

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ
У К Р З А Л І З Н И Ц Я
ІНСПЕКЦІЯ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЦЕ - 0002

ЗАТВЕРДЖЕНО:
наказом Укрзалізниці №
від _____ 2003р.

МЕТОДИКА

**ПРОВЕДЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОВИХ
МЕРЕЖ ТА ТЕПЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
ТЕПЛОВИХ ВТРАТ.**

КИЇВ-2003

ПЕРЕДМОВА

1. РОЗРОБЛЕНО Східно – Українським Інноваційним центром УкрДАЗТ.

2. ВНЕСЕНО Інспекцією з енергозбереження Укрзалізниці

3. ЗАТВЕРДЖЕНО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ

Наказом Укрзалізниці № від

4. ВПРОВАДЖУЄТЬСЯ вперше

5. РОЗРОБНИКИ к.т.н., доцент Г.М. Кустов (керівник теми), с.н.с.
департаменту енергозберігаючих технологій
Гречко О.Ю., м.н.с. Гречко О.В.

Цей нормативний документ не може бути повністю чи частково відтворений, тиражований і розповсюджений без дозволу Державної адміністрації залізничного транспорту України.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| 1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ..... | 4 |
| 2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ..... | 4 |
| 3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ..... | 4 |
| 4 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ..... | 5 |
| 5 ГІДРАВЛІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ | 6 |
| 5.1 Загальні положення | 6 |
| 5.2 Вибір ділянок, гідравлічних режимів та вимірювальних приладів..... | 6 |
| 5.3 Проведення випробувань | 9 |
| 5.4 Обробка результатів випробувань..... | 11 |
| 6 ТЕПЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ..... | 14 |
| 6.1 Загальні випробування..... | 14 |
| 6.2 Аналіз матеріалів по системі теплопостачання..... | 14 |
| 6.3 Вибір ділянок для випробувань..... | 15 |
| 6.4 Розрахунки параметрів випробувань..... | 18 |
| 6.5 Підготовка теплових мереж та обладнання до випробувань..... | 23 |
| 6.6 Підготовка вимірювальних приладів..... | 23 |
| 6.7 Проведення теплових випробувань..... | 24 |
| 6.8 Обробка даних, отриманих при випробуваннях..... | 26 |
| 6.9 Порівняння фактичних теплових втрат з нормативними | 28 |
| 7 НОРМУВАННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ..... | 30 |
| 8 ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ВОДЯНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ..... | 33 |
| 8.1 Вибір ділянок теплових мереж, які підлягають випробуванням..... | 33 |
| 8.2 Розрахунок параметрів випробувань..... | 35 |
| 8.3 Обробка даних, отриманих при випробуваннях..... | 38 |
| 9 ВТРАТИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВНАСЛІДОК ВІДСУТНОСТІ АБО ПОШКОДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ..... | 41 |
| 9.1 Втрати тепла для неізольованих трубопроводів..... | 41 |
| 9.2 Визначення втрат теплової енергії для плоских поверхонь..... | 41 |
| 9.3 Визначення втрат тепла через неізольовані вентиля, засувки, компенсатори..... | 42 |
| 9.4 Втрати тепла неізольованими теплопроводами надземної прокладки | 44 |
| 10 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТА ВИПРОБУВАННЯХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ..... | 48 |
| 10.1 Основні положення..... | 48 |
| 10.2 Техніка безпеки при експлуатації теплових мереж та теплових пунктів..... | 48 |
| 11 СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ ДЕЯКИМИ ОДИНИЦЯМИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН СИСТЕМИ МКГСС ТА ОДИНИЦЯМИ СИ..... | 50 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... | 51 |

1 ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

Ця методика призначена для визначення фактичних значень коефіцієнту тертя і еквівалентної шорсткості при гідравлічних випробуваннях, які необхідно проводити для регулювання теплових мереж, з метою зниження витрат мережної води та уникнення перевитрат електроенергії на транспортування теплоносія.

Визначення фактичних теплових втрат крізь теплову ізоляцію, згідно Правил технічної експлуатації теплових мереж і теплових пунктів, необхідно проводити один раз на 5 років у зв'язку з реконструкцією теплових мереж, зміною теплотехнічних характеристик ізоляції теплових мереж за час їх експлуатацією.

Вимоги цієї методики є обов'язковими для виконання керівниками й інженерно-технічними працівниками, зайнятими експлуатацією та ремонтом теплових мереж на підприємствах.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цій методиці використовуються посилання на такі нормативні документи:

1. СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
2. СН 542-81 Инструкция по проектированию тепловой изоляции оборудования и трубопроводов промышленных предприятий.
3. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей. Стройиздат, 1982г.
4. Методика визначення неефективного використання паливно - енергетичних ресурсів, Наказ Держкоменергозбереження, № 123 від 27.11.01р.
5. Правила технической эксплуатации тепловых сетей и тепловых пунктов. Москва Стройиздат, 1973г.
6. Правила измерений расхода жидкостей, газов стандартными диафрагмами и соплами. Стандартгиз, 1964г.
7. СНиП 11-36 – 73 Тепловые сети. Нормы проектирования.
8. Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей. Стройиздат. 1965г.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. Утверждены Минэнерго 5.11.1983г.
10. ДНАОП 0.00 - 1.08 – 94. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Мережний насос – пристрій, який забезпечує циркуляцію теплоносія у теплових мережах, та необхідний напір перед тепловим пунктом.

Підживлюючий насос - пристрій, який забезпечує підживлення водою теплових мереж, внаслідок втрат її через нещільності у трубопроводах та забезпечує необхідний тиск у теплових мережах.

Термометр – засіб вимірювальної техніки, призначений для визначення температури теплоносія.

Дифманометр – засіб вимірювальної техніки, призначений для вимірювання перепаду тиску у теплових мережах.

Витратомір – засіб вимірювальної техніки, призначений для вимірювання об'ємних витрат рідини.

Вимірювач витрат теплоти – пристрій, призначений для контролю та обліку кількості теплоти у замкнутих системах теплопостачання, в яких використовується в якості теплоносія вода.

Гідравлічні випробування – це випробування теплових мереж для визначення фактичних значень коефіцієнта тертя та еквівалентної шорсткості які використовуються при проведенні розрахунків гідравлічних опорів трубопроводів.

Теплові випробування – це випробування для визначення фактичних втрат тепла у водяних теплових мережах, для порівнянням їх з нормативними значеннями.

4 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ

Цією методикою встановлюються правила, згідно яких проводяться випробування теплових мереж для визначення фактичних теплових втрат тепла крізь теплову ізоляцію, яка втратила свої властивості у процесі експлуатації та визначення фактичних значень коефіцієнта тертя та шорсткості, які необхідні при проведенні гідравлічних розрахунків.

Якщо фактичні втрати тепла крізь теплову ізоляцію перевищують встановлені нормативні значення, то підприємством повинні бути розроблені організаційно-технічні заходи щодо зниження втрат тепла у навколишнє середовище та встановлені терміни їх виконання.

По визначеним фактичним значенням коефіцієнта тертя та шорсткості проводять гідравлічні розрахунки теплових мереж та визначають місця засмічення трубопроводів, несправності запірної - регулюючої арматури.

5 ГІДРАВЛІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ

5.1 Загальні положення

Гідравлічними випробуваннями теплових мереж визначають фактичні значення коефіцієнту тертя і еквівалентної шорсткості для використання їх при визначенні гідравлічного опору теплових мереж.

Крім того, визначають гідравлічний опір водонагрівальної установки та її мереж і уточнюють фактичні характеристики мережних та підживлюючих насосів. Випробування теплових мереж, водопідігрівальної установки, мережних та підживлюючих насосів зводяться до одночасного вимірювання витрат води, тиску та температури мережної води.

Витрати води при випробуваннях визначають нормальними вимірювальними діафрагмами з гострою окрайкою (розраховану та виготовлену у відповідності з “Правилами измерений расхода жидкостей, газов стандартными диафрагмами и соплами”, і підключеними до них дифманометрами або переносними ультразвуковими витратомірами.

Температуру теплоносія визначають технічними термометрами з ціною поділки шкали 0,5 - 1°C .

Тиск при випробуваннях теплових мереж і водопідігрівальних установок визначають зразковими та контрольними манометрами. При випробуваннях насосних установок використовують технічні манометри.

Засоби вимірювальної техніки, які використовуються при випробуваннях теплових мереж та насосних установок повинні мати відповідні тавра про калібрування або свідоцтва про повірку.

5.2 Вибір ділянок, гідравлічних режимів та вимірювальних приладів для випробувань

Гідравлічні випробування проводять на магістральних та розгалужених мережах тих ділянок, де ймовірно незадовільне становище з внутрішніми поверхнями труб, в залежності від: часу будівництва та включення до експлуатації ділянок теплових мереж; якості підживлюючої води з урахуванням поодиноких випадків підживлювання теплових мереж непом'якшеною та забрудненою водою; врахування випадків знаходження теплових мереж без води; засобів та термінів періодичної промивки.

При визначенні ділянок необхідно враховувати відомості про місця із завищеними гідравлічними втратами та інтенсивністю корозії.

Визначені для випробування ділянки обстежують на місцях, уточнюють їх довжину та діаметри, місцевий опір (компенсатори, засувки, повороти), місця підключень відгалужених ділянок та їх діаметри. Результати обстежень наносять на схему ділянки, що випробовується.

На схемі визначають місця встановлення циркуляційної перемички та манометрів.

Перемички, як правило, встановлюють на кінцях ділянок, що випробовуються. В тих випадках, коли діаметр теплових мереж на ділянці яка випробується, значно зменшується по довжині ділянки, то додатково встановлюють перемичку в середині ділянки, аби при випробуванні можливо було забезпечити у головній частині ділянки великі швидкості води, як це показано на рисунку 1.

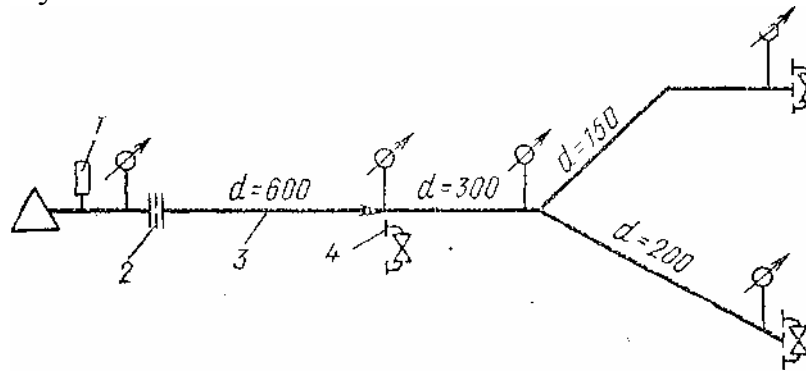


Рисунок 1 - Схема розташування перемичок та контрольно-вимірювальних приладів для проведення гідравлічних випробувань

(1 - місце встановлення манометрів та термометрів; 2 - вимірювальна діафрагма; 3- подавальний та зворотній трубопроводи теплової мережі яка випробовується; 4 - циркуляційна перемичка)

Діаметр кінцевої перемички орієнтовно приймають на калібр менше діаметра трубопроводу у місці її врізання. Проміжні перемички розраховують не на повні витрати води, які будуть при випробуваннях, а лише на частину її, так як при випробуваннях вода буде циркулювати як через проміжні перемички, так і через кінцеві. На кожній перемичці встановлюють засувку однакового з нею діаметра.

