

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Методичні вказівки до лабораторного практикуму
для студентів ЗДІА спеціальності 7.090510 «Теплоенергетика»

Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ТЕ
протокол №4 від 28.10 2004

Джерела теплопостачання промислових підприємств
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів
спеціальності 7.090510. «Теплоенергетика».
/Укладач Крючков Є.М., Соколов Ю.П. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА,
2004, - 36 с./

Укладач:

Крючков Є.М. - канд. техн. наук, доцент.
Соколов Ю.П. - канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний за випуск –
завідуючий кафедрою теплоенергетики
кандидат технічних наук, доцент І.Г. Яковлева.

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. Визначення терміну спорожнення секції трубопроводу теплової мережі.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. Вибраковка корозійних ділянок теплових мереж методом руйнування.....	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Визначення тривалості припинення циркуляції води в трубопроводі повітряної прокладки при умові захисту від замерзання.....	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. Дослідження гідравлічного режиму двотрубною кільцевою тепловою мережі.....	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. Дослідження гідравлічного режиму роботи системи теплопостачання від двох джерел	23
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6. Визначення поточкорозподілу в кільцевій мережі методом перетворення трикутника в зірку	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7. Розподіл витрат теплоносія між споживачами в закритій системі теплопостачання.....	32

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Визначення часу спорожнення секції трубопроводу теплової мережі.

1. Мета роботи.

Визначити час спорожнення похилого трубопроводу секції теплової мережі та коефіцієнту витрат дренажного пристрою.

2. Експериментальна установка.

Дослідження проводяться на діючих теплових мережах комунального підприємства „Орджонікідзевські теплові мережі”.

Довжина трубопроводу l , з внутрішнім діаметром $d_{тр}$. Нижня частина трубопроводу оснащена спускником діаметром $d_{сп}$, а в верхній частині розташований патрубок для повітря діаметром $d_п$. Трубопровід прокладено з нахилом i .

З метою визначення коефіцієнту витрат дренажного пристрою, проведено стендові випробування зливу води з моделі секції теплової мережі.

Отримана величина коефіцієнту витрат на моделі використана для визначення часу зливу води з трубопроводу секції теплової мережі.

3. Проведення експерименту.

Скласти схему експериментальної установки стендового іспиту на моделі.

Виміряти довжину трубопроводу l , висоту підйому h , внутрішній діаметр трубопроводу $d_{тр}$ та внутрішній діаметр спускного пристрою $d_{сп}$.

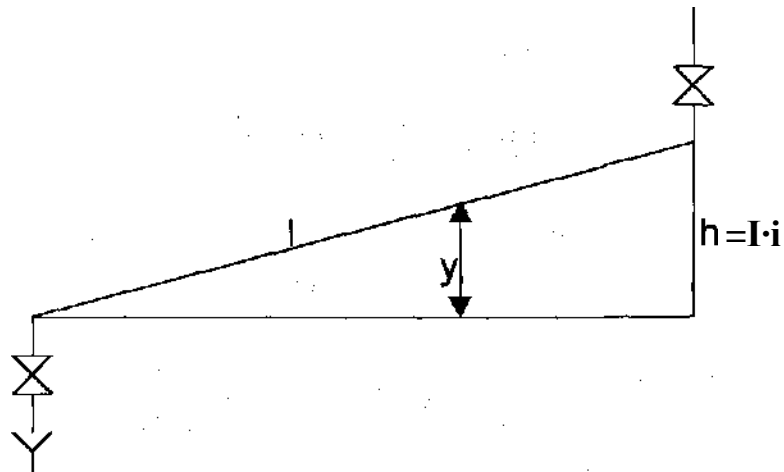
Заповнити трубопровід водою та заміряти її температуру.

Відкрити дренажний вентиль і визначити час зливу води z . Визначення часу зливу води виконати три рази, отриманий результат усереднити і надалі використовувати для визначення коефіцієнту витрат спускного пристрою.

4. Теоретичні відомості.

Для математичного описання процесу спорожнення прийняти, що трубопровід представляє собою похилий циліндр з горизонтальною еліптичною основою і аналогічним паралельним основі верхом рідини.

Діаметр патрубку для впуску повітря в верхній частині трубопроводу досить великий, тому тиск повітря над рівнем води в трубопроводі можна приблизно вважати рівним атмосферному.



Мал. 1 . Схема експериментального трубопроводу.

Рушійною силою витіку рідини через спускник зі швидкістю струмини $W_{стр}$ є гідростатичний тиск стовпа рідини, який частково перетворюється в динамічний, а інша частина витрачається на подолання місцевих опорів при витіканні через спускник, Па

$$\Delta P = \frac{w_{под}^2}{2} \rho + \xi \frac{w_{под}^2}{2} \rho$$

Виражаємо гідростатичний тиск P через стовп рідини y над спускником

$$y \rho g = (1 + \xi) \frac{w_{под}^2}{2} \rho,$$

тоді швидкість витікаючої струмини, м/сек

$$w_{cmp} = \varphi \sqrt{2gy}$$

де φ коефіцієнт швидкості

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi}}$$

На підставі рівняння суцільності потоку рідини для струмини, м³/сек.,

$$v = f_{\bar{n}\delta\delta} \cdot w_{\bar{n}\delta\delta}$$

перейдемо від параметрів струмини до параметрів спускного пристрою

$$v = \varepsilon \cdot f_{\bar{n}i} \cdot \varphi \cdot \sqrt{2gy}$$

де ε - коефіцієнт стиснення струмини

$$\varepsilon = \frac{f_{\bar{n}\delta\delta}}{f_{\bar{n}i}}$$

Добуток коефіцієнту стиснення струмини та коефіцієнту швидкості називається коефіцієнтом витрати рідини

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi$$

Таким чином, об'ємна витрата рідини, що проходить через спускний пристрій, визначається по формулі, м³/с

$$v = \mu \cdot f_{\bar{n}i} \cdot \sqrt{2gy}$$

Об'єм води, що витікає через спускний пристрій за годину dz , визначається умовами однозначності при зниженні рівня на dy

$$v \cdot dz = -F \cdot dy$$

де F - площа горизонтального розрізу поверхні води похилого трубопроводу, м²

$$F = \frac{f_{\delta\delta}}{i}$$

Об'ємні витрати рідини, що пройшла через спускний пристрій

$$v = -F \frac{dy}{dz}$$

Прирівняємо праві частини рівнянь витрати рідини

$$\mu \cdot f_{\bar{n}i} \cdot \sqrt{2gy} = -F \frac{dy}{dz}$$

Розв'язуємо отриманий вираз відносно dz

$$dz = -\frac{F \cdot y^{\frac{1}{2}}}{\mu \cdot f_{\bar{n}i} \cdot \sqrt{2g}} dy$$

Проінтегруємо отримане диференційне рівняння в межах зміни перемінних величин

$$\int_0^z dz = -\frac{F}{\mu \cdot f_{\bar{n}i} \cdot \sqrt{2g}} \cdot \int_h^0 y^{\frac{1}{2}} dy$$

$$z = \frac{2F\sqrt{h}}{\mu \cdot f_{\bar{n}i} \cdot \sqrt{2g}}$$

Підставимо в отримане рівняння значення параметрів:

$$F = \frac{f_{\delta\delta}}{i}$$

$$h = l \cdot i$$

$$f = \frac{\pi d_{\delta\delta}^2}{4}; \quad f_{\bar{n}i} = \frac{\pi d_{\bar{n}i}^2}{4}$$

і після перетворень отримаємо тривалість зливу води з трубопроводу, с

$$z = \frac{2}{\mu\sqrt{2g}} \cdot \left(\frac{d_{\delta\delta}}{d_{\bar{n}i}}\right)^2 \cdot \sqrt{l}$$

5. Обробка результатів експерименту.

На основі отриманого часу спорожнення стендової моделі похилого трубопроводу визначимо коефіцієнт витрати спускного пристрою по формулі

$$\mu = \frac{2}{z \cdot \sqrt{2gh}} \cdot \left(\frac{d_{\delta\delta}}{d_{\bar{n}i}}\right)^2$$

Використовуючи дані експериментів (табл. 1), визначаємо час зливу похилого трубопроводу секції теплової мережі для отримання на стендовій моделі величини коефіцієнту витрати спускного (дренажного) пристрою.

Таблиця 1.

