168)	232 (200)	270 (233)
920	180 (155)	220 (190)	261 (225)	302 (260)
1020	209 (180)	255 (220)	296 (255)	339 (292)
1420	267 (230)	325 (280)	377 (325)	441 (380)

**4 Норми щільності теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів  
двотрубних водяних теплових мереж при прокладанні в непрохідних каналах, Вт/м<sup>2</sup> [ккал / (м<sup>2</sup>·год)]**

Умовний прохід трубопроводу,  мм	При числі годин роботи в рік 5000 і менш						При числі годин роботи в рік більше 5000					
	Трубопровід											
	подавальний	зворотний	подаваль- ний	зворотний	подаваль- ний	зворотний	подаваль- ний	зворотний	подаваль- ний	зворотний	подаваль- ний	зворотний
	Середньорічна температура теплоносія °С											
	65	50	90	50	110	50	65	50	90	50	110	50
25	18 (15)	12 (10)	26 (22)	11 (9)	31 (27)	10 (9)	16 (14)	11 (9)	23 (20)	10 (9)	28 (24)	9 (8)
30	19 (16)	13 (11)	27 (23)	12 (10)	33 (28)	11 (9)	17 (15)	12 (10)	24 (21)	11 (9)	30 (26)	10 (9)
40	21 (18)	14 (12)	29 (25)	13 (11)	36 (31)	12 (10)	18 (15)	13 (11)	26 (22)	12 (10)	32 (28)	11 (9)
50	22 (19)	15 (13)	33 (28)	14 (12)	40 (34)	13 (11)	20 (17)	14 (12)	28 (24)	13 (11)	35 (30)	12 (10)
65	27 (23)	19 (16)	38 (33)	16 (14)	47 (40)	14 (12)	23 (20)	16 (14)	34 (29)	15 (13)	40 (34)	13 (11)
80	29 (25)	20 (17)	41 (35)	17 (15)	51 (44)	15 (13)	25 (22)	17 (15)	36 (31)	16 (14)	44 (38)	14 (12)
100	33 (28)	22 (19)	46 (40)	19 (16)	57 (49)	17 (15)	28 (24)	19 (16)	41 (35)	17 (15)	48 (41)	15 (13)
125	34 (29)	23 (20)	49 (42)	20 (17)	61 (53)	18 (15)	31 (27)	21 (18)	42 (36)	18 (15)	50 (43)	16 (14)
150	38 (33)	26 (22)	54 (46)	22 (19)	65 (56)	19 (16)	32 (28)	22 (19)	44 (38)	19 (16)	55 (47)	17 (15)
200	48 (41)	31 (27)	66 (57)	26 (22)	83 (71)	23 (20)	39 (34)	27 (23)	54 (46)	22 (19)	68 (59)	21 (18)
250	54 (46)	35 (30)	76 (65)	29 (25)	93 (80)	25 (22)	45 (39)	30 (26)	64 (55)	25 (22)	77 (66)	23 (20)
300	62 (53)	40 (34)	87 (75)	32 (28)	103 (89)	28 (24)	50 (43)	33 (28)	70 (60)	28 (24)	84 (72)	25 (22)
350	68 (59)	44 (38)	93 (80)	34 (29)	117(101)	29 (25)	55 (47)	37 (32)	75 (65)	30 (26)	94 (81)	26 (22)
400	76 (65)	47 (40)	109 (94)	37 (32)	123(106)	30 (26)	58 (50)	38 (33)	82 (71)	33 (28)	101(87)	28 (24)
450	77 (66)	49 (42)	112 (96)	39 (34)	135(116)	32 (28)	67 (58)	43 (37)	93 (80)	36 (31)	107(92)	29 (25)
500	88 (76)	54 (46)	125(108)	43 (37)	167(144)	33 (28)	68 (59)	44 (38)	98 (84)	38 (33)	117(101)	32 (28)
600	98 (84)	58 (50)	140(121)	45 (39)	171(147)	35 (30)	79 (68)	50 (43)	109(94)	41 (35)	132(114)	34 (29)
700	107 (92)	63 (54)	163(140)	47 (40)	185(159)	38 (33)	89 (77)	55 (47)	126(108)	43 (37)	151(130)	37 (32)
800	130 (112)	72 (62)	181(156)	48 (41)	213(183)	42 (36)	100 (86)	60 (52)	140(121)	45 (39)	163(140)	40 (34)
910	138 (119)	75 (65)	190(164)	57 (49)	234(201)	44 (38)	106 (91)	66 (57)	151(130)	54 (46)	186(160)	43 (37)
1000	152 (131)	78 (67)	199(171)	59 (51)	249(214)	49 (42)	117(101)	71 (61)	158(136)	57 (49)	192(165)	47 (40)
1200	185 (159)	86 (74)	257(221)	66 (57)	300(258)	54 (46)	144(124)	79 (68)	185(159)	64 (55)	229(197)	52 (45)
1400	204 (176)	90 (77)	284(245)	69 (59)	322(277)	58 (50)	152(131)	82 (71)	210(181)	68 (59)	252(217)	56 (48)

**Методичні вказівки  
до виконання  
лабораторних робіт  
до курсів:  
«Джерела теплопостачання»  
та  
«Теплові мережі»**

**Укладачі:** **Олена Костянтинівна Сафонова, к.т.н., доц.  
Анатолій Леонідович Попов, к.т.н., доц.  
Денис Леонідович Безбородов, ас.  
Вікторія Юріївна Єрмакова, ас.  
Юрій Олександрович Боев, ас.**