Манометри встановлюють на подавальному та зворотному трубопроводах у наступних характерних точках теплової мережі, що випробовується:

- у місцях зміни внутрішнього діаметру трубопроводу;
- у місцях зміни об'єму циркулюючої води;
- у місцях встановлення циркуляційних перемичок;
- на трубопроводах незмінного діаметру, але великої довжини – через кожні 100 – 200 м траси.

У джерелі теплопостачання манометри встановлюють:

- на подавальному та зворотному колекторах теплової мережі;
- на вході та виході з кожної теплоприготувальної установки (водогрійного котла, підігрівача);
- на виході та вході мережних насосів.

Місця встановлення манометрів наносять на схему теплової мережі.

Для визначення витрат води під час випробувань вимірювальні прилади встановлюють:

на подавальному або зворотному трубопроводі теплової мережі на виході з джерела теплопостачання;

- на трубопроводі підживлення теплової мережі;
- на подавальному або на зворотному трубопроводі відгалужених ділянок, які будуть випробовуватися разом з основною магістраллю.

Можливість використання існуючих вимірювальних діафрагм, очікувані витрати циркуляційної води під час випробувань, правильність вибору місць встановлення перемичок та їх діаметрів, а також необхідні для вимірювання манометри встановлюють по результатах орієнтовного гідравлічного розрахунку. При цьому задаються еквівалентною шорсткістю трубопроводів (виходячи з вказаних вище даних експлуатації теплових мереж) та витратами води, щоб питомі втрати напора були не менше 15 мм на 1 метр.

Отриману по розрахунках величину втрат напора у теплових мережах та у перемичці порівнюють з напором мережних насосів при заданій циркуляції. Якщо ці втрати наближені за своїми значенням, то це свідчить про те, що діаметр перемички та витрати мережної води вибрані вірно. В протилежному випадку - необхідно провести повторно гідравлічні розрахунки, прийнявши інші витрати циркуляційної води та інший діаметр перемички. Для збільшення циркуляції води підключають найбільших споживачів, розташованих за останньою точкою вимірювання тиску по частині теплової мережі яка випробовується, а з елеваторів цих споживачів знімають сопла.

Можливість використання існуючих діафрагм для визначення максимальних або мінімальних витрат води, намічених при режимах випробування, перевіряються розрахунком по формулі

$$G = A \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{h}{\gamma}}, \quad (1)$$

де G – витрати води, м³/год;

A – коефіцієнт, який залежить від типу заповнювача, використаного в диференціальному манометрі, для дифманометрів, заповнених ртуттю, над якою знаходиться вода, $A = 0,04435$;

α – коефіцієнт витрат, визначений по графіку (рисунок 2) в залежності від величини

$$m = \frac{(d)^2}{D}, \quad (2)$$

де D – внутрішній діаметр трубопроводу;

d – діаметр отвору вимірювальної діафрагми, мм;

h – різниця висоти стовпчика рідини у диференціальному манометрі, мм;

γ – густина циркуляційної води, кгс/см³.

Вимірювальна діафрагма може бути використана для випробувань, якщо перепад тиску у дифманометрі, підключеному до діафрагми, буде знаходитись у межах 50 – 600 мм. Якщо існуюча діафрагма не задовольняє умовам мінімальних витрат води, треба проаналізувати можливість, не змінюючи діафрагми на малих

витратах води, використати у якості робочого середовища у дифманометрі не ртуть, а будь яку іншу рідину з меншою густиною. Якщо існуючу діафрагму по умовах перепаду тиску при режимах випробування використати неможливо, вона повинна бути замінена на іншу, розраховану по формулі, (1).

Манометри для випробувань вибирають для кожної ділянки окремо, виходячи з того, щоб вимірювальний тиск не перевищував 2/3 діапазону показань. Очікуваний тиск приймають по результатах попереднього гідравлічного розрахунку з урахуванням профілю теплової мережі та розрахункових показників манометрів при статичному режимі.

5.3 Проведення випробувань

Випробування починають з визначення геодезичних позначок спостереження відносно нульової точки, за яку, як правило, приймають рівень манометра, встановленого на вихідному колекторі джерела тепла, або саму низьку точку теплової мережі. Геодезичні позначки визначають методом одночасного зняття показань манометрів при статичному режимі (мережні насоси не працюють) та при підтриманні заданого тиску у зворотному колекторі за допомогою підживлюючих насосів. Позначки визначають для двох режимів, які відрізняються на 0,5 – 1,0 кгс /см².

При статичному режимі повинно бути знято не менше 10 показань манометрів з інтервалом 5 хвилин. Засувки у джерелі тепла на теплових мережах, які випробовуються та на циркуляційній перемичці при статичному режимі повинні бути відкриті.

По даним статичного випробування, геодезичну поправку визначають по формулі

$$h_r = \frac{(p_o - p_m) \cdot 10^4}{\gamma}, \quad (3)$$

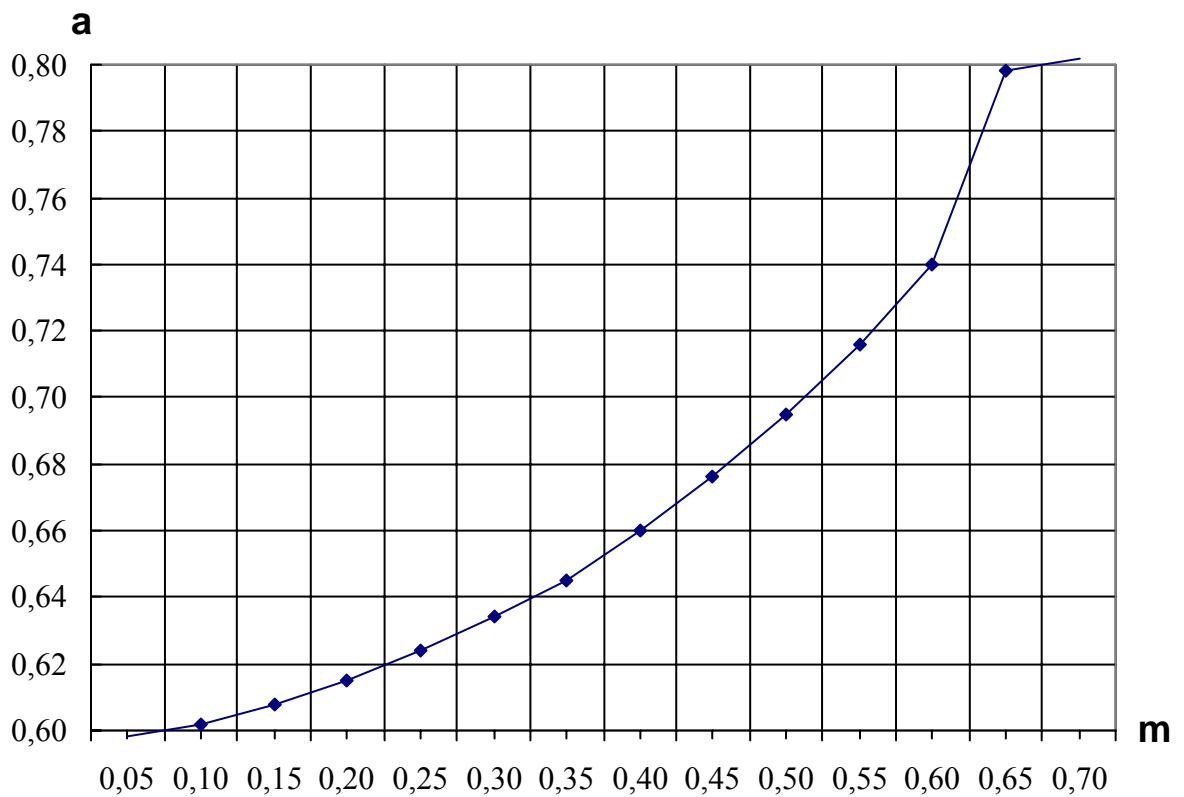
де p_o, p_m - манометричний тиск при статичному режимі відповідно у нульовій та даній точках, кгс / см²;

γ – густина води, відповідно до її температури під час випробувань, кгс/см³.

На результати вимірювань значно впливають витоки води, тому при випробуваннях необхідно приділяти увагу кількості підживлюючої води, щоб вона при статичному режимі була близькою до нуля, а при роботі мережних насосів не перевищувала 1% від кількості води, що циркулює у теплових мережах. При більших витоках води випробування повинні бути припинені до усунення витоків.

Перед початком основних випробувань проводять попередні випробування при роботі мережних насосів зі зняттям показань усіх встановлених приладів, під час яких перевіряють достатність втрат напору на ділянках (питомі втрати напору повинні бути не менше 15мм на 1 м), роботу дифманометра та манометрів.

Якщо попередні випробування покажуть, що при прийнятому режимі питомі втрати недостатні, необхідно прийняти заходи до збільшення витрат води у тепловій мережі за допомогою підключення додаткових споживачів або перемичок, збільшення напору на виході з джерела тепла.



| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| m | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,65 | 0,7 |
| a | 0,598 | 0,602 | 0,608 | 0,615 | 0,624 | 0,634 | 0,645 | 0,66 | 0,676 | 0,695 | 0,716 | 0,74 | 0,798 | 0,802 |

Рисунок 2 - Графік для визначення витрат рідини нормальних гострих діафрагм

Основні гідравлічні випробування проводять при максимально можливих витратах води та при витратах 70-80 % від максимальних. Випробування при максимальних витратах води дозволяють отримати надійні результати за рахунок найбільших втрат тиску. Випробування з частковими витратами води проводять для перевірки втрат тиску, отриманих при максимальних витратах води. При кожному режимі випробувань повинно бути знято не менше 15 показань з інтервалом в 5 хвилин.

Відповідність результатів випробувань при максимальних витратах води результатам, отриманим при понижених витратах перевіряють по квадратичній залежності

$$\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} = \frac{(G_1)^2}{G_2^2}, \quad (4)$$

де ΔH_1 та ΔH_2 - втрати напору на ділянках відповідно при максимальних та мінімальних витратах мережної води, м;
 G_1 та G_2 - відповідно максимальні та мінімальні витрати води при випробуваннях, м³/год.

Мережні та підживлюючі насоси випробовують при витратах води, які змінюються від нуля до максимально можливих витрат води, та від максимально можливих витрат до нуля. Продуктивність насосу змінюють за допомогою засувки на виході із насосу. При випробуваннях вимірюють витрати мережної (підживлючої) води, тиск на вході та виході із насосу та потужність, що розвивається електродвигуном на різних режимах. При зміні витрат мережної води від нуля до максимуму роблять не менше як п'ять вимірювань по усіх приладах одночасно та стільки ж при витратах від максимуму до нуля.

Гідравлічний опір обладнання мережній воді у джерелі тепла визначають від зворотного до подавального колектора теплової мережі. Випробування проводять при різних схемах підключення обладнання, що відповідають умовам їх експлуатації при обох режимах роботи мережних насосів та одному статичному. На кожному режимі проводять не менше п'яти вимірювань. Кожний підігрівач (водогрійний котел, бойлер) випробовують окремо. При випробуваннях вимірюють витрати води через підігрівач, що випробовується та тиск води на вході та виході з підігрівача. Підігрівачі, які не використовують під час випробувань, необхідно надійно відключити.