Вихідні дані проведеного експерименту

№ варіанту	Діаметр трубопроводу $d_{тр}$, м	Діаметр дренажу $d_{сп}$, м	Довжина секції l , м	Нахил трубопроводу i
1	0,100	0,04	2500	0,01
2	0,125	0,04	2000	0,01
3	0,150	0,04	1500	0,01
4	0,184	0,04	1000	0,01
5	0,207	0,05	800	0,01
6	0,259	0,05	600	0,01
7	0,309	0,05	500	0,01
8	0,408	0,05	400	0,01
9	0,100	0,04	2500	0,011
10	0,125	0,04	2000	0,011
11	0,150	0,04	1500	0,011
12	0,184	0,04	1000	0,011
13	0,207	0,05	800	0,011
14	0,259	0,05	600	0,011
15	0,309	0,05	500	0,011
16	0,408	0,05	400	0,011
17	0,100	0,04	2500	0,012
18	0,125	0,04	2000	0,012
19	0,150	0,04	1500	0,012
20	0,184	0,04	1000	0,012
21	0,207	0,05	800	0,012
22	0,259	0,05	600	0,012
23	0,309	0,05	500	0,012
24	0,408	0,05	400	0,012
25	0,207	0,05	800	0,012

Контрольні запитання

1. Як відображується ступінь відкриття вентиля дренажного пристрою на коефіцієнт витрати води?
2. Як відображується ступінь відкриття вентиля повітряного патрубка на коефіцієнт витрати води дренажу?
3. Рівняння суцільності потоку для струмینی.
4. Рівняння об'ємної витрати води.
5. Середньоінтегральна швидкість витіку рідини із спускного пристрою.
6. Миттєва швидкість витіку рідини із спускного пристрою.

ЛІТЕРАТУРА

Сафонов А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям, М.: Энергоатомиздат, 1985

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Вибраковка корозійних ділянок теплових мереж методом руйнування

1. Мета роботи.

Визначити величину випробного коефіцієнта підвищення тиску у трубопроводі за допустимим запасом у товщині стінки труби.

2. Експериментальна установка.

У якості експериментальної установки використовується секція трубопроводу теплової мережі. Випробування на вибраківку корозійних ділянок теплової мережі проводять у літній період.

В процесі експлуатації системи теплопостачання сталеві труби піддаються корозії. Найбільш небезпечною є виразкова корозія, яка спричиняє потоншення стінки трубопроводу, в наступному до появи свищів.

Літній ремонт теплових мереж з виявленням слабких ділянок шляхом їх випробування на зруйнування підвищеним тиском дозволяє за опалювальний період експлуатувати ці мережі без аварійних випадків.

3. Проведення експерименту.

Скласти схему експериментального стенду. У період проведення експерименту відгалуження від секції теплової мережі роз'єднуються засувками. Секція локалізується закриттям на її кінцях засувки, при необхідності заповнюється водою до появи стійкого фонтану з повітряника. Повітряник закривають і починається поступове підвищення тиску шляхом подавання води від насоса пересувної насосної установки крізь дренажне обладнання.

Підвищення тиску в секції трубопроводу здійснюється до випробного тиску, який контролюється манометром у пересувній насосній станції. В мить утворення свищів у місцях виразкової корозії з товщиною стінки меншою за допустиму зростає подача води у секції і спостерігається стрибок спадання тиску.

Дефектні місця з незначним пошкодженням заварюються, а при значних пошкодженнях замінюється ця частина трубопроводу.

4. Теоретичні відомості.

Літня вибраківка корозійних ділянок теплової мережі забезпечує безаварійну експлуатацію мереж в опалювальний період. Випробний тиск на відбраківку у літній період ослаблених корозією труб за допустимим запасом у товщині стінки труби, менш якої здійснюється їх руйнування, визначається за формулою

$$D_{\text{впр}} = \hat{E}_{\text{впр}} \cdot D_{\text{н}} ,$$

де $D_{\text{впр}}$ - випробний надмірний тиск на зруйнування, МПа;

$\hat{E}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}}$ - робочий надмірний тиск у системі, МПа;

$E_{\delta\hat{a}\hat{i}}$ - випробний коефіцієнт підвищення тиску

$$\hat{E}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}} = 1 + \frac{2\delta_{\hat{e}} \cdot \sigma_{\delta}}{d_{\hat{a}} \cdot P_{\delta\hat{a}\hat{i}}}$$

$\delta_{\hat{e}}$ - запас у товщині стінки на корозію, м;

$d_{\hat{a}}$ - внутрішній діаметр трубопроводу, м;

σ_{δ} - тимчасовий опір розриву матеріалу труб, для водяних теплових мереж
приймають: $\sigma_{\delta} = 380$ МПа

5. Обробка результатів експерименту.

На підставі викладеної методики вибірки корозійних ділянок трубопроводів теплових мереж та даних таблиці 1 побудувати залежність

$$\hat{E}_{\hat{a}\hat{e}\hat{i}} = f\left(\frac{\delta_{\hat{e}}}{d_{\hat{a}}}\right)$$

у діапазоні $0 \leq (\delta_{\hat{e}} / d_{\hat{a}}) \leq 4 \cdot 10^{-3}$

з відстанню $h = 10^{-3} \hat{i}$

Таблиця 1.

Вихідні дані для проведення експерименту

№ варіанту	Робочий тиск $P_{\text{роб}}$, МПа	Діаметр трубопроводу $d_{\text{в}}$, м	№ варіанту	Робочий тиск $P_{\text{роб}}$, МПа	Діаметр трубопроводу $d_{\text{в}}$, м
1	1,3	0,10	14	1,6	0,10
2	1,3	0,15	15	1,6	0,15
3	1,3	0,182	16	1,6	0,182
4	1,3	0,203	17	1,6	0,203
5	1,3	0,255	18	1,6	0,255
6	1,3	0,305	19	1,6	0,305
7	1,3	0,357	20	1,6	0,357
8	1,3	0,408	21	1,6	0,408
9	1,3	0,460	22	1,6	0,460
10	1,3	0,511	23	1,6	0,511
11	1,3	0,610	24	1,6	0,610
12	1,3	0,698	25	1,6	0,698
13	1,3	0,796	26	1,6	0,796

6. Контрольні питання.

1. Що таке випробний тиск?
2. Як досягається та контролюється випробний тиск?
3. Чим характеризується випробний коефіцієнт підвищення тиску?
4. Що відбиває величина запасу у товщині стінки на корозію?
5. Як змінюється величина випробного коефіцієнта підвищення тиску від діаметра при постійному запасі на корозію?
6. Причини, які обумовлюють корозію у теплових мережах.
7. Міри захисту від корозії.
8. Міри захисту від електрокорозії.

Література

Сафонов А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям, М.: Энергоатомиздат, 1985.-232с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Визначення тривалості припинення циркуляції водн в трубопроводі повітряної прокладки при умові захисту від замерзання

1. Мета роботи.

Пряма задача. Визначити тривалість припинення циркуляції води в ізольованому трубопроводі повітряної прокладки при умові початку утворення льоду на внутрішній поверхні стінки трубопроводу.

Зворотна задача. По заданій тривалості зупинення циркуляції в трубопроводі визначити товщину ізоляції.

2. Експериментальна установка.

Ізольована ділянка трубопроводу теплової мережі повітряної прокладки використовується як експериментальна установка.

Трубопровід заповнюється гарячою водою, або розігрівається заповненим водою електронагрівачем до стаціонарного процесу прогріву ізоляційного шару.

3. Проведення експерименту.

Скласти схему експериментальної установки з розміщенням вимірювальних приладів.

Вивести установку на стаціонарний режим прогріву ізоляційної конструкції, що забезпечує постійність температури поверхні ізоляції трубопроводу.

Стаціонарний процес фіксується зняттям показань початкової температури води τ_n та навколишнього середовища t_n .

При відключенні електронагрівача знімається динаміка охолодження трубопроводу у часі від початкової температури τ_n до кінцевої $\tau_k=0$ при температурі навколишнього середовища t_n .

4. Теоретичні відомості.

Пряма задача. Тривалість охолодження води в ізольованому трубопроводі від початкової температури τ_n до кінцевої $\tau_k=0$, що характеризується початком утворення льоду, визначається за допомогою рівняння теплового балансу для процесу охолодження води внаслідок теплових втрат

$$\sum (mc)d\tau = q_l(1 + \beta)dz,$$

де m - маса матеріалу ізольованого трубопроводу довжиною один метр з водою, кг/м;

c - питома теплоємність, Дж/кг К;

$d\tau$ - зниження температури системи теплообміну за час dz ;

q_1 - лінійна щільність теплового потоку системи теплообміну, Вт/м;

β - коефіцієнт місцевих втрат.

Підставимо у вихідне рівняння лінійну щільність теплового потоку

$$\sum (mc)d\tau = \frac{\tau - t_n}{\sum R_e} (1 + \beta) dz,$$

де t_i - температура навколишнього середовища, С;

$\sum R_e$ - сумарний лінійний термічний опір системи теплообміну, мК/Вт

Після розділу перемінних виконаємо інтегрування в межах їх змін

$$\int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d\tau}{\tau - t_n} = \frac{1 + \beta}{(\sum mc) \cdot (\sum R_e)} \cdot \int_0^z dz$$

У зв'язку з тим, що в системі теплообміну визначальною є теплоємність води, іншими теплоємностями можна знехтувати як малими величинами другого порядку. Для стандартного (табл. 1) трубопроводу визначити час охолодження при товщині ізоляції δ_{i3} та коефіцієнті теплопровідності ізоляційного матеріалу λ_{i3} в штильову погоду.