5.4 Обробка результатів випробувань

Для розрахунків використовують показання приладів, що були зафіксовані при максимальних витратах води, які є більш надійними. Показники приладів опрацьовують наступним чином. Вибирають 10 показань приладів, послідовних по часу та які відповідають стабільному режиму. Середньоарифметичне значення вибраних показників приймають за основу наступних розрахунків. До усереднених показників манометра додають поправку відповідно до паспорту держперевірки, а потім градусні показники манометра переводять в кгс/см². По значеннях тиску, з урахуванням поправок на похибку та розташування манометра, визначених по формулі (3) розраховують напори на початку та в кінці кожної ділянки

$$H_{\text{поч.}} = \frac{P_{\text{поч.}} \cdot 10^4}{\gamma} + h_{\text{поч.}}, \quad (5)$$

$$H_{\text{к.}} = \frac{P_{\text{к.}} \cdot 10^4}{\gamma} + h_{\text{к.}}, \quad (6)$$

де $P_{\text{поч}}$ та $P_{\text{к}}$ – тиск, з урахуванням похибки манометра, у трубопроводі відповідно на початку та в кінці ділянки, що випробовується кгс/см²;
 $h_{\text{поч}}$ та $h_{\text{к}}$ – геодезичні поправки на розташування манометрів на початку та в кінці ділянки, що випробовується, м;
 γ – густина води при випробуваннях, кгс/см³.

По величині різниці напорів на початку та у кінці ділянки визначається величина загальної втрати напору на ділянці

$$\Delta H = H_{\text{поч}} - H_{\text{к}}, \quad (7)$$

Для ділянок, на яких встановлені вимірювальні діафрагми, втрати напору у діафрагмі необхідно вилучити з визначеної по формулі (7) загальної втрати напору на ділянці. З достатньою точністю втрата напору у діафрагмі визначається по формулі

$$\Delta h = \frac{h \cdot \left(1 - \frac{d^2}{D_6^2}\right) \cdot 12.6}{1000}, \quad (8)$$

де h – перепад тиску по дифманометру, мм.рт.ст.;
 d – діаметр вимірювального отвору вимірювальної діафрагми, мм.;
 D_6 – внутрішній діаметр трубопроводу в місці установки діафрагми, мм;
 12,6 – коефіцієнт переводу, мм.рт.ст. у мм.вод.ст.

Потім визначають втрати напору (м) у місцевих опорах кожної ділянки

$$\Delta H_M = \sum \xi \frac{G^2}{1.53 \cdot 10^8 \cdot D_B^4}, \quad (9)$$

де $\sum \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;
 G – витрати води, м³/год;
 D_6 – внутрішній діаметр труби, м.

Далі визначаються лінійні (на тертя) втрати напору

$$\Delta H_{\text{л}} = \Delta H - \Delta H_M, \quad (10)$$

Питомі лінійні втрати напору на ділянці розраховуються по формулі

$$R = \frac{\Delta H_{\text{л}}}{L}, \quad (11)$$

де L – довжина ділянки, м

Коефіцієнт тертя визначається за формулою

$$\lambda = \frac{R \cdot D_B^5}{G^2} \cdot 1.57 \cdot 10^8, \quad (12)$$

Еквівалентну шорсткість (K , мм) визначають із співвідношення

$$\frac{\lg r}{K} = 0.5 \cdot \sqrt{\frac{1}{\lambda}} - 0.87, \quad (13)$$

де r – внутрішній радіус трубопроводу, мм

Рисунок 3 - Графік напору у тепловій мережі

1 - умовний профіль теплової мережі; 2 - лінія напорів у подавальній лінії; 3 - лінія напорів у зворотній лінії; 4 - втрати напору у подавальній лінії; 5 - втрати напору у зворотній лінії; 6 - втрати напору у перемичках; 7 - втрати напору у діафрагмі.

Для аналізу результатів випробувань необхідно побудувати графік напорів у тепловій мережі при випробуваннях (рисунок 3). Збільшені питомі втрати напору на окремих ділянках свідчать про те, що існують місцеві забруднення трубопроводу, несправності запірної арматури, наявність внутрішніх напливів у зварювальних з'єднаннях. Фактичні значення коефіцієнта λ використовують при розробці гідравлічного режиму теплової мережі для визначення поправочного коефіцієнта β до гідравлічних втрат у трубопроводах.

6. Теплові випробування

6.1 Загальні положення

Теплові випробування проводяться з метою визначення фактичних втрат тепла у водяних теплових мережах. При цьому виконується перерахунок втрат тепла при різних режимах експлуатації та порівняння їх з нормативними значеннями. Фактичні теплові втрати визначають один раз на п'ять років у зв'язку з розбудовою та реконструкцією теплових мереж, зміною теплотехнічних показників теплової ізоляції теплових мереж у процесі її експлуатації, заміною ізоляції на окремих ділянках.

Теплові випробування водяних теплових мереж проводять безпосередньо після закінчення опалювального сезону. Перед початком випробувань відновлюють пошкоджену теплову ізоляцію, висушують камери теплових мереж, приводять у порядок дренажі, організовують стік поверхневих вод з теплової мережі.

Для визначення теплових втрат у теплових мережах виконують наступні роботи:

- аналізують матеріали по системі теплопостачання;
- визначають ділянки для проведення випробувань;
- розраховують параметри випробувань;
- підготовлюють теплові мережі, обладнання та вимірювальні прилади для проведення випробувань;
- проводять теплові випробування;
- виконують обробку даних, отриманих при випробуваннях;
- порівнюють значення фактично отриманих втрат при випробуванні з нормативними;
- розробляють заходи по нормуванню експлуатаційних втрат або заміні теплової ізоляції.

6.2 Аналіз матеріалів по системі теплопостачання

Підготовку до проведення випробувань починають з візуальної перевірки стану та детального аналізу схеми теплових мереж, обладнання

теплоприготувальної установки, типу прокладки теплових мереж, конструкції теплової ізоляції, її технічного стану на окремих ділянках.

У процесі підготовки дані по характеристиці теплової мережі зводяться в таблицю у якій вказується діаметр та довжина труб по ділянках, конструкція теплової ізоляції та тип її прокладки (підземна безканална, у непрохідних каналах, надземна, внутрішня). Зразок таблиці наведений нижче у прикладі розрахунку теплових втрат водяних теплових мереж.

Для перерахунку отриманих при випробуваннях результатів на різні експлуатаційні режими роботи теплових мереж і для визначення температурних параметрів випробувань використовують: кліматологічні дані для того населеного пункту, у якому розташовані теплові мережі, що випробовуються; середньорічні температури ґрунту t_{gp} на середньому рівні осі теплопроводу при підземній прокладці та зовнішнього повітря $t_{ноє}$ при надземній прокладці за межами приміщень; середньомісячні температури ґрунту t_{gp}^{cp-m} на середньому рівні осі теплопроводів при підземній прокладці та зовнішнього повітря $t_{ноє}^{cp-m}$ по кожному місяцю окремо. Ці дані приймають як багатолітні по матеріалах метеостанції даного населеного пункту або використовують дані довідника по клімату.

Середньомісячні температури води у подавальній та зворотній лініях двотрубних водяних теплових мереж визначають за графіками температур води у цих лініях відповідно до середньомісячних температур зовнішнього середовища. Середньорічні температури води у подавальній та зворотній лініях теплових мереж визначаються як середньоарифметичне з середньомісячних температур у відповідних лініях за весь період роботи теплових мереж за рік.

6.3 Вибір ділянок для випробувань

Випробування, як правило, проводять на тих ділянках теплових мереж, де тип прокладки та конструкція теплової ізоляції однакова для найбільшої довжини теплової мережі. Визначення теплових втрат двотрубних теплових мереж проводять за допомогою колової циркуляції, до складу якої входять подавальний та зворотній трубопроводи з перемичками між ними на початку та на кінці кола циркуляції. Ділянка на початку циркуляційного кола має трубопроводи та обладнання для теплоприготування (рисунки 4). Циркуляційне коло складається з послідовно з'єднаних ділянок, що відрізняються одна від одної типом прокладки та конструкцією теплової ізоляції, а іноді і діаметром трубопроводів. Рекомендується проводити випробування циркуляційного кола, до складу якого входить основна магістраль теплової мережі з найбільшими діаметрами та максимальною довжиною від джерела тепла. При цьому, всі відгалужені дільниці та споживачі на цьому циркуляційному колі під час проведення випробувань від'єднуються від нього. (Проведення одночасно випробувань і відгалужених дільниць циркуляційного кола потребує застосування спеціальної методики). Завдяки цьому, кількість циркуляційної води на всіх ділянках під час

випробування однакова і може мати розбіжності тільки із-за незначного витоку води з циркуляційного кола, який компенсується підживленням.

Зниження температури води під час її руху по колу, обумовлюється тільки за рахунок теплових втрат трубопроводів та запірної арматури в навколишнє середовище. Величину цих теплових втрат підраховують, виходячи із зафіксованого часу випробувань, витрат води та зниження її температури на окремих ділянках кола. При такому режимі роботи, на відміну від нормальної експлуатації двотрубних теплових мереж, температура води у зворотній лінії ділянки, що випробовується, незначно нижче температури подавального трубопроводу відповідної ділянки, так як зниження температури обумовлено тільки тепловими втратами відповідної ділянки теплової мережі.

Типи прокладок та конструкцію теплової ізоляції для випробувань, визначають із результату відношення $\frac{M}{M_c}$

де $M = \sum(d_n \cdot L)$ – характеристика подавальної або зворотної лінії теплових мереж, складена по всіх ділянках з даним типом прокладки та конструкції ізоляції, м²;

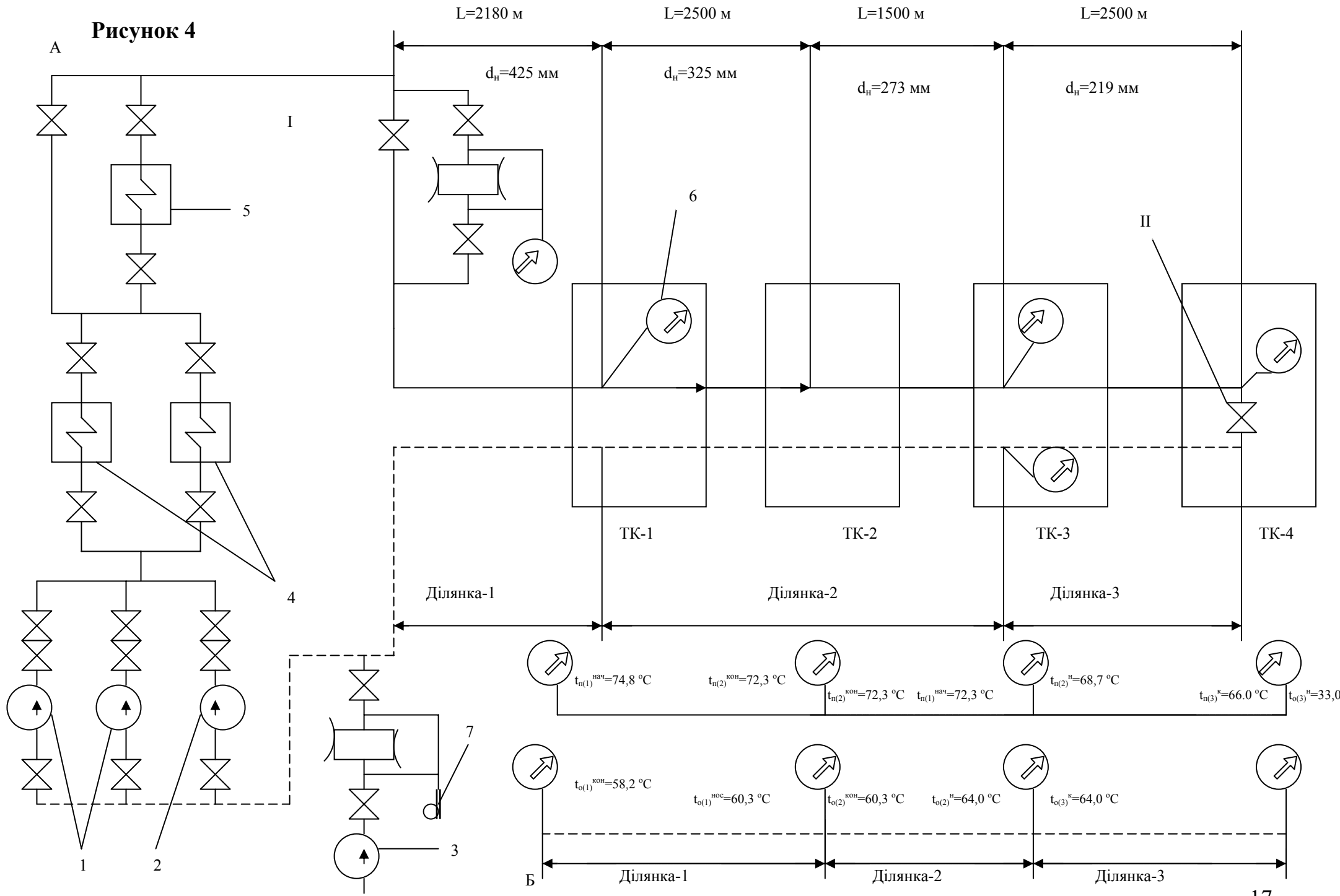
$M_c = \sum(d_n \cdot L)$ – характеристика для подавальної або зворотної лінії теплових мереж, складеної по всіх ділянках, теплової мережі, що випробовуються, в цілому, м²;

d_n – зовнішній діаметр труб в межах однієї ділянки (по подавальній або зворотній лініях при рівних діаметрах труб по цих лініях), м;

L – довжина ділянки з даним типом прокладки та конструкцією ізоляції, м.

При відношенні $\frac{M}{M_c} < 0,15$ дані типи прокладки та конструкції теплової ізоляції, як правило, випробуванням не підлягають, а експлуатаційні втрати тепла для них визначають, виходячи з нормативних даних. При відношенні $\frac{M}{M_c} \geq 0,15$ відповідні типи прокладки та конструкції ізоляції, як правило, підлягають випробуванням.

Рисунок 4



6.4 Розрахунки параметрів випробувань

Основні параметри випробувань визначають розрахунковим методом. Цими параметрами є: температура води у подавальній лінії на виході з теплоприготувальної установки та об'єм витраченої води на початку ділянки циркуляційного кола, що випробовується. Крім цього, визначають очікувані під час випробування значення: температури води у зворотному трубопроводі теплових мереж на вході у теплоприготувальну установку, об'єм витраченої підживлюючої води та орієнтовну тривалість випробувань.

Температурний режим циркуляційного кола під час випробувань задається виходячи з наступних вимог:

- різниця між середньою температурою води по всіх ділянках циркуляційного кола та температурою навколишнього середовища повинна бути, по можливості, близькою до середньорічного значення різниці температур води у подавальній та зворотній лініях та температури навколишнього середовища для даних теплових мереж;

- зниження температури води у циркуляційному колі за рахунок теплових втрат Δt_i при випробуваннях повинно дорівнювати $8 - 20$ °С.

У випадку коли на колі, що випробовується, встановлені різні типи прокладок та різна конструкція теплової ізоляції, величину зниження температури води у колі вибирають в залежності від величини, розрахованої по формулі

$$\Delta t_i = \frac{\Delta t_{\min.}}{\frac{M_{\min.}}{M_{\text{к.п.}} + M_{\text{к.зв.}}}}, \quad (14)$$

де $\Delta t_{\min.}$ – мінімально допустиме зниження температури води в подавальній чи зворотній лінії на ділянці з найменшою матеріальною характеристикою $M_{\min.}$ приймається рівним 2 °С для забезпечення належної точності вимірювання температури;

$\left(\frac{M_{\min.}}{M_{\text{к.п.}} + M_{\text{к.зв.}}} \right)$ найменша, у межах кола, величина відношення матеріальної характеристики для подавальної або зворотної лінії окремої ділянки кола, що випробовується, $M_{\min.}$ до загальної матеріальної характеристики подавальної $M_{\text{к.п.}}$ та зворотної $M_{\text{к.зв.}}$ лінії всього кола у цілому.

При величині відношення $\frac{M_{\min.}}{M_{\text{к.п.}} + M_{\text{к.зв.}}} < 0,1$ теплові втрати на відповідних ділянках кола, що випробовується, як правило, окремо не вимірюють.

Температура води в подавальному $t_{\text{н.вип.}}$ та зворотному $t_{\text{зв.вип.}}$ трубопроводах кола, що випробовується, на виході з теплоприготувальної установки та на вході до неї визначають за формулами

$$t_{n.вип.} = \frac{t_n^{cp.p.} + t_{зв.}^{cp.p.}}{2} + \frac{\Delta t_{вип.}}{2} + t_{нав.сер.вип.} - t_{нав.с}^{сер.рiчн.}, \quad (15)$$

$$t_{зв.вип.} = t_{н.вип.} - \Delta t_{вип.} = \frac{t_n^{cp.p.} + t_{зв.}^{cp.p.}}{2} - \frac{\Delta t_{вип.}}{2} + t_{нав.сер.вип.} - t_{нав.с}^{сер.рiчн.}, \quad (16)$$

де $t_n^{cp.p.}$ та $t_{зв.}^{cp.p.}$ середньорічні температури води у подавальній та зворотній лініях для теплових мереж, що випробовуються, °С;
 $t_{нав.сер.вип.}$ – очікуєма середня по всіх ділянках кола температура навколишнього середовища під час випробувань, °С;
 $t_{нав.с}^{сер.рiчн.}$ – середня, по тих же ділянках, середньорічна температура навколишнього середовища, °С.

При наявності у межах кола, що випробовується, ділянок з підземною та надземною прокладкою (у даному випадку до надземної прокладки треба відносити і прокладку в межах приміщень, для яких використовують формули для надземної прокладки). При цьому середньорічні та середньомісячні температури навколишнього середовища, та температури під час випробування для дільниць, прокладених у приміщеннях, треба приймати по даних відповідних вимірювань, а у випадку їх відсутності – у відповідності з нормативними документами відносно температур повітря у приміщеннях, що не опалюються), усереднені температури навколишнього середовища $t_{нав.вип.}$ та $t_{нав}^{сер.рiчн.}$ визначають відповідно за формулами

$$t_{нав.вип.} = \frac{t_{гр.вип.}^{сер.міс.} \cdot M_{підз.} + t_{нав.пов.}^{сер.міс.} \cdot M_{надз.}}{M_{к}}, \quad (17)$$

$$t_{нав.сер.}^{сер.рiчн.} = \frac{t_{гр.}^{сер.рiчн.} \cdot M_{підз.} + t_{нав.}^{сер.рiчн.} \cdot M_{надз.}}{M_{к}}, \quad (18)$$

де $t_{гр.вип.}^{сер.міс.}$ та $t_{нав.вип.}^{сер.міс.}$ - відповідно середньомісячні температури ґрунту на середньому рівні осі теплових мереж та зовнішнього повітря під час проведення випробувань, °С;
 $t_{гр.}^{сер.рiчн.}$ та $t_{нав.}^{сер.рiчн.}$ - відповідно середньорічні температури ґрунту та навколишнього середовища, °С;
 $M_{підз.}$ та $M_{надз.}$ - матеріальні характеристики для подавального та зворотного трубопроводів по всіх ділянках відповідно підземної та надземної прокладки, розташованих у межах циркуляційного кола, що випробовується м² ;

M_k – сумарна матеріальна характеристика для подавального та зворотного трубопроводів по всіх ділянках кола, що випробовується м².

Розрахункова кількість води ($Q_{вип.}$, ккал/год), що циркулює по колу що випробовується, приймається, виходячи з орієнтовного значення теплових втрат цього кола під час випробувань $Q_{вип.}$, які визначають за формулою

$$Q_{вип.} = \sum (q_{под.н.}^1 + q_{звор.н.}^1) \cdot \beta \cdot I, \quad (19)$$

де $q_{под.н.}^1$ та $q_{звор.н.}^1$ – нормативні значення питомих теплових втрат двотрубних водяних теплових мереж відповідно по подавальному та зворотному трубопроводах для кожного діаметру труб та типу прокладки, (ккал/м · год).

Значення питомих теплових втрат, виходячи з діючих норм, наведених у посібнику “Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей“ вказані для надземної в (таблиці 1) та підземної в (таблиці 2) прокладки відповідно до температурного режиму, що підтримувався під час випробувань по циркуляційному колу.

Таблиця 1 - Норми втрат тепла ($q_{под.н.}$ або $q_{зв.н.}$) одним ізольованим водяним теплопроводом при надземній прокладці з розрахунковою середньорічною температурою навколишнього середовища + 5 °С, (ккал/м·год)

| Зовнішній діаметр трубопроводу d_n , мм | Середньорічна температура води, °С | | | |
|--|------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 50 | 75 | 100 | 125 |
| 32 | 15 | 23 | 31 | 38 |
| 48 | 18 | 27 | 36 | 45 |
| 57 | 21 | 30 | 40 | 49 |
| 76 | 25 | 35 | 45 | 55 |
| 89 | 28 | 38 | 50 | 60 |
| 108 | 31 | 43 | 55 | 67 |
| 133 | 35 | 48 | 60 | 74 |
| 159 | 38 | 50 | 65 | 80 |
| 194 | 42 | 58 | 73 | 88 |
| 219 | 46 | 60 | 78 | 95 |
| 273 | 53 | 70 | 87 | 107 |
| 325 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| 377 | 71 | 93 | 114 | 135 |
| 426 | 82 | 105 | 128 | 150 |
| 478 | 89 | 113 | 136 | 160 |
| 529 | 95 | 120 | 145 | 170 |
| 630 | 104 | 133 | 160 | 190 |
| 720 | 115 | 145 | 176 | 206 |