Порівняти отримані результати з охолодженням неізольованого трубопроводу в вітряну погоду ($w = 10$ м/с).

Зворотна задача.

По заданому часі охолодження трубопроводу (максимальній тривалості ремонту з припиненням циркуляції та без зливу води) визначається товщина ізоляційного шару трубопроводу, виходячи із умови захисту від замерзання при мінусовій температурі навколишнього середовища.

На основі процесу теплообміну ізольованого трубопроводу з навколишнім середовищем, що приводить до охолодження рідини, визначається товщина шару ізоляції, що забезпечує заданий темп охолодження, м

$$\delta_{i3} = \frac{d_3}{2} (e^{m-n} - 1),$$

де d_3 - зовнішній діаметр неізольованого трубопроводу, м;

m - безрозмірний коефіцієнт теплообміну шару ізоляції

$$m = \frac{2\pi\lambda_{e3} z(1 + \beta)}{(\sum mc) \ln \frac{\tau_i - t_i}{\tau_e - t_i}}$$

λ_{e3} - коефіцієнт теплопровідності основного шару ізоляції, Вт/(м К);

n - безрозмірний коефіцієнт теплообміну поверхневого шару ізоляції з навколишнім середовищем

$$n = \frac{2\lambda_{ic}}{(d_{\zeta} + 2\delta_{ic})\alpha_{\zeta i}}$$

$\alpha_{\zeta i}$ - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої поверхні в навколишнє середовище Вт/(м К).

4. Обробка результатів експерименту.

Виходячи з отриманої тривалості охолодження води в трубопроводі z від початкової температури τ_n до кінцевої τ_k при температурі навколишнього середовища $t_n > 0$, визначається добуток теплоємності системи теплообміну та її лінійного термічного опору, c

$$\varphi = \frac{z}{\ln \frac{\tau_i - t_i}{\tau_e - t_i}}$$

Для системи теплообміну рідини з навколишнім середовищем комплекс φ є практично постійним.

З іншого боку, комплекс φ може бути визначеним теоретично по формулі, c

$$\varphi = \frac{(\sum mc) \cdot (\sum R_e)}{1 + \beta}$$

де $\sum R_e$ - сума лінійних термічних опорів системи теплообміну рідини з навколишнім середовищем, мК/Вт

$$\sum R_e = \frac{1}{2\pi\lambda_{ic}} \ln \left(1 + \frac{2\delta_{ic}}{d_{\zeta}} \right) + \frac{1}{\pi(d_{\zeta} + 2\delta_{ic})\alpha_{\zeta i}}$$

$\sum mc$ - сума добутків маси на питому теплоємність одного метра довжини трубопроводу з водою та ізоляцією, Дж/К;

β - коефіцієнт місцевих втрат теплоти.

Тривалість охолодження води від початкової температури до 0°C визначається по формулі, c

$$z = \varphi \cdot \ln \frac{\tau_i - t_i}{\tau_e - t_i}$$

τ_{ϵ} - кінцева температура охолодження, °С, $\tau_{\epsilon} = 0$;

t_i - температура навколишнього середовища, °С, $t_i < \tau_{\epsilon}$.

Використовуючи дані таблиці 1, визначити допустимий час зупинення циркуляції без зливу води з трубопроводу.

З метою зниження об'єму обчислювальних операцій знехтувати теплоємкостями сталі та ізоляції, як малими величинами в порівнянні з теплоємкістю води.

Таблиця 1

Вихідні дані проведеного експерименту

№ варіанту	Діаметр тр/пр зовнішній d_3 , м	Діаметр тр/пр внутрішній d_B , м	$\delta_{із}$, м	$\lambda_{із}$, Вт/(мК)	$\tau_{п}$, °С	$t_{н}$, °С
1	0,076	0,070	0,06	0,08	95	-22
2	0,089	0,082	0,06	0,08	95	-22
3	0,108	0,100	0,06	0,08	95	-22
4	0,133	0,125	0,06	0,08	95	-22
5	0,159	0,150	0,06	0,08	95	-22
6	0,194	0,184	0,08	0,10	100	-25
7	0,219	0,207	0,08	0,10	100	-25
8	0,219	0,211	0,08	0,10	100	-25
9	0,273	0,259	0,08	0,10	100	-25
10	0,273	0,263	0,08	0,10	100	-25
11	0,325	0,309	0,10	0,12	110	-30
12	0,325	0,315	0,10	0,12	110	-30
13	0,377	0,359	0,10	0,12	110	-30
14	0,377	0,367	0,10	0,12	110	-30
15	0,426	0,408	0,10	0,12	110	-30
16	0,426	0,414	0,10	0,12	110	-30
17	0,530	0,512	0,12	0,12	120	-20
18	0,530	0,518	0,12	0,12	120	-20
19	0,630	0,610	0,12	0,12	120	-20
20	0,630	0,616	0,12	0,12	120	-20
21	0,032	0,026	0,04	0,06	95	-22
22	0,032	0,028	0,04	0,06	95	-22
23	0,038	0,034	0,04	0,06	95	-22
24	0,045	0,041	0,04	0,06	95	-22
25	0,057	0,051	0,04	0,06	95	-22

6. Контрольні запитання.

1. Чим визначається тривалість припинення циркуляції води в трубопроводі при мінусових значеннях температури навколишнього середовища?
2. Умови однозначності між тепловими втратами в навколишнє середовище та охолодженням рідини в трубопроводі.
3. Чим відрізняються пряма та зворотна задачі теплового обміну трубопроводу з навколишнім середовищем?
4. Якою залежністю описується темп охолодження рідини в трубопроводі?
5. Який час теоретично потрібний для охолодження рідини в трубопроводі до температури навколишнього середовища?
6. Як зміниться лінійна щільність теплового потоку в процесі охолодження рідини в трубопроводі?
7. Чим відрізняється задача теплового обміну з постійними теплофізичними коефіцієнтами від задачі теплового обміну з перемінними теплофізичними коефіцієнтами?

Література:

Сафонов А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям , М.: Энергоатомиздат. 1985. - 232с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження гідравлічного режиму двотрубної закритої кільцевої теплової мережі

1. Мета роботи

Визначити розподіл витрат води по відгалуженням кільця при заданих вузлових витратах і конструктивній характеристиці кільця .

2. Експериментальна установка

Кільцева система тепlopостачання від одного джерела живлення із заданими вузловими витратами і конструктивними характеристиками кільця використовується як експериментальна установка. Кільцева мережа постачається від районної котельні з напором мережних насосів $H_{\text{мн}}$. Коефіцієнт місцевих витрат тиску на ділянках кільця α , коефіцієнт еквівалентної шорсткості k_e .

3. Проведення експерименту

Скласти схему експериментальної установки кільцевої мережі з позначенням місць розміщення приладів згідно з таблицею 1.

За результатами вимірювань напір мережного насоса $H_{\text{мн}}=100\text{м}$. Заміряні вузлові витрати води до споживачів наведені у таблиці 1. Коефіцієнт місцевих витрат тиску $\alpha=0,3$, еквівалентної шорсткості $k_e=0,5$ мм. Діаметр ділянок кільця $d=0,514$ м. Вузлові витрати до споживачів $V_{\text{вузлі.і}}$ і довжини ділянок кільця l_i наведені в таблиці 1 .

Таблиця 1

Вихідні дані проведеного дослідження: $V_{\text{вузлі.і}}$ - верхній рядок, $\text{м}^3/\text{с}$
 l_i - нижній рядок, м

№ варіанту	Витрати води абонентів і довжини ділянок в послідовності обходу кільця по годинниковій стрілці, (абонентів - 5, ділянок -6)					
	1	2	3	4	5	6
1	0,1 500	0,2 1000	0,3 500	0,4 500	0,5 1000	500
2	0,6 500	0,5 1000	0,4 500	0,3 500	0,2 1000	500
3	0,1 500	0,2 1000	0,3 500	0,6 500	0,5 1000	500
4	0,2 500	0,1 1000	0,3 500	0,5 500	0,6 1000	500

Продовження табл. 1

	Витрати води абонентів і довжини ділянок в послідовності обходу кільця по годинниковій стрілці, (абонентів - 5, ділянок -6)					
5	0,5 500	0,4 1000	0,6 500	0,3 500	0,2 1000	500
6	0,4 500	0,5 1000	0,6 500	0,2 500	0,1 1000	500
7	0,1 500	0,3 1000	0,2 500	0,5 500	0,4 1000	500
8	0,3 500	0,1 500	0,2 500	0,4 500	0,5 1000	500
9	0,6 500	0,4 1000	0,3 500	0,5 500	0,2 1000	500
10	0,3 500	0,6 1000	0,2 500	0,4 500	0,1 1000	500
11	0,1 1000	0,2 500	0,3 1000	0,4 1000	0,5 500	1000
12	0,5 1000	0,6 500	0,4 1000	0,3 1000	0,2 500	1000
13	0,1 1000	0,2 500	0,3 1000	0,6 1000	0,5 500	1000
14	0,2 1000	0,1 500	0,3 1000	0,5 1000	0,6 500	1000
15	0,5 1000	0,4 500	0,6 1000	0,3 1000	0,2 500	1000
16	0,4 1000	0,5 500	0,6 1000	0,2 1000	0,1 500	1000
17	0,1 1000	0,3 500	0,2 1000	0,5 1000	0,4 500	1000
18	0,3 1000	0,1 500	0,2 1000	0,4 1000	0,5 500	1000
19	0,6 1000	0,4 500	0,3 1000	0,5 1000	0,2 500	1000
20	0,1 1000	0,2 1000	0,3 1000	0,4 1000	0,5 1000	1000
21	0,6 1000	0,5 1000	0,4 1000	0,3 1000	0,2 1000	1000
22	0,1 1000	0,2 1000	0,3 1000	0,6 1000	0,5 1000	1000
23	0,2 1000	0,1 1000	0,3 1000	0,5 1000	0,6 1000	1000

24	0,1 1000	0,2 1000	0,3 1000	0,4 1000	0,6 1000	1000
25	0,5 1000	0,1 1000	0,4 1000	0,2 1000	0,3 1000	1000

4. Теоретичні відомості

Складанням коефіцієнтів гідравлічних опорів прямої та зворотної лінії кільця дволінійна кільцева мережа перетворюється в дволінійний кільцевий гідравлічний ланцюг

$$S_i = S_i^{i\delta} + S_i^{c\alpha}$$

де $S_i^{i\delta}$, $S_i^{c\alpha}$ - коефіцієнти гідравлічних опорів прямої та зворотної лінії ділянок кільця, Па/(м³/с)²

$$S_i^{i\delta} = S_i^{c\alpha} = 13 \cdot d_i^{-5.25} \cdot I_i \cdot (1 + \alpha)$$

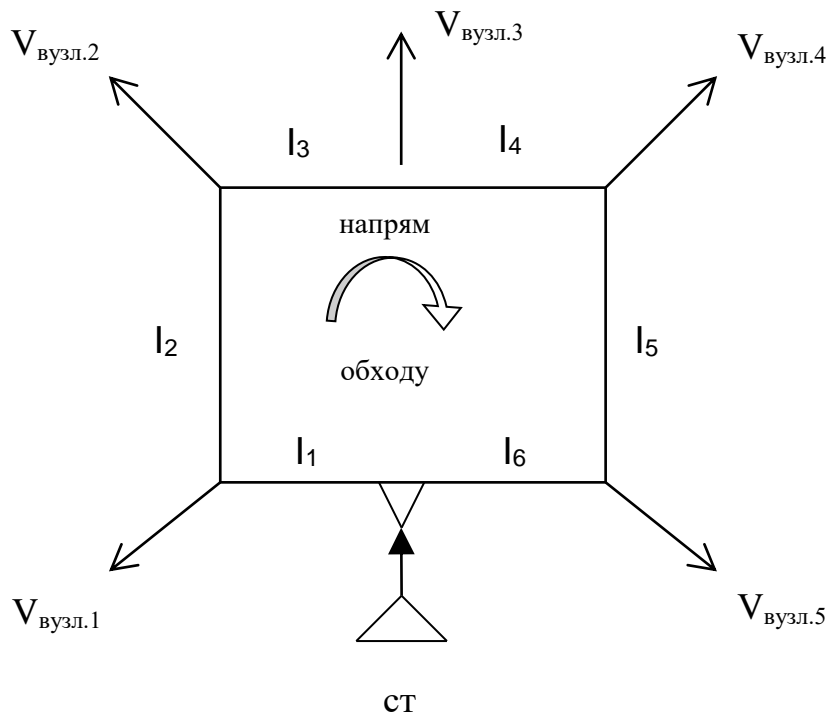


Рис.1 Однолінійний ланцюг двотрубної кільцевої мережі

На основі рис.1 та даних табл.1 визначаються коефіцієнти гідравлічних опорів ділянок кільця, Па/(м³/с)²

$$\varepsilon = \frac{100 \cdot |\Delta V|}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m V_i^2}}$$

Для ручного ітераційного процесу приймається похибка $\varepsilon = 3\%$. Якщо похибка перевищує допущену, то повертаються до другого циклу ітераційного процесу по визначенню нової величини поправки ΔV , та нових витрат води на ділянках кільця V_i .

Після закінчення ітераційного процесу визначається наявний напір в точці водорозподілу за формулою, м

$$\Delta H_{\delta . \dot{a}}^{i \dot{a} \dot{y} \dot{a}} = H_{ii} - \frac{\sum (S_i \cdot V_i^2)}{\rho \cdot g}$$

де n - кількість ділянок кільця від станції до точки водорозподілу.

При правильному розподілі витрат води по ділянках кільця наявний напір в точці водорозподілу однаковий як при підході з лівого так і з правого боку, м

$$\Delta H_{\delta . \dot{a}}^{e \dot{a} \dot{a}} = \Delta H_{\delta . \dot{a}}^{i \dot{d} \dot{a} \dot{a}}$$

4. Обробка результатів експерименту

Результати експерименту, наведені у табл.1, обробляються відповідно до викладеної в роботі методики.

Визначаються коефіцієнти гідравлічних опорів ділянок кільця. Вибирається точка водорозподілу, визначаються путьові витрати та поправка до них за методом Ньютона . знаходиться наявний напір в точці водорозподілу.

6. Контрольні питання

1. Призначення кільцевої системи теплової мережі.
2. Як визначається точка водорозподілу?
3. Перший закон Кірхгофа для вузла.
4. Другий закон Кірхгофа для замкненого контуру.
5. Другий закон Кірхгофа для розімкнутого контуру.
6. Яким елементом здійснюється замкнення контуру теплової мережі відносно розімкнутого?
7. Властивості точки водорозподілу при підході води до неї зліва та справа.
8. Як визначити потужність насосу працюючого на кільцеву мережу?
10. Добова витрата електричної енергії для приводу мережних насосів.

Література:

- 1 .Сафонов А . П . Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям . - М: Энергоатомиздат , 1985 . - 232 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження гідравлічного режиму роботи системи тепlopосточання від двох джерел

1. Мета роботи

Визначити шляхові витрати води на магістральних ділянках закритої двотрубної теплової мережі, які забезпечуються теплоносієм від двох котелень та наявний натиск між подаючим та зворотнім трубопроводами в місці водорозподілу.

2. Експериментальне устаткування

Закрита система тепlopосточання з паралельною роботою двох котелень, яка забезпечує тепlopосточання чотирьох теплових районів, використовується як експериментальна установка.

Режим роботи системи контролюється контрольно-вимірювальними приладами встановленими у котельних, на тепловій мережі та вводах у теплові райони.

У процесі експлуатування системи знімаються покази приладів у котельних, на тепловій мережі та вводах у теплові райони.

3. Проведення експерименту

Скласти схему експериментальної установки моделі теплової мережі з вказанням місць розташування вимірювальних приладів згідно з таблицею 1.

На основі конструктивних характеристик магістральних ділянок визначені їхні коефіцієнти гідравлічних опорів за формулою, МПа/(м³/с)²

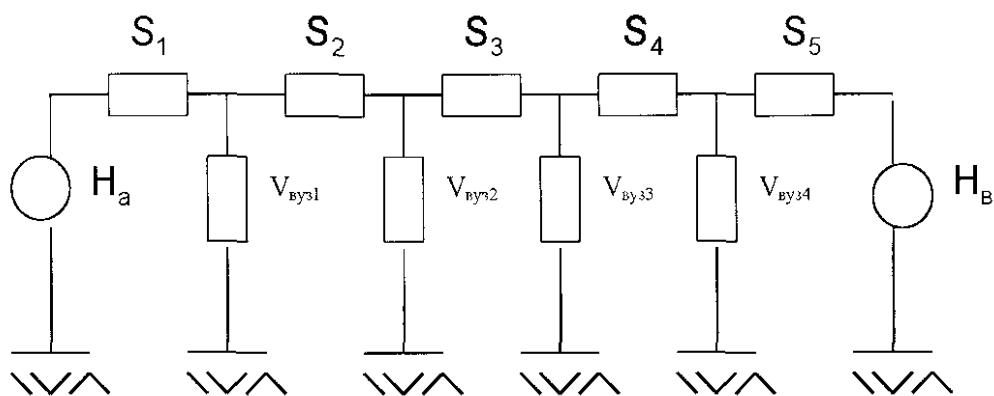
$$S_i^{\text{под}} = S_i^{\text{зв}} = 13 \cdot d^{-5,25} \cdot l \cdot (1 + \alpha).$$

Відповідним складанням по ділянках "i" коефіцієнтів гідравлічних опорів подаючої та зворотної ліній теплової мережі перетворимо дволінійну теплову мережу в однолінійний тепловий ланцюг

$$S_i = S_i^{\text{под}} + S_i^{\text{зв}}.$$

Коефіцієнти гідравлічних опорів однолінійного теплового ланцюга складають, МПа/(м³/с)²:

$$S_1=1.6 \quad S_2=4 \quad S_3=15 \quad S_4=35 \quad S_5=2.5$$



Мал.1 Гідравлічний ланцюг двотрубної теплової мережі

4. Теоретичні відомості

Паралельна робота двох котелень на спільну теплову мережу утворюють точку водорозподілу живлення споживачів.