Таблиця 2 - Норми втрат тепла ізолюваними водяними теплопроводами при підземній безканалній прокладці, непрохідних каналах з розрахунковою середньорічною температурою землі + 5°C на глибині укладання теплопроводу, (ккал/м·год)

| Зовнішній діаметр труб, dн,мм | Для зворотньої лінії при tзв. ^{ср.р.} = 50°C | Для подавального при тп. ^{ср.р.} = 65°C | Сумарні для двотрубної при тп. ^{ср.р.} = 65°C | Для подавального при тп. ^{ср.р.} = 90°C | Сумарні для двотрубної при тп. ^{ср.р.} = 90°C | Для подавального при тп. ^{ср.р.} = 110°C | Сумарні для двотрубної при тп. ^{ср.р.} = 110°C |
|-------------------------------|---|--|--|--|--|---|---|
| 32 | 20 | 25 | 45 | 32 | 52 | 38 | 58 |
| 57 | 25 | 31 | 56 | 40 | 65 | 47 | 72 |
| 76 | 29 | 35 | 64 | 45 | 74 | 53 | 82 |
| 89 | 31 | 38 | 69 | 49 | 80 | 57 | 88 |
| 108 | 34 | 42 | 76 | 54 | 88 | 62 | 96 |
| 159 | 42 | 52 | 94 | 65 | 107 | 75 | 117 |
| 219 | 51 | 62 | 113 | 79 | 130 | 91 | 142 |
| 273 | 60 | 72 | 132 | 90 | 150 | 103 | 163 |
| 325 | 68 | 81 | 149 | 100 | 168 | 115 | 183 |
| 377 | 76 | - | - | 107 | 183 | 126 | 202 |
| 426 | 82 | - | - | 121 | 203 | 137 | 219 |
| 478 | 91 | - | - | 132 | 223 | 150 | 241 |
| 529 | 101 | - | - | 142 | 243 | 160 | 261 |
| 630 | 114 | - | - | 163 | 277 | 184 | 298 |
| 720 | 125 | - | - | 181 | 306 | 202 | 327 |

Нормативні значення питомих теплових втрат для двотрубних водяних теплових мереж надані для кожного зовнішнього діаметру труб і декількох значень середньорічних температур води окремо для подавального та зворотного трубопроводів при заданій температурі навколишнього середовища (повітря при надземній та ґрунту при підземній прокладці водяних теплових мереж). Зважаючи на те, що надані в нормах значення різниці температур води та навколишнього середовища, як правило, не відповідають різницям температур під час випробувань, тому ці значення перераховують для умов, які склалися під час випробувань по формулах

для діляниць надземної прокладки, ккал/(м·год)

$$q_{н.н.}^1 = \left[q_{н(100^0)} - q_{н(75^0)} + \frac{95 \cdot q_{н(75^0)} - 70 \cdot q_{н(100^0)}}{t_n^{ср.р.} - t_{нов.}^{ср.р.}} \cdot \frac{t_{н.вип.}^{ср.р.} - t_{нов.}^{ср.р.}}{25} \right], \quad (20)$$

$$q_{зв.вип.}^1 = \left[q_{н(75^0)} - q_{н(50^0)} + \frac{70 \cdot q_{н(50^0)} - 45 \cdot q_{н(75^0)}}{t_n^{ср.р.} - t_{нов.}^{ср.р.}} \cdot \frac{t_{зв.вип.}^{ср.р.} - t_{нов.вип.}^{ср.р.}}{25} \right], \quad (21)$$

де $q_n(100^\circ)$, $q_n(75^\circ)$ та $q_n(50^\circ)$ – нормативні значення питомих теплових втрат при надземній прокладці труб даного зовнішнього діаметру та середньорічних температур води відповідно 100, 75 та 50°C, ккал/м·год (таблиця 1);

$t_{n.вун.}^{cp}$ та $t_{3в.вун.}^{cp}$ – середні температури води відповідно в подавальному та зворотному трубопроводах у колі, що випробовується, °C.

$$t_{n.вун.}^{cp} = t_{n.вун.} - \frac{\Delta t_{вун.}}{4} = \frac{t_n^{cp.p.} + t_{3в.}^{cp.p.}}{2} + \frac{\Delta t_{вун.}}{4} + t_{навк.сеп.вун.} - t_{навк.сеп.}^{сеп.p.}, \quad (22)$$

$$t_{3в.вун.}^{cp} = t_{3в.вун.} - \frac{\Delta t_{вун.}}{4} = \frac{t_{вун.}^{cp.p.} + t_{3в.}^{cp.p.}}{2} + \frac{\Delta t_{вун.}}{4} + t_{навк.сеп.} - t_{навк.сеп.}^{сеп.p.}, \quad (23)$$

Формули (19) та (20) дійсні для температур $75^\circ\text{C} \leq t_n^{cp.p.} \leq 100^\circ\text{C}$ та $t_{3в.}^{cp.p.} \leq 75^\circ\text{C}$, при яких, як правило, працюють двотрубні теплові мережі. В окремих випадках, коли значення $t_n^{cp.p.} < 75^\circ\text{C}$, значення $q_{n.n}^1$ визначають по формулі (20)

Для діляниць підземної прокладки, ккал/м·год

$$q_{n.n}^1 + q_{3в.n}^1 = \left[q_{n.(90^\circ)} + q_{n.(50^\circ)} \right] \cdot \frac{t_{n.вун.}^{cp} + t_{3в.вун.}^{cp} - 2 \cdot t_{ср.}^{cp.m.}}{\sqrt{130 \cdot (t_n^{cp.p.} + t_{3в.}^{cp.p.} - 2 \cdot t_{ср.}^{cp.p.})}}, \quad (24)$$

де $q_n(90^\circ)$ та $q_n(50^\circ)$ - нормативні значення питомих теплових втрат при підземній прокладці для труб даного зовнішнього діаметру відповідно для подавального трубопроводу при середньорічній температурі води 90 °C та для зворотної лінії при середньорічній температурі 50°C (таблиця 2).

Формула (23) дійсна для температур $65^\circ\text{C} \leq t_n^{cp.p.} \leq 110^\circ\text{C}$ та $t_{3в.}^{cp.p.} \leq 50^\circ\text{C}$, при яких, як правило, працюють двотрубні теплові мережі.

При розрахунках по формулі (18) додавання виконують по всіх ділянках кола, що випробовується, довжиною L відповідно до зовнішнього діаметру труб та типу прокладки, незалежно від конструкції теплової ізоляції, так як нормативні значення теплових втрат не залежать від конструкції теплової ізоляції.

Коефіцієнт місцевих теплових втрат β , який входить до формули (18) враховує ці втрати в арматурі, опорах та компенсаторах, які знаходяться в межах кола, що випробовується. Значення цього коефіцієнту, відповідно до СНиП 11-36 – 73 “Тепловые сети. Нормы проектирования.” наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Коефіцієнт β місцевих теплових втрат

| Тип прокладки | β |
|----------------------|---------|
| Безканална прокладка | 1,15 |
| У тунелях та каналах | 1,20 |
| Надземна прокладка | 1,25 |

Розрахункові витрати води (т/год) у циркуляційному колі під час випробувань, визначають по формулі

$$G_{\text{вин.}} = \frac{Q_{\text{вин.}}}{t_{\text{вин.}}} \cdot 10^{-3}, \quad (25)$$

Кількість живильної води під час випробувань приймають рівною 0,5 % загальної місткості трубопроводів в межах кола, що випробовується.

Очікуваний час (год) руху часток води по циркуляційному колу визначають по формулі

$$r_{\text{к}} = \frac{V \cdot \mu \cdot 10^{-3}}{G_{\text{вин.}}}, \quad (26)$$

де V – загальна місткість труб циркуляційного кола, що випробовується, у межах від виходу до входу їх до теплоприготувальної установки, м³;
 $G_{\text{вин.}}$ – розрахункова кількість води при випробуваннях, т/год;
 μ - густина води у колі, що випробовується, при середній температурі води, кг/м.³

6.5 Підготовка теплових мереж та обладнання до випробувань

Циркуляцію води у колі, що випробовується, забезпечує мережний насос. На кінцевій ділянці цього кола, для забезпечення циркуляції, встановлюють циркуляційну перемичку між подавальним та зворотнім трубопроводами, розраховану на втрати напору в ній на 1-2 м. Для забезпечення циркуляції можуть бути використані елеваторні перемички вводів, розташовані на кінцевих ділянках кола, що випробовується. Сопла елеваторів при цьому повинні бути зняті. Перед початком випробувань всі теплові вводи абонентів, які не приймають участі у випробуванні, повинні бути відключені.

6.6 Підготовка вимірювальних приладів

При теплових випробуваннях теплових мереж вимірюють: витрати води, яка циркулює по колу що випробовується; витрати живильної води та

температуру води у точках спостереження. Витрати мережної та живильної води визначають за допомогою діафрагм, встановлених на подавальному та зворотному трубопроводах, або за допомогою ультразвукових витратомірів. До вимірювальних діафрагм приєднують також ртутні дифманометри ДТ-50 з розвантажувальними вентилями. Вимірювальні діафрагми повинні бути розраховані на кількість витрат мережної та живильної води, які були розраховані під час визначення параметрів випробувань та на перепад тиску, орієнтовно 400 мм.рт.ст..

Розрахунки та установку нових діафрагм виконують відповідно діючим “Правилам измерений расхода жидкостей, газов и пара стандартными диафрагмами и соплами“. Діаметр отвору нової діафрагми, встановленої замість експлуатаційної, приймають не менше 0,22 внутрішнього діаметру відповідного трубопроводу. Якщо вказане співвідношення не може бути виконане, вимірювальну діафрагму встановлюють на спеціально врізаному трубопроводі меншого діаметру.

Для усунення пульсацій тиску місце вимірювання витрат води, яка циркулює по колу що випробовується, визначають на відстані від циркуляційного насоса, яка дорівнює 50 та більше діаметрів трубопроводу.

Температуру води у циркуляційному колі вимірюють окремо в подавальному та зворотному трубопроводах в місцях, розташованих на межі вимірювальних ділянок. На перемичці кінцевої ділянки кола встановлюють один термометр. Термометр на зворотному трубопроводі в теплоприготувальній установці влаштовують до підключення підживлюючого трубопроводу (по ходу води), щоб уникнути введення поправки на температуру підживлюючої води.

Температуру води під час випробувань вимірюють лабораторними ртутними термометрами з ціною поділки шкали 0,1 °С. Глибина занурення гільзи для термометра визначають так, щоб ртутний балончик знаходився на середині осі трубопроводу.

Вимірювальні прилади, перед їх установкою у точках спостереження, підготовлюють до роботи: точно вимірюють діаметр отвору вимірювальної діафрагми, промивають та опресовують ртутні дифманометри, тарують термометри. По підсумках підготовчої роботи розробляють заходи, які необхідно виконати для проведення теплових випробувань. У переліку заходів вказують місця врізання та розміри перемичок у теплоприготувальній установці та в теплових мережах, місця врізання гільз під термометри, розташування та діаметри отворів вимірювальних діафрагм та т.і.

6.7 Проведення теплових випробувань

До проведення випробувань перевіряють виконання підготовчих заходів та складають робочу програму випробувань, яку затверджує головний інженер підприємства. В програмі випробувань вказуються схеми та режими роботи теплових мереж та теплоприготувальної установки, надані точки спостереження, визначена кількість наглядців та відповідальних осіб по проведенню випробувань, визначений термін проведення випробувань, розроблені необхідні заходи по додержанню техніки безпеки відповідно до “Правил техніки

безопасности при обслуживании тепловых сетей та теплотехнического оборудования“.

Гідравлічні та температурні випробування проводять по наступній схемі: включають дифманометри на трубопроводах мережної та підживлючої води і встановлюють термометри на циркуляційній перемичці кінцевої ділянки кола на вході та виході трубопроводів до теплоприготувальної установки;

У циркуляційному колі підтримують розрахункові витрати води, підтримують незмінним на час випробувань, заданий тиск у зворотній лінії кола, що випробовується, на вході її у теплоприготувальну установку, та температуру $t_{n.в}$ води у подавальній лінії кола, що випробовується, на виході з теплоприготувальної установки, визначену по формулі (15).

Під час випробувань температуру води у подавальній лінії необхідно підтримувати постійною з точністю $\pm 0,5$ °С. При підігріві мережної води паром досягається стабілізацією тиску пари, яка поступає з парового котла. Температуру води регулюють запірним краном, встановленим на паровій лінії.

При підготовці води у водогрійному котлі температуру води регулюють включенням визначеної кількості пальників котла. Під час випробувань витрати мережної води у циркуляційному колі необхідно підтримувати постійними з точністю ± 2 %.

Теплові втрати при підземній прокладці теплових мереж визначають при максимальному приближенню до встановленого теплового режиму, це досягається додатковим підігрівом ґрунту, що оточує теплопроводи. Температурне поле у ґрунті доводять до відповідного встановленому режиму, прийнятому для проведення випробувань. Під час прогріву ґрунту вимірюють витрати циркулюючої та підживлюючої води та їх температури у теплоприготувальній установці та на перемичці кінцевої ділянки кола, що випробовується. Величини, що вимірюються, фіксують одночасно кожні 30 хвилин.

Показником досягнення теплового стану ґрунту на колі, що випробовується, є тривала постійна температура води у зворотній лінії кільця на вході до теплоприготувальної установки. Процес досягнення сталого теплового стану вважається завершеним після того, як температура води у цій точці кола залишається постійною на протязі 4-6 годин. Тривалість періоду досягнення сталого температурного стану кола, що випробовується, залежить від ступеня попереднього прогріву ґрунту і знаходиться у межах $(6 - 8) r_k$, де r_k – час (год) проходження води по колу, що випробовується, визначається за формулою (26).

Починаючи з часу досягнення сталого теплового стану, у всіх намічених точках спостереження встановлюють термометри та проводять вимірювання температури води. Показники температур та витрати води одночасно записують у журналі кожні 10 хвилин. Тривалість основного режиму випробувань (періоду вимірювань) у всіх точках спостережень повинно складати не менше $r_k + (8 \div 10)$ годин.

На останньому етапі випробувань методом “ температурної хвилі “ уточнюють час проходження r_k води по циркуляційному колу, попередньо

визначене по формулі (26). На цьому етапі температуру води у подавальному трубопроводі за 20 - 40 хвилин підвищують на 10 – 20 °С вище величини $t_{n.вun}$ і підтримують постійною на цьому рівні протягом однієї години. Після цього, з цією ж швидкістю, температуру води знижують до значення $t_{n.вun}$ яку і підтримують до кінця випробувань. Гідравлічний режим випробувань при проходженні “температурної хвилі” залишається незмінним. Рух “температурної хвилі” по колу, що випробовується, фіксують по всіх точках спостереження з інтервалом 10 хвилин. Випробування закінчуються тільки після того, коли “температурна хвиля” буде відзначена у зворотній лінії кола, що випробовується, на вході до теплоприготувальної установки. Сумарна тривалість основного режиму випробувань та періоду пробігу “температурної хвилі” складає $2r_k + (10 \div 12)$ годин.

6.8 Обробка даних, отриманих при випробуваннях

У процесі випробувань визначають фактичні теплові втрати для кожної з ділянок кола, що випробовується, окремо по подавальному та зворотному трубопроводу. Попередньо, по кожному пункту нагляду визначають середнє значення температури води, яка отримана після 20-30 послідовних вимірювань у той період, коли режим випробувань був близький до режиму, що встановився. За цей же період знаходять середні значення витрат мережної та підживлючої води. Знайдені середні значення температур повинні відноситись до тих же часток рухомої води. Тому, у розрахунок вводять температури, які зсунені по часу на фактичну тривалість пробігу часток між точками вимірювання, визначену методом “температурної хвилі”.

Для визначення періоду, під час якого температурний режим випробувань був найближчим до сталого, будують по всіх точках вимірювань графік зміни температури часток води (рисунок 5).

Фактичні теплові втрати у подавальному та зворотному трубопроводах для кожної ділянки кола, що випробовується, визначають за формулами

$$Q_{n.вun.} = c \cdot \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right) \cdot (t_n^H - t_n^K) \cdot 10^3, \quad (27)$$

$$Q_{зв.вun.} = c \cdot \left(G_c - \frac{3}{4} \cdot G_n \right) \cdot (t_{зв.}^H - t_{зв.}^K) \cdot 10^3, \quad (28)$$

де G_c середні витрати мережної води у подавальній лінії на виході з теплоприготувальної установки т/год;

t_n^H та t_n^K - середні температури води на початку та в кінці подавальної лінії даної ділянки °С (рисунок 4);

$t_{зв.}^H$ та $t_{зв.}^K$ - середні температури води на початку та в кінці зворотної лінії даної ділянки °С (рисунок 4);

c – середня вагова теплоємність води у відповідному інтервалі температур, яку при температурах до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ дозволяється приймати $1,0\text{ ккал/кг }^{\circ}\text{C}$
 G_n – середні витрати підживлюючої води, т/год.

Рисунок 5 - Графік зміни температури часток води

а - графік температур води при випробуваннях; б – графік вимірювання температур часток води; в – схема циркуляційного кола, що випробовується; Н - початок випробувань; К - кінець випробувань; Δr_{ϕ} – фактичний час пробігу часток води по циркуляційному колу між точками А і Б; $r_{к.ф}$ – фактичний час пробігу часток води по циркуляційному колу між точками А і В (при побудові графіка зміни температури часток води значення температур в точці Б повинні бути зміщені по шкалі r ліворуч на Δr , а в точці В на $\Delta r_{к.ф}$).

6.9 Порівняння фактичних теплових втрат з нормативними

За результатами випробувань розробляють експлуатаційні норми теплових втрат даних теплових мереж у цілому, методом порівняння фактично вимірних величин цих втрат по кожній ділянці з нормативними значеннями теплових втрат для тієї ж ділянки теплових мереж. Нормативні значення теплових втрат для даних теплових мереж визначають, виходячи з “Норм проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования электростанций и тепловых сетей”, наведених у посібнику “Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей”.

Перед порівнянням з нормативними, фактично виміряні значення теплових втрат по кожній ділянці, що випробовується, попередньо перераховуються на середньорічні умови роботи даних теплових мереж температура води в подавальному та зворотному трубопроводах, температура навколишнього середовища).

Для ділянок підземної прокладки перерахунок фактичних теплових втрат на середньорічні умови роботи теплових мереж виконують сумарно для подавальної та зворотної лінії мереж по формулі

$$Q_{н.в.} = Q_{н.н.в.} + Q_{зв.н.в.} = \frac{Q_{н.в.} \cdot (t_{н.}^{cp.p.} - t_{cp.}^{cp.p.}) + Q_{зв.в.} \cdot (t_{зв.}^{cp.p.} - t_{cp.}^{cp.p.})}{\frac{t_{н.}^H + t_{н.}^K + t_{зв.}^H + t_{зв.}^{HK}}{4} - t_{cp.в.}}, \quad (29)$$

Для ділянок надземної прокладки такий перерахунок виконують як для подавального так і для зворотного трубопроводів по формулах

$$Q_{н.н.в.} = \frac{Q_{н.в.} \cdot (t_{н.}^{cp.p.} - t_{г.}^{cp.p.})}{\frac{t_{н.}^H + t_{н.}^K}{2} - t_{г.в.}}, \quad (30)$$

$$Q_{зв.н.в.} = \frac{Q_{зв.в.} \cdot (t_{зв.}^{cp.p.} - t_{г.}^{cp.p.})}{\frac{t_{зв.}^H + t_{зв.}^K}{2} - t_{г.в.}}, \quad (31)$$

де $Q_{н.н.в.}$ та $Q_{зв.н.в.}$ - перераховані на середньорічні умови роботи теплових мереж фактичні теплові втрати по кожній ділянці циркуляційного кола, що випробовується, ккал/год;

$t_{cp.в.}$ та $t_{г.в.}$ - температури ґрунту та навколишнього середовища, середні за час випробувань, °С .

Значення $Q_{н.в.}$, $Q_{н.н.в.}$ та $Q_{зв.н.в.}$ розраховані за формулами (29 – 31) для всіх ділянок теплових мереж, що випробовуються, співвідносяться з відповідними нормативними значеннями теплових втрат, які отримують на підставі наведених у нормах значень питомих теплових втрат шляхом перерахунку, з прийняттям в цих нормах значень температур води і

навколишнього середовища на їх середньорічні значення для даних теплових мереж по формулах

для ділянок підземної прокладки

$$Q_n = Q_{n.n} + Q_{зв.n} = \sum \beta \cdot q_n \cdot l, \quad (32)$$

$$q_n = q_{n.n} + q_{зв.n} = [q_n(90^\circ C) + q_n(50^\circ C)] \cdot \sqrt{\frac{t_n^{cp.p} + t_{зв.}^{cp.p} - 2 \cdot t_{зп.}^{cp.p}}{130}}, \quad (33)$$

для ділянок надземної прокладки

$$Q_{n.n} = \sum \beta \cdot q_{n.n} \cdot l, \quad (34)$$

$$Q_{зв.n} = \sum \beta \cdot q_{зв.n} \cdot l, \quad (35)$$

$$q_{n.n} = \frac{[q_n(100^\circ) - q_n(75^\circ)] \cdot (t_n^{cp.p} + t_{зв.}^{cp.p}) + 95 \cdot q_n(75^\circ) - 70 \cdot q_n(100^\circ)}{25}, \quad (36)$$

$$q_{зв.n} = \frac{[q_n(75^\circ) - q_n(50^\circ)] \cdot (t_{зв.}^{cp.p} + t_n^{cp.p}) + 70 \cdot q_n(50^\circ) - 45 \cdot q_n(75^\circ)}{25}, \quad (37)$$

У формулах (32), (34) та (37) додавання повинно проводитись по всіх діаметрах труб на даній ділянці при довжині їх для кожного діаметру труб по подавальній та зворотній лініях L . Значення місцевих коефіцієнтів теплових втрат β приймають з таблиці 3.

Значення q_n , $q_{n.n}$ та $q_{зв.n}$ розраховують по кожному діаметру труб окремо, виходячи з нормативних значень $q_n(90^\circ C)$ та $q_n(50^\circ C)$ для даного діаметру труб при підземній прокладці (таблиця 2) та з нормативних значень $q_n(100^\circ C)$, $q_n(75^\circ C)$ та $q_n(50^\circ C)$ для даного діаметру труб при надземній прокладці (таблиця 1).