Ліворуч від точки водорозподілу живлення споживачів здійснюється від котельні А, а праворуч - від котельні В.

Попередньо задаються розташуванням точки водорозподілу, прийнявши витрати води від котельної А позитивними, а від котельної В - негативними.

На основі першого закону Кірхгофа визначаються лінійні витрати води по ділянках, які дорівнюють сумі вузлових витрат, що забезпечуються цими ділянками за відповідним законом, м³/с:

$$V_i = \text{Sign}(V_i) \cdot \sum_{j=1}^{j=n} V_{\text{вузл.}i}$$

де Sign - знак витрат води "+" - співпадаючих з напрямком руху годинникової стрілки, та "-" - в іншому випадку;

n - число вузлових витрат, що забезпечується ділянкою і.

Визначається поправка до знайдених витрат води, м³/с:

$$\Delta V = - \frac{10^6 \left(\sum_{i=1}^{i=5} S_i \cdot |V_i| \cdot V_i \right) - (H_a - H_b) \cdot \rho \cdot g}{2 \cdot 10^6 \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=5} S_i \cdot |V_i| \right)}$$

де |V_i| - модуль витрат V_i, м³/с.

Уточнені витрати води визначаються за формулою, м³/с для і = 1 .5

$$V_i = V_i + \Delta V$$

до тих пір, поки відносна похибка витрат води не стане менше ніж ε , %:

$$\varepsilon = \frac{100 \cdot \Delta V}{\sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 V_i^2}}$$

Для технічних розрахунків допускається похибка $\varepsilon \leq 3\%$.

5. Обробка результатів експерименту

На основі даних табл.1 створюється гідравлічний ланцюг теплової мережі з живленням від двох джерел з визначенням наявного натиску H_a та H_b на станціях.

На гідравлічний ланцюг наносяться значення коефіцієнтів гідравлічних опорів S_i (мал. 1) та вузлових витрат $V_{\text{вузі}}$.

Вибирається положення точки водорозподілу.

Знаходяться по ділянках лінійні витрати води V_i та поправка води до них до тих пір, поки відносна похибка не стане менше ніж 3%.

Наявний натиск води між подаючою та зворотною лініями теплової мережі в точці водорозподілу визначається за формулою, м

$$\Delta H_{\text{Т.В}}^{\text{наяв}} = H_a - \frac{10^6 \cdot \sum_{i=1}^{i=m} S_i \cdot |V_i| \cdot V_i}{\rho \cdot g}$$

Або

$$\Delta H_{\text{Т.В}}^{\text{наяв}} = H_b + \frac{10^6 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} S_i \cdot |V_i| \cdot V_i}{\rho \cdot g}$$

де m - число абонентів, що живляться від котельні А;

n - число абонентів, що живляться від котельні В.

6. Контрольні запитання

1. Що таке точка водорозподілу та її характерні властивості?
2. Як перетворити дволінійну теплову мережу в однолінійний гідравлічний ланцюг?
3. Як визначити коефіцієнт гідравлічного опору по конструктивним характеристикам ділянки мережі?
4. Як визначити коефіцієнт гідравлічного опору по даним гідравлічних випробувань мережі?
5. Що стане з витратами води у споживачів при аварійному відключенні однієї із котельних?
6. Як визначити наявний натиск води в точках вузлових витрат?
7. Як визначити коефіцієнт гідравлічних опорів теплових районів з вузловими витратами $V_{\text{вуз}}$?
8. Як визначити наявний натиск води в точці водорозподілу?
9. Як визначити відносну похибку витрат води ?

Література

Сафонов А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 232 с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Визначення поточкорозподілу в кільцевій мережі методом перетворювання трикутника в зірку

1. Мета роботи

Визначити коефіцієнт гідравлічного опору системи зі змішаним з'єднанням елементів та розподілення витрат води по сторонах трикутника.

2. Експериментальна установка

В якості експериментальної установки використовується двотрубна транзитна частина системи теплопостачання з двома променями, резервуючою перемичкою поміж трубопроводами променевих напрямів. Експериментальна установка оснащена реєструючими приборами витрати води на роздаючих (після перемички) променях.

3. Проведення експеримента

Скласти схему експериментальної установки з зазначенням місць розташування вимірювальних приладів.

Конструктивні характеристики діляниць (мал.1.) мають наступні параметри:

$d_a=0.406$ м;	$l_a=1000$ м;
$l_{\text{крв}}=200$ м	$d_b=0.406$ м;
$l_b=750$ м;	$l_{\text{крв}}=150$ м
$d_c=0.310$ м;	$l_c=750$ м;
$l_{\text{крв}}=150$ м	

Витрати води представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вихідні дані проведених випробувань по витратам води кг/с.

№ Варіанта	G ₂	G ₃	№ Варіанта	G ₂	G ₃
1	100		13	340	
2	120		14	200	
3	140		15	220	
4	160		16	240	
5	180		17	260	
6	200		18	280	
7	220		19	300	
8	240		20	320	
9	260		21	340	
10	280		22	360	
11	300		23	380	
12	320		24	400	

Дані табл.1 відносяться як до подаючого, так і до зворотного трубопровода теплової мережі. Усі перетворювання зручно здійснити для подаючого трубопровода теплової мережі.

Для зворотного трубопровода вони тотожні, але з протилежним вектором прямивання води.

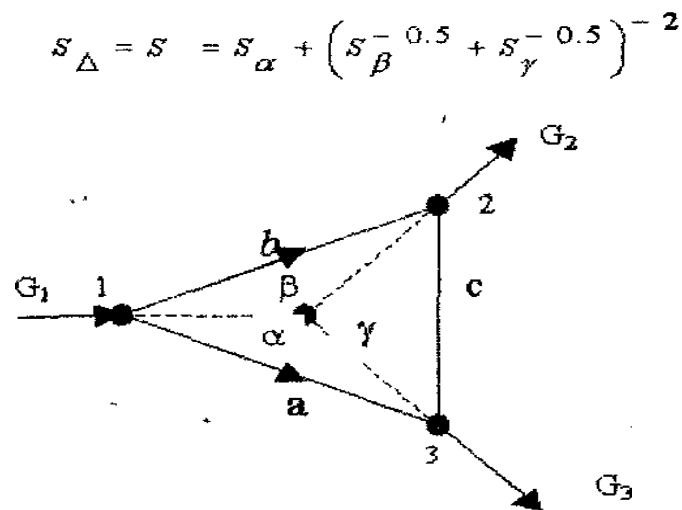
На мал. 1 стрілкою показано напрямок обходу контура (по стрілці годинника).

5. Теоретичні відомості

При наявності в системі теплових мереж кільцевого з'єднання трубопроводів виникає складність визначення підсумкового опору мережі та розподілу витрат теплоносія по його гілках.

Така схема утворюється при закільцюванні магістральних променів системи тепlopостачання. Звичайним перетворюванням дволінійна кільцева мережа трансформується в однолінійний гідравлічний ланцюг трикутника.

Підсумкова величина коефіцієнта гідравлічного опору зірки і трикутника визначається за формулою, Па/(кг/с)²



Мал.1. Принципова схема, перетворювання однолінійного гідравлічного ланцюга з трикутника в зірку.

На схемі (мал.1) система з'єднання трубопроводів у вигляді трикутника представлена суцільними лініями, а пунктиром - схема приблизно еквівалентна зірці. Метод перетворювання побудовано на тому, що відповідно з принципом суперпозиції кожен контур може розглядатися окремо від ланцюга в цілому. Тоді провідність кожної пари променів зірки повинна бути рівною загальній провідності відповідних сторін трикутника.

На підставі даного припущення можливо одержати :

для вершин 1 та 2

$$s_{\alpha\beta} = \frac{s_e \cdot (s_a + s_c)}{(\sqrt{s_e} + \sqrt{s_a + s_c})^2}$$

для вершин 2 та 3

$$s_{\beta\gamma} = \frac{s_c \cdot (s_a + s_e)}{(\sqrt{s_c} + \sqrt{s_a + s_e})^2}$$

для вершин 1 та 3

$$s_{\alpha\gamma} = \frac{s_a \cdot (s_e + s_c)}{(\sqrt{s_a} + \sqrt{s_e + s_c})^2}$$

З іншого боку

$$s_{\alpha\beta} = s_\alpha + s_\beta$$

$$s_{\beta\gamma} = s_\beta + s_\gamma ;$$

$$s_{\alpha\gamma} = s_\alpha + s_\gamma ;$$

На підставі рішення отриманої системи рівнянь визначено коефіцієнт гідравлічного опору окремих променів зірки :

$$s_\alpha = \frac{(s_{\alpha\beta} + s_{\alpha\gamma} - s_{\beta\gamma})}{2} ;$$

$$s_\beta = \frac{(s_{\alpha\beta} + s_{\beta\gamma} - s_{\alpha\gamma})}{2} ;$$

$$s_\gamma = \frac{(s_{\alpha\gamma} + s_{\beta\gamma} - s_{\alpha\beta})}{2} ;$$

Розподілення витрат води по гілках трикутника визначається за формулами, кг/с

$$G_\alpha = -\sqrt{\frac{(s_\alpha G_1^2 + s_\gamma G_3^2)}{s_\alpha}} ;$$

$$G_e = -\sqrt{\frac{(s_\alpha G_1^2 + s_\beta G_2^2)}{s_e}} ;$$

Витрати теплоносія в перемичці С визначається по першому закону Кірхгофа для вузла 2

$$G_c = G_6 - G_2$$

Варто помітити, що позитивна величина витрат теплоносія відповідає напрямку, який збігається з обходом контура **a** негативна зустрічному.