Співвідношення фактичних та нормативних теплових втрат характеризується коефіцієнтом K , який дорівнює для ділянок підземної прокладки

$$K = \frac{Q_{н.в.}}{Q_n}, \quad (38)$$

а для ділянок надземної прокладки

$$K_n = \frac{Q_{п.н.в.}}{Q_{п.н.}}, \quad (39)$$

$$K_{зв.} = \frac{Q_{зв.н.в.}}{Q_{зв.н.}}, \quad (40)$$

Для ділянок з фактичними тепловими втратами, що суттєво перевищують нормативні (із значеннями коефіцієнта $K > 1,1$) у подальшому складають програму робіт з метою доведення теплових втрат цих ділянок до нормативних значень. Обсяги робіт та термін їх проведення визначаються місцевими умовами.

7. НОРМУВАННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Важливим завданням експлуатації теплових мереж є забезпечення транспортування теплоносія при високих техніко-економічних показниках. Ці показники визначаються витратами електроенергії на транспортування мережної води, величинами теплових втрат та витоків з теплових мереж. Для кожної окремої теплової мережі розробляють нормативні показники, які визначають затрати електричної та теплової енергії на транспортування теплоносія. Норми витрат теплової та електричної енергії систематично переглядають, з урахуванням запланованого розвитку та технічного прогресу виробництва, досягнення високих показників використання теплової енергії.

Теплові втрати є головним показником, що характеризує технічний стан теплових мереж, які значно впливають на ефективність роботи теплових мереж у цілому. Теплові втрати в теплових мережах залежать від довжини та діаметру трубопроводів, типу прокладки теплових мереж, стану теплової ізоляції трубопроводів, температурного режиму роботи теплових мереж, метеорологічних умов.

Експлуатаційні норми теплових втрат водяних теплових мереж розробляють експериментальним методом на основі проведення спеціальних теплових випробувань, що дає змогу враховувати конкретні умови прокладки мереж, що випробовуються, та стан теплової ізоляції. При випробуваннях визначають фактичні теплові втрати ділянок, що випробовуються, та порівнюють їх з нормативними втратами, які розраховують, виходячи з питомих теплових втрат, наведених у посібнику “Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей“. Питомі теплові втрати наведені у таблицях 1 та 2, а методика у розділі 6.

Нормування експлуатаційних теплових втрат проводять в залежності від коефіцієнта K (співвідношення фактичних та нормативних теплових втрат), отриманих за результатами теплових випробувань. У тих випадках, коли фактичні теплові втрати, визначені окремо по кожному колу, де проведені випробування, та перераховані на середньорічні температури води та навколишнього середовища, не перевищують відповідні значення нормативних значень теплових втрат для цих дільниць ($K \leq 1,1$), за основу нормування експлуатаційних теплових втрат мереж приймають фактичні теплові втрати. Отримані таким методом нормативні значення експлуатаційних теплових втрат теплових мереж затверджують на термін до проведення наступних теплових випробувань теплових мереж, але не більше ніж на 5 років.

У тих випадках, коли фактичні теплові втрати по окремих ділянках, що пройшли випробування, значно перевищують нормативні ($K \geq 1,1$), вони можуть бути покладені в основу нормування експлуатаційних теплових втрат тільки на термін виконання робіт по доведенню фактичних теплових втрат до нормативних, але не більш ніж на два роки.

При визначенні нормативних погодинних середньорічних експлуатаційних теплових втрат по всіх теплових мережах у цілому, на основі даних, отриманих при випробуваннях окремих дільниць цих мереж, у якості вихідних даних приймаються наступні положення:

а) для дільниць теплових мереж, що випробовуються, використовуються значення теплових втрат, що визначені під час випробувань з перерахунком їх на середньорічні умови роботи по формулах (29 - 31), з додаванням їх по подавальній та зворотній лініях та по всіх дільницях;

б) для дільниць теплових мереж, які не були випробувані, але мають типи прокладки та конструкцію теплової ізоляції, аналогічну випробуваним ділянкам, використовують нормативні значення середньорічних теплових втрат, визначених по формулах (32, 34 та 35), з введенням до них поправочних коефіцієнтів K , значення яких були отримані по формулах (38 - 40);

в) для ділянок теплових мереж, які не підлягали випробуванням і які не мають аналогічних їм по типах прокладки або конструкції ізоляції серед випробуваних ділянок, нормативні значення середньорічних теплових втрат приймають по формулах (32, 34 та 35) без введення до них будь яких поправочних коефіцієнтів.

Нормативні значення середньорічних експлуатаційних теплових втрат по усіх теплових мережах у цілому визначають шляхом підсумовування цих значень по характерних групах дільниць які описані вище.

Нормативні значення річних теплових втрат тепла (Гкал/рік) по теплових мережах у цілому визначають по формулі

$$Q_{річ} = P \cdot (Q_{підз.}^{cp.p} + Q_{надз.}^{cp.p}), \quad (41)$$

де P - час роботи теплових мереж за рік, год/рік;

$Q_{підз.}^{cp.p}$ та $Q_{надз.}^{cp.p}$ нормативні значення середньорічних експлуатаційних теплових втрат для усіх дільниць теплових мереж, відповідно підземної та надземної прокладки, Гкал/год.

Нормативні значення місячних втрат тепла (Гкал/міс.) для теплових мереж у цілому визначають по формулі

$$Q_{міс} = N \cdot (Q_{підз.}^{ср.міс} + Q_{надз.}^{ср.міс}), \quad (42)$$

де N – час роботи теплових мереж у даному місяці, год/міс;

$Q_{підз.}^{ср.міс}$ та $Q_{надз.}^{ср.міс}$ - нормативні значення втрат тепла за годину для всіх ділянок теплових мереж відповідно підземної та надземної прокладки, визначені до середньомісячних температур води та навколишнього середовища, Гкал/год.

Перерахунок нормативних значень середньорічних теплових втрат $Q_{підз.}^{ср.міс}$ та $Q_{надз.}^{ср.міс}$ на їх середньомісячні значення $Q_{підз.}^{ср.міс}$ та $Q_{надз.}^{ср.міс}$ виконують окремо для ділянок підземної та надземної прокладки по наближених формулах:

для ділянок підземної прокладки

$$Q_{підз.}^{ср.міс} = Q_{підз.}^{ср.річ} \cdot \frac{t_{н.}^{ср.м} + t_{зв.}^{ср.м} - 2 \cdot t_{зр.}^{ср.м}}{t_{н.}^{ср.р} + t_{зв.}^{ср.р} - 2 \cdot t_{зр.}^{ср.р}}, \quad (43)$$

для ділянок надземної прокладки

$$Q_{надз.}^{ср.міс} = Q_{надз.}^{ср.річ} \cdot \frac{t_{н.}^{ср.м} + t_{зв.}^{ср.м} - 2 \cdot t_{нов.}^{ср.м}}{t_{н.}^{ср.р} + t_{зв.}^{ср.р} - 2 \cdot t_{нов.}^{ср.р}}, \quad (44)$$

де $t_{н.}^{ср.м}$ та $t_{зв.}^{ср.м}$ середньомісячні температури води відповідно у подавальному та зворотному трубопроводах теплових мереж, °С;

$t_{н.}^{ср.р}$ та $t_{зв.}^{ср.р}$ середньорічні температури води відповідно у подавальному та зворотному трубопроводах теплових мереж, °С;

$t_{зр.}^{ср.м}$ та $t_{зр.}^{ср.р}$ відповідно середньомісячні та середньорічні температури ґрунту на середньому рівні теплопроводу, °С;

$t_{гjd}^{ch/v}$ та $t_{нов.}^{ср.р}$ відповідно середньомісячні та середньорічні температури навколишнього середовища (повітря), °С.

Для тих місяців, для яких переводять цілорічно працюючі теплові мережі з опалювального на літній режим роботи, нормативні значення теплових втрат підраховують окремо для цих місяців з підстановкою у формулу (42) замість величини N кількість годин роботи теплових мереж у цей період.

8. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ВОДЯНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Теплові втрати визначають для двотрубних теплових мереж. Матеріальна характеристика вказаних мереж для різних типів прокладок та конструкцій ізоляції наведена у таблиці 4.

для теплових мереж, що випробовуються, прийнято

а) температури навколишнього повітря та ґрунту на рівні осі теплопроводів

$$t_{нов.}^{cp.p} = 0^0 C \quad та \quad t_{зр.}^{cp.p} = +4^0 C, \quad (45)$$

б) температури навколишнього повітря та ґрунту на рівні осі теплопроводів, середні за місяць проведення випробувань

$$t_{нов.вип.}^{cp.m} = +15^0 C \quad та \quad t_{зр.вип.}^{cp.m} = +7^0 C, \quad (46)$$

в) середні температури води та навколишнього середовища за один з місяців роботи теплових мереж

$$t_{н.}^{cp.m} = 92^0 C, \quad t_{зв.}^{cp.m} = 50^0 C,$$

$$t_{г.}^{cp.m} = -6^0 C, \quad t_{зр.}^{cp.m} = +3^0 C.$$

(середньомісячні температури води знаходять по температурному графіку теплових мереж відповідно до середньомісячної температури навколишнього повітря);

г) середньорічні температури води у подавальному та зворотному трубопроводі, визначені як середньоарифметичне з середньомісячних температур

$$t_{н.}^{cp.p} = 78^0 C, \quad t_{зв.}^{cp.p} = 46^0 C.$$

8.1 Вибір діляниць теплових мереж, що підлягають випробуванням

Типи прокладки та конструкції теплової ізоляції, які підлягають випробуванням, вибирають по даним таблиці 4.

Частина матеріальної характеристики діляниць з різними типами прокладки та конструкції ізоляції у матеріальній характеристиці теплових мереж у цілому у даному випадку складає

для діляниць надземної прокладки з ізоляцією з мінеральної вати

$$\frac{M}{M_c} = \frac{1185}{5815} = 0,204 > 0,15, \quad (47)$$

для ділянок підземної прокладки з ізоляцією з мінеральної вати

$$\frac{M}{M_c} = \frac{3094}{5817} = 0,532 > 0,15, \quad (48)$$

для ділянок підземної прокладки з ізоляцією з діатомової цегли

$$\frac{M}{M_c} = \frac{1538}{5817} = 0,264 > 0,15, \quad (49)$$

Таблиця 4 - Характеристика двотрубних водяних мереж

| Тип прокладки та конструкція теплової ізоляції трубопроводів | Зовн. діаметр подавального або зворотного трубопр. $d_{н,м}$ | Довжина под. або звор. трубопроводу $l, м$ | Матеріальна характеристика $M = d_{н}^2 l, м^2$ | Місткість трубопроводів $V, м^3$ |
|--|--|--|---|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

По всіх ділянках теплових мереж

| | | | | |
|---|---|---|---|---------------------------------|
| Надземна прокладка, ізоляція з мінеральної вати | 0,426 0,108 | 2180 2365 | 930 255 | - - |
| Всього | - | 4545 | 1185 | - |
| Підземна канална прокладка, ізоляція з мінеральної вати | 0,325 0,273 0,219 0,159 0,108 0,76 0,57 | 2500 1500 2160 5150 4325 1055 585 | 812 409 473 820 467 80 33 | - - - - - - - |
| Всього | - | 17275 | 3094 | - |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Підземна канална прокладка ізоляція з діатомової цегли | 0,219 0,159 0,108 0,076 0,057 | 2500 2065 3085 2600 2310 | 548 328 333 198 131 | - - - - - |
| Всього | - | 12560 | 1538 | - |
| Всього по всіх теплових мережах | - | - | 5817 | - |

По ділянках теплових мереж, що випробовуються

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----------------|--------------|------------|---------------|
| Перша ділянка. Надземна прокладка, ізоляція з мінеральної вати | 0,426 | 2180 | 930 | 2·85 |
| Всього | - | 2180 | 930 | 2·285 |
| Друга ділянка. Підземна канална прокладка, ізоляція з мінеральної вати | 0,325 0,273 | 2500 1500 | 812 409 | 2·185 2·78 |
| Всього | - | 4000 | 1221 | 2·263 |
| Третя ділянка. Підземна канална прокладка, ізоляція з діатомової цегли | 0,219 | 2500 | 548 | 2·81 |
| Всього | - | 2500 | 548 | 2·81 |
| Всього | - | - | 2699 | 2·629 = 1258 |

Усі три застосовані у даних теплових мережах типи прокладок та конструкції теплової ізоляції підлягають випробуванням. Для випробувань обирають головну магістраль теплових мереж, типи прокладок та конструкцію ізоляції, що охоплює всі три типи, які підлягають випробуванням. Схема циркуляційного кола, що випробовується, наведена на рисунку 1.