На підставі другого закону Кірхгофа, який свідчить про те, що сума витрат тиску в замкнутому контурі дорівнює нулю.

$$\sum_{i=1}^{i=3} S_i |G_i| G_i = 0;$$

При невиконанні другого закону Кірхгофа здійснюється уточнення одержаного розподілу витрат по формулі Ньютона:

$$G_i^{[k+1]} = G_i^{[k]} + \Delta G^{[k]},$$

де k – номер ітерації, $k=1, n$

i – номер частки трикутника, $i=1, 3$

ΔH – поправка до витрати по формулі Ньютона.

$$\Delta G^{[k]} = \frac{\sum S_i [G_i^{[k]}] G_i^{[k]}}{2 \sum_{i=1}^{i=3} S_i [G_i^{[k]}]};$$

Закінчення ітераційного процесу уточнення витрат води по сторонам трикутника визначається виконанням умови нерівності, %

$$\frac{100 \cdot \Delta G^{[k]}}{\sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^{i=3} (G_i^{[k]})^2}} \leq E$$

Для технічних розрахунків приймають $E \leq 0,1...1$ %

5. Обробка результатів експеримента

На підставі даних табл.1 визначаються коефіцієнти гідравлічного опору сторін трикутника показаного на мал.1.

По викладеній методиці виконується перетворення трикутника в зірку та визначається її підсумкова величина коефіцієнта гідравлічного опору.

Знаходиться розподілення витрат води по сторонам трикутника та їх уточнення по формулі Ньютона.

6. Контрольні питання

1. Як скласти коефіцієнти гідравлічних опорів при змішаному їх приєднанні?
2. Чому вимагається уточнення здобутого розподілення витрат води по методу Ньютона ?
3. Чи можливо отримати розподіл витрат води по сторонам трикутника без перетворювання його в зірку ?
4. Як визначити середньоквадратичну погрішність одержаного розподілення витрат по сторонам трикутника?
5. Яким приймається знак витрат води при його посуванню по сторонам трикутника ?

Література:

Хасилев В.Я. Линейные и линеаризованные преобразования гидравлических цепей //Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1964, №2. с. 231 – 243.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Розподіл витрат теплоносія між споживачами в закритій системі теплопостачання

1. Мета роботи

Визначити розподіл витрат води в системі теплопостачання між споживачами при роботі мережного насосу на теплову мережу.

2. Експериментальна установка

У якості експериментальної установки використовується система теплопостачання з трьома абонентами, приєднаними паралельно одне одному.

Циркуляція в системі забезпечується мережними насосами. Мережна вода підігрівається в водогрійних котлах котельні.

Теплові пункти абонентів обладнані елеваторними вузлами, а перед елеваторним вузлом встановлена дросельна шайба з метою обмеження максимальних витрат води на абонентських вводах. Гаряче водопостачання забезпечується від газових колонок.

Технічні характеристики системи теплопостачання приведені в таблиці 1.

3. Проведення експерименту

Скласти схему експериментальної установки з позначенням місць розташування вимірювальних приладів і конструктивних розмірів елементів (згідно з таблицею 1).

Кожний тепловий пункт складається із m елеваторних вузлів з діаметром вихідного отвору сопла d_c та діаметром отвору дросельної шайби d_o (згідно з таблицею 1).

Внутрішньостанційні втрати тиску води складають $\Delta H_{ст} = 15$ м при подачі насоса

$G_{ст} = 50$ кг/с.

Циркуляція води в мережі забезпечується одним насосом 6НДв, [1].

Діаметри трубопроводів на всіх ділянках $d_i = 0,15$ м; довжина ділянки $l_i = 500$ м; коефіцієнт місцевого опору на ділянках $\sum \zeta = 30$.

4. Теоретичні основи

Для визначення пропускної здібності системи необхідно знайти коефіцієнти гідравлічного опору всіх ділянок мережі, дросельних шайб і елеваторних вузлів.

Таблиця 1- Вихідні дані для проведення випробувань

№ варіанту	d ₀ , мм	d _c , мм	№ варіанту	d ₀ , мм	d _c , мм
1	8	10	14	10	9
2	9	10	15	11	10
3	10	11	16	12	11
4	11	12	17	16	8
5	10	8	18	10	9
6	9	10	19	13	10
7	11	10	20	12	10
8	12	11	21	14	11
9	14	10	22	18	10
10	16	10	23	15	9
11	18	10	24		10
12	20		25	16	10
13	10	8			

Коефіцієнт гідравлічного опору внутрішньостанційних комунікацій і котла визначається за формулою, Па/(кг/с)²

$$S_o = \frac{\Delta H_{ст} \cdot \rho \cdot g}{G_{ст}^2}$$

Коефіцієнт $S_i = 13,67 \cdot 10^{-6} \cdot d_i^{5,25} \cdot (l_i + 60,8 \cdot d_i^{1,25} \cdot \sum \zeta)$.

Шляхом складання коефіцієнтів гідравлічного опору прямої та зворотної лінії відповідних ділянок теплової мережі дволінійна теплова мережа перетворюється в однолінійний гідравлічний ланцюг, Па/(кг/с)²

$$S_i = S_i^{пр} + S_i^{зв}$$

Коефіцієнти гідравлічного опору обмежувальної шайби визначається за формулою, Па/(кг/с)²

$$S_{ш} = \left(\frac{0,2156}{d_o} \right)^4 / m^2,$$

де d₀ - діаметр отвору шайби, м;
m - кількість паралельно працюючих шайб абонента.

Коефіцієнт гідравлічного опору сопла елеватора, Па/(кг/с)²

$$S_{соп} = \left(\frac{0,18}{d_c} \right)^4 / m^2,$$

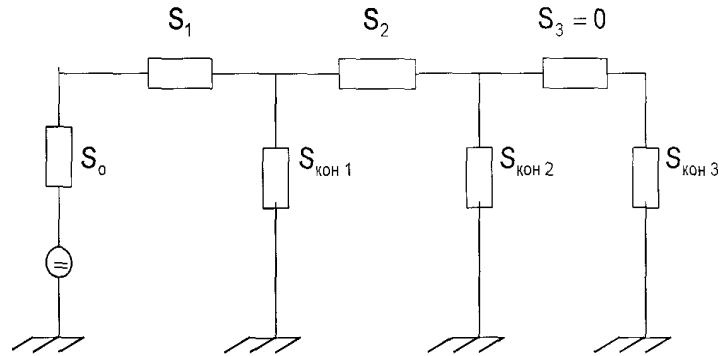
де d_c - діаметр вихідного отвору сопла елеватора, м;

m - кількість паралельно працюючих елеваторних вузлів абонента.

Коефіцієнт гідравлічного опору контура циркуляції від точки розгалуження гідравлічної мережі до замикання на землю подає суму послідовно ввімкнених коефіцієнтів гідравлічних опорів, подавального і зворотнього трубопроводів, шайби і сопла, $\text{Па}/(\text{кг}/\text{с})^2$

$$S_{\text{кон},j} = 2 \cdot S_i + S_{\text{ш}} + S_{\text{соп}}.$$

Після проведення перетворень дволінійної теплової мережі отримаємо гідравлічний ланцюг (малюнок 1).



Мал. 1 Гідравлічний ланцюг двотрубної теплової мережі

При паралельному з'єднанні коефіцієнтів гідравлічних опорів складання виконується за формулою

$$S_{\Sigma} = \left(\sum_{i=1}^n S_i^{-0,5} \right)^{-2}.$$

Результуючий коефіцієнт гідравлічного пору гідравлічного ланцюга, $\text{Па}/(\text{кг}/\text{с})^2$

$$S_c = \left\{ \left[\left(S_{\text{кон},2}^{-0,5} + S_{\text{кон},3}^{-0,5} \right)^{-2} + S_2 \right]^{-0,5} + S_{\text{кон},1}^{-0,5} \right\}^{-2} + S_o.$$

Нумерація ділянок (малюнок 1) мережі та контурів починається від станції. Номер ділянки співпадає з номером контура циркуляції, що живиться ним.

Коефіцієнт гідравлічного опору ділянки, що підводиться до кінцевого контуру, включено в сам контур, тому коефіцієнт його гідравлічного опору завжди дорівнює нулю ($S_3 = 0$).

Витрати води на вивідному колекторі станції визначаються для $j = m$

$$G = \sum_{j=1}^{j=m} G_j,$$

де j - порядковий номер абоненту, $j=1, m$;

m - кількість абонентів у системі.

На підставах рівняння однозначності характеристика насоса має вигляд

$$H_{\text{MH}} = H_{\text{п}} - S_{\text{вн}} \cdot (G^2 - G_{\text{п}}^2)$$

а результуючої характеристики гідравлічного ланцюга відповідно

$$H_{\text{МН}} = \frac{S_c \cdot G^2}{\rho \cdot g}$$

Подача мережного насоса визначається за формулою, кг/с

$$G = \sqrt{\frac{H_{\text{п}} + S_{\text{вн}} \cdot G_{\text{п}}^2}{S_{\text{вн}} + S_c / (\rho \cdot g)}}$$

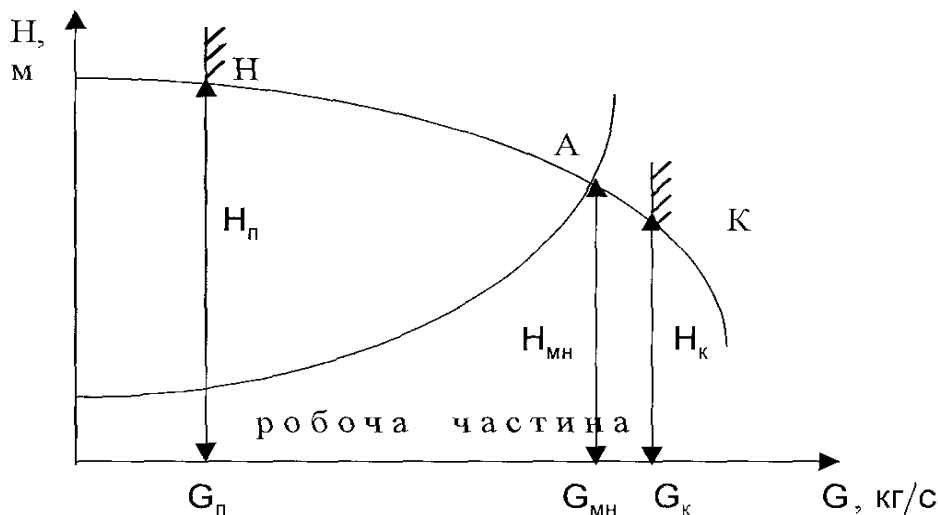
де $H_{\text{п}}$ - тиск мережного насосу на початку робочої частини графіка, м, [1];

$G_{\text{п}}$ - подача мережного насосу на початку робочої частини графіка, кг/с, [1];

$S_{\text{вн}}$ – внутрішній коефіцієнт гідравлічного опору, м/(кг/с)².

Внутрішній коефіцієнт гідравлічного опору насоса визначається за графіком робочої частини характеристики насоса, м/(кг/с)².

$$S_{\text{вн}} = \frac{H_{\text{п}} - H_{\text{к}}}{G_{\text{к}}^2 - G_{\text{п}}^2}$$



Мал. 2 -Характеристика роботи мережного насосу на систему теплопостачання

При паралельній роботі насосів будується їх сумарна характеристика методом складання подачі кожного з насосів при відповідних тисках.

Розподіл витрат води між споживачами починається з першого від станції та визначається за формулою, кг/с

$$G_j = \sqrt{\frac{(H_{\text{МН}} \cdot \rho \cdot g - S_o \cdot G^2) - \sum_{i=1}^{j-1} S_i \cdot \left(G - \sum_{j=1}^{j-1} G_j\right)^2}{S_{aj}}}$$

де i - номер ділянки магістралі однолінійного гідравлічного ланцюга, який забезпечує абонент j ;

j - номер абоненту від станції;

G – витрати води на вивідному колекторі станції, кг/с.

Треба мати на увазі, що при $i=1$ вводиться обмеження

$$\sum_{j=1}^{j=i-1} G_j = 0.$$

5. Обробка результатів експерименту

На підставі даних таблиці 1 за приведеною методикою визначаються коефіцієнти гідравлічних опорів елементів системи.

Використовуючи робочу частину [1] характеристики насосу 6 НДв маємо $H_n=57$ м; $H_k=47$ м; $G_k=100$ кг/с; $G_n=40$ кг/с.

Потім визначається коефіцієнт гідравлічного опору системи, подача мережного насосу, тиск мережного насосу и розподіл витрат води по споживачам.

6. Контрольні питання

1. Як перетворити двотрубну теплову мережу в однолінійний гідравлічний ланцюг?
2. Як визначити внутрішньостанційний коефіцієнт гідравлічного опору?
3. Як визначити коефіцієнт гідравлічного опору шайби?
4. Як визначити діаметр отвору обмежувальної шайби?
5. Як визначити коефіцієнт гідравлічного опору сопла елеватору?
6. Як визначити втрати тиску рідини в соплі елеватору?
7. З яких коефіцієнтів гідравлічних опорів складається контур циркуляції для абоненту?
8. Як складаються коефіцієнти гідравлічних опорів?
9. Чому коефіцієнт гідравлічного опору підвідної ділянки до кінцевого контуру дорівнює нулю ($S_3 = 0$)?
10. Як визначається внутрішній коефіцієнт гідравлічного опору насосу?
11. Як здійснюється складання характеристик паралельно-працюючих насосів?
12. Як побудувати характеристики насосу, мережі и за ними отримати робочу точку?

Література

Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник под ред. В.И.Манюк, Я.И.Каплинский и др. - М.: Стройиздат, 1988.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Асимптотичне еквівалентування закритої водяної теплової мережі в двополюсник

Радіальна розлагужена двотрубна гідравлічна мережа перетворюється на однолінійний гідравлічний ланцюг шляхом додавання відповідних коефіцієнтів гідравлічного опору ділянок подаючої та зворотної ліній мережі.

Витрати води від магістральної лінії на всіх побічних променах подаються сумарними. Таким перетворенням реальна дволінійна тепла мережа зводиться до гідравлічного однолінійного ланцюга.

У проектному розрахунку оптимальні діаметри трубопроводу ділянок магістральної мережі визначаються за формулою, м

$$d_i \leq 0,0296 G_{\text{ст}}^{0,099} G_i^{0,381}$$

де $G_{\text{ст}}$ - витрата води на вивідному колекторі станції, при $G_{\text{ст}} \geq 150$ кг/с;

G_i - витрата води на ділянці, кг/с.

Коефіцієнт гідравлічного опору ділянки теплової мережі визначається за формулою, Па/(кг/с)²

$$S_i^{\text{под}} = S_i^{\text{зв}} = \frac{0,08916 K_c^{0,25}}{\rho} (l_i + l_{\text{екв } i}) d_i^{-5,25},$$

де K_c - еквівалентна шорсткість стінки трубопроводу, м;

ρ - густина теплоносія, кг/м³;

l - довжина ділянки, м;

$l_{\text{екв}}$ - еквівалентна довжина місцевих опорів на ділянці, м

Приймає для водяних теплових мереж

$$K_c = 0,5 \times 10^{-3} \text{ м};$$

$$\rho = 975 \text{ кг/м}^3$$

отримаємо розрахункові формули для визначення коефіцієнту гідравлічного опору, Па/(кг/с)².

$$S_i = 13,67 \times 10^{-6} (l_i + l_{\text{екв } i}) d_i^{-5,25}$$

та еквівалентної довжини місцевих опорів, м

$$l_{\text{екв } i} = 60,8 d_i^{1,25} \sum_{j=1}^m \xi_j,$$

де ξ_j - коефіцієнт місцевого опору.

Витрати тиску на ділянці трубопроводу визначаються за формулою, Па

$$\Delta P_i = S_i G_i^2.$$

Коефіцієнт гідравлічного опору абонента визначається , в основному , опором сопла елеватора, Па/(кг/с)²

$$S_a \approx \left(\frac{0,18}{d_c} \right)^4 ,$$

де d_c - діаметр сопла елеватора , м .

Для мережі теплопостачання , яка експлуатується , коефіцієнт гідравлічного опору абонента визначається за результатами замірів витрати води на абонентському вводі та розташованого напору на вводі, Па/(кг/с)²

$$S_a = \frac{\Delta H_a^{\text{расп}} \rho G}{G_a^2} ,$$

де $\Delta H_a^{\text{расп}}$ - розташований напір води на абонентському вводі , м
 G_a - витрата води на абонентський ввід , кг/с .

Асимптотичне еквівалентування теплової мережі приблизно перетворює гідравлічний ланцюг від станції до абонентського вводу споживача з номером j в автономний однополюсник .

Таким чином , радіальний гідравлічний ланцюг перетворюється на автономні двополюсники , які виходять з станції до кожного споживача .

Втрата тиску на автономному двополюснику від станції до абонента j визначається за формулою , Па

$$\Delta P_j = S_{ej} G_o ,$$

де S_{ej} - еквівалентний коефіцієнт гідравлічного опору двополюсника від станції до споживача j , Па/(кг/с)² ;

G_o - витрата води на вивідному колекторі станції , кг/с .

Еквівалентний коефіцієнт гідравлічного опору від станції j визначається за формулою , Па/(кг/с)²

$$S_{ej} = S_o + \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \sum_{j=1}^{j=i} G_j)}{G_o \sum_{i=1}^n S_i} \right) \sum_{i=1}^{i=j} S_i ,$$

де S_o - коефіцієнт гідравлічного опору ділянки гідравлічної мережі від станції до першого розлагування , Па/(кг/с)²;

G_j - витрати води на абонент j , кг/с ;

S_i - коефіцієнт гідравлічного опору ділянки однолінійного ланцюга , Па/(кг/с)²;

j - номер абонента від станції;

i - номер ділянки магістралі однолінійного гідравлічного ланцюга

$$i = j - 1$$

n - кількість ділянок магістралі однолінійного гідравлічного ланцюга від станції до розглядаємого абонента j .

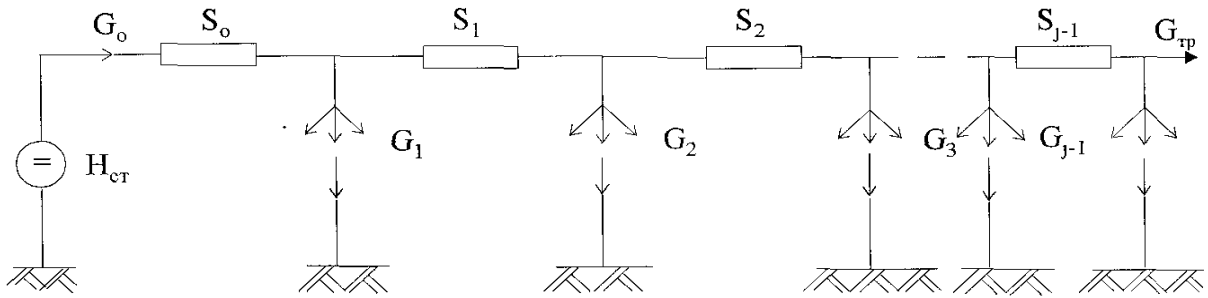
$$n = j - 1$$

Розташований напір рідини (різниця напорів прямої та зворотної ліній) на абонентських вводах визначається за формулою, м

$$\Delta H_{aj} = H_{ст} - S_{ej} G_o^2 / (\rho g).$$

Коефіцієнт гідравлічного опору абонентського вводу, Па/(кг/с)²

$$S_{aj} = \frac{\Delta H_{aj}^{расп}}{G_{aj}^2}$$



Мал. 1 . Однолінійний гідравлічний ланцюг двотрубної закритої теплової мережі

Для кінцевого абонента магістральної лінії мережі транзитна витрата води $G_{тр} = 0$ та інших - $G_{тр} > 0$.

Вихідні дані

Дволінійна тепла мережа, яка складається з 4 паралельно приєднаних до неї споживачів, має конструктивні характеристики ділянок .

$$d_0 = 0,259 \text{ м}; d_1 = 0,259 \text{ м}; d_2 = 0,207 \text{ м}; d_3 = 0,207 \text{ м};$$

$$l_0 = 243,5 \text{ м}; l_1 = 487 \text{ м}; l_2 = 1216 \text{ м}; l_3 = 1275 \text{ м};$$

$$\alpha_0 = 0,25; \alpha_1 = 0,25; \alpha_2 = 0,25; \alpha_3 = 0,25;$$

Витрата мережної води на виводному колекторі станції $G_0 = 50 \text{ кг/с}$.

Наявний тиск води на виводному колекторі станції $H_{ст} = 40 \text{ м}$.

Перетворити методом асимптотичного еквалентування гідравлічну мережу на систему автономних двополіусників та визначити на абонентських вводах наявні тиски води. Визначемо коефіцієнти гідравлічних опорів однолінійного ланцюга за формулою, $\text{Па}/(\text{кг/с})^2$:

$$S_i = [13,67 \times 10^{-6} d_i^{-5,25} l (1 + \alpha)] \times 2$$

$$S_0 = 10$$

$$S_1 = 20$$

$$S_2 = 50$$

$$S_3 = 170$$

$$\sum_{i=1}^{i=j-1} S_i = \begin{cases} j = 1 & \sum_{i=1}^0 S_i = 0 \\ j = 2 & \sum_{i=1}^1 S_i = 20 \\ j = 3 & \sum_{i=1}^2 S_i = 70 \\ j = 4 & \sum_{i=1}^3 S_i = 240 \end{cases}$$

Транзитна витрата води визначається за формулою , кг/с

$$G_{\text{тр}} = G_o - \sum_{j=1}^{j=4} G_j$$

$$G_{\text{тр}} = 50 - (16 + 7 + 2 + 6) = 19$$

Коефіцієнти гідравлічних опорів для мережі до абонентів j та розташовані напори на абонентських вводах визначаються за формулами

$$S_{ej} = S_o + \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \sum_{j=1}^{j=1} G_j)}{G_o \sum_{i=1}^{i=n} S_i} \right) \sum_{i=1}^{i=n} S_i$$

$$\Delta H_{aj}^{\text{расп}} = H_{\text{ст}} - S_{ej} G_o / (\rho g)$$

Абонент 1 **j=1 ; n = j - 1 = 0**

$$S_{e1} = S_0 = 10 \text{ Па}/(\text{кг/с})^2$$

$$\Delta H_{a1}^{\text{расп}} = 40 - 10 \times 50^2 / (975 \times 9,81) = 37,4 \text{ м}$$

Абонент 2 **j = 2 ; n = 1**

$$S_{e2} = 10 + 20 \left(1 + \frac{20 \times 16}{50 \times 20} \right)^2 = 19,248 \text{ Па}/(\text{кг/с})^2$$

$$\Delta H_{a2}^{расн} = 40 - \frac{19,248 \times 50^2}{975 \times 9,81} = 35,0 \text{ м}$$

Абонент 3 j = 3 ; n = 2

$$S_{e3} = 10 + 70 \left(1 - \frac{20 \times 16 + 50 \times 23}{50 \times 70} \right)^2 = 33.548 \text{ Па}/(\text{кг}/\text{с})^2$$

$$\Delta H_{a3} = 40 - \frac{33.548 \times 50^2}{975 \times 9.81} = 31.2 \text{ м}$$

Абонент 4 j = 4 ; n = 3

$$S_{e4} = 10 + 240 \left(1 - \frac{20 \times 16 + 50 \times 23 + 170 \times 25}{50 \times 240} \right)^2 = 75.73 \text{ Па}/(\text{кг}/\text{с})^2$$

$$\Delta H_{a4}^{расн} = 40 - \frac{75,73 \times 50^2}{975 \times 9,81} = 20,2 \text{ м}$$

Похибка асимптотичного перетворення гідравлічної мережі на систему автономних двополюсників від станції до кожного абонента не перевищує 1%.

Додаток А

Таблиця 1 - Вихідні дані для проведення випробувань

№ варіанту	H_a , м	$V_{\text{вуз1}}$, м ³ /с	$V_{\text{вуз2}}$, м ³ /с	$V_{\text{вуз3}}$, м ³ /с	$V_{\text{вуз4}}$, м ³ /с	H_b , м
1	120	0.20	0.15	0.20	0.25	100
2	100	0.20	0.15	0.20	0.25	120
3	100	0.20	0.15	0.20	0.25	110
4	105	0.20	0.15	0.20	0.25	100
5	110	0.20	0.15	0.20	0.25	105
6	120	0.25	0.15	0.25	0.15	100
7	100	0.25	0.15	0.25	0.15	120
8	100	0.25	0.15	0.25	0.15	110
9	105	0.25	0.15	0.25	0.15	100
10	110	0.25	0.25	0.25	0.15	105
11	120	0.15	0.25	0.20	0.15	100
12	100	0.15	0.25	0.20	0.15	120
13	100	0.15	0.25	0.20	0.15	110
14	105	0.15	0.25	0.20	0.15	100
15	110	0.15	0.20	0.20	0.15	105
16	120	0.25	0.20	0.20	0.15	100
17	100	0.25	0.20	0.20	0.15	120
18	100	0.25	0.20	0.20	0.15	110
19	105	0.25	0.20	0.20	0.15	100
20	110	0.25	0.20	0.20	0.15	105
21	120	0.25	0.20	0.15	0.15	100
22	100	0.25	0.20	0.15	0.15	120
23	100	0.25	0.20	0.15	0.20	110
24	105	0.25	0.20	0.15	0.20	100
25	110	0.25	0.20	0.15	0.20	105