Характеристика діляниць циркуляційного кола, що випробовується:

Перша діляниця – котельня – ТК-1. Надземна прокладка трубопроводів, ізоляція з мінеральної вати;

Друга ділянка - ТК-1 - ТК-3. Підземна канална прокладка трубопроводів, ізоляція з мінеральної вати;

Третя ділянка - ТК-3 - ТК-4. Підземна канална прокладка трубопроводів, ізоляція з діатомової цегли.

8.2 Розрахунок параметрів випробувань

Зниження температури води у колі, що випробовується, визначають за формулою (14)

$$\Delta t_{\text{вип.}} = \frac{2}{\frac{548}{2699 + 2699}} \approx 20^{\circ} \text{C}.$$

Усередненні температури навколишнього середовища $t_{\text{нав.вип}}$ та $t_{\text{нав.сеп}}^{\text{ср.р}}$ підраховують відповідно за формулами (17) та (18)

$$t_{\text{нав.вип.}} = \frac{7 \cdot (1221 + 548) + 15 \cdot 930}{2699} = 9,8^{\circ} \text{C},$$

$$t_{\text{нав.сеп.}}^{\text{ср.р}} = \frac{4 \cdot (1221 + 548) + 0,93}{2699} = 2,6^{\circ} \text{C},$$

Температуру води, що підтримується під час випробувань у подавальній лінії кола, що випробовується, на виході з теплоприготувальної установки, визначають по формулі (15)

$$t_{\text{н.вип.}} = \frac{78 + 46}{2} + \frac{20}{2} + 9,8 - 2,6 \approx 79^{\circ} \text{C},$$

Очікувану температуру води у зворотному трубопроводі циркуляційного кола на вході у теплоприготувальну установку розраховують по формулі (16)

$$t_{\text{зв.вип.}} = t_{\text{н.вип.}} - \Delta t_{\text{вип.}} = 79 - 20 = 59^{\circ} \text{C},$$

Середні температури води відповідно у подавальному та зворотному трубопроводі кола, що випробовується, визначають за формулами (22 - 23)

$$t_{n.гит.}^{cp} = 79 - \frac{20}{4} = 74^{\circ}C,$$

$$t_{зв.гит.}^{cp} = 59 + \frac{20}{4} = 64^{\circ}C.$$

Величини очікуваних питомих теплових втрат у подавальному та зворотному трубопроводах при зовнішньому діаметру трубопроводів $d_n = 426\text{мм}$ для першої ділянки, що випробовується, при надземній прокладці визначають по формулі (20) та (21)

$$q_{n.n.}^1 = 128 - 105 + \frac{95 \cdot 105 - 70 \cdot 128}{78 - 0} \cdot \frac{74 - 15}{25} = 85 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

$$q_{зв.n.}^1 = 105 - 82 + \frac{70 \cdot 82 - 45 \cdot 105}{46 - 0} \cdot \frac{64 - 15}{25} = 88 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

де $q_n(100) = 128$ ккал/(м · год); $q_n(75) = 105$ ккал/(м · год); та $q_n(50) = 82$ ккал/(м · год); нормативні питомі теплові втрати трубопроводів з $d_n = 426\text{мм}$ при надземній прокладці і відповідно при середньорічних температурах води 100, 75 та 50°C (таблиця 1).

Величини очікуваних питомих теплових втрат сумарно по подавальній та зворотніх лініях трубопроводів з зовнішнім діаметром $q_n = 325$ та 273 мм для другої ділянки кола, що випробовується, при підземній прокладці визначають по формулі (24)

$$q_{n.n.}^1 + q_{зв.n.}^1 = (100 + 68) \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{\sqrt{130 \cdot (78 + 46 - 2 \cdot 4)}} = 169 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

$$q_{n.n.}^1 + q_{зв.n.}^1 = (90 + 60) \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{\sqrt{130 \cdot (78 + 46 - 2 \cdot 4)}} = 151 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

де $q_n(90^{\circ}) = 100$ ккал/(м · год); при $q_n = 325\text{мм}$ та 90 ккал/(м · год) при $q_n = 273\text{мм}$ – нормативні питомі теплові втрати при підземній прокладці для подавальної лінії при середньорічній температурі води у ній 90 °C (таблиця 2); $q_n(50^{\circ}) = 68$ ккал/(м · год) при $q_n = 325\text{мм}$ та 60 ккал/(м · год) при $q_n = 273\text{мм}$ – нормативні питомі теплові втрати при підземній прокладці для зворотної лінії при середньорічній температурі води у ній 50 °C , (таблиця 2).

Величина питомих теплових втрат $q_{п.н}^1 + q_{зв.н}^1$ сумарно по подавальному та зворотному трубопроводу із зовнішнім діаметром $q_n = 219$ мм для третього кола, що випробується, відповідно дорівнює

$$q_{п.н.}^1 + q_{зв.н.}^1 = (79 + 51) \cdot \frac{74 + 64 - 2 \cdot 7}{\sqrt{130 \cdot (78 + 46 - 2 \cdot 4)}} = 131 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

Довжину ділянок кола, що випробується, з різними діаметрами трубопроводів приймають по даним таблиці 4.

Орієнтовно, величину втрат тепла по всьому циркуляційному колу при випробуваннях визначають по формулі (19)

$$Q_{вип.} = (85 + 88) \cdot 1,25 \cdot 2180 + 169 \cdot 1,2 \cdot 2500 + 151 \cdot 1,2 \cdot 1500 + 131 \cdot 1,2 \cdot 2500 = 1643000 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

де $\beta = 1,20$ та $1,25$ – коефіцієнти місцевих теплових втрат, прийняті по таблиці 3

Розрахункові витрати, прийняті на час випробувань, визначають по формулі (25)

$$G_{вип.} = \frac{1643000}{20} \cdot 10^{-3} = 82,1 \frac{\text{т}}{\text{год}},$$

Очікувана величина підживлення кола, що випробується, дорівнює

$$G_{підж.} = 0,005 \cdot V = 0,005 \cdot 1258 = 6,3 \frac{\text{т}}{\text{год}}, \quad (50)$$

Очікуваний час руху часток води по циркуляційному колу, що випробується, при середній густині води $\gamma = 978$ кг/м³, яка дорівнює температурі $\frac{t_{н.вип.} + t}{2} = \frac{79 + 59}{2} = 69^\circ \text{C}$ розраховують по формулі (26)

$$r_{\kappa} = \frac{1258 \cdot 978 \cdot 10^{-3}}{82,1} \approx 15 \text{ год},$$

8.3 Обробка даних, отриманих при випробуваннях

Після проведення випробувань та усереднення отриманих даних, з урахуванням фактичного часу пробігу часток води по ділянцям циркуляційного

кола, що випробовується, були отримані витрати мережної та підживлюючої води: $G_{мер} = 78,2$ тн/год, $G_{підж} = 5,2$ тн/год. Отримана температура у різних точках спостереження наступна, °С

| Точка спостереження. | Подавальна лінія. | Зворотня лінія. |
|----------------------|-------------------|-----------------|
| Котельня. | 74,8 | 58,2 |
| ТК-1 | 72,3 | 60,3 |
| ТК-3 | 68,1 | 64,0 |
| ТК-4 | 66,0 | 66,0 |

Результати підрахунків фактичних теплових втрат по всіх ділянках, що випробовуються, зведені до таблиці 5.

Таблиця 5 - Порівняння фактичних та нормативних теплових втрат для різних типів прокладки та конструкції ізоляції

| Величини (що підраховуються) $Q \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год}} \right)$, $Q \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год}} \right)$, К | 1 ділянка (надземна прокладка, ізоляція з мінеральної вати) | 2- ділянка (підземна прокладка ізоляція з мінеральної вати) | 3 – ділянка (підземна прокладка ізоляція з діатомової цегли) |
|--|--|--|--|
| Q п.вип. | 192000 | 323000 | 161000 |
| Q зв.вип. | 156000 | 275000 | 149000 |
| Q н.вип. | 494000 | 589000 | 303000 |
| Q п.н.вип. | 296000 | - | - |
| Q зв.н.вип. | 198000 | - | - |
| q н | 195 | 159 при dн=325мм 142 при dн=273мм | 123 |
| q п.н | 112 | - | - |
| q зв.н | 83 | - | - |
| Q н | 531000 | 733000 | 369000 |
| Q п.н. | 305000 | - | - |
| Q зв.н. | 226000 | - | - |
| К | 0,93 | 0,80 | 0,82 |
| Кп | 0,97 | - | - |
| Кзв | 0,98 | - | - |

По даним метеослужби, температура ґрунту на рівні осі трубопроводів за період проведення випробувань складає $+ 6$ °С, а середня температура навколишнього середовища за цей же період дорівнює $+ 23$ °С.

Фактичні теплові втрати по подавальному та зворотному трубопроводах першої ділянки, що випробовується, визначені по формулі (27) та (28), склали

$$Q_{н.вип.} = 1,0 \cdot \left(78,2 - \frac{5,2}{4} \right) \cdot (74,8 - 72,3) \cdot 10^{-3} = 192000 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год}},$$

$$Q_{зв.вип.} = 1,0 \cdot \left(78,2 - \frac{3 \cdot 5,2}{4} \right) \cdot (60,3 - 58,2) \cdot 10^{-3} = 156000 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

Значення фактичних теплових втрат випробуваних ділянок циркуляційного кола, перераховані на середньорічні умови роботи теплових мереж, визначали за формулами (29) – (31).

Ці значення склали

Для першої випробуваної ділянки надземної прокладки

$$Q_{н.н.вип} = \frac{192000 \cdot (78 - 0)}{\frac{74,8 + 72,3}{2} - 23} = 296000 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

$$Q_{зв.н.вип} = \frac{156000 \cdot (46 - 0)}{\frac{60,3 + 58,2}{2} - 23} = 198000 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

Для другої випробуваної ділянки підземної прокладки

$$Q_{н.вип} = \frac{323000 \cdot (78 - 4) + 275000 \cdot (46 - 4)}{\frac{72,3 + 68,3 + 64}{4} - 6} = 589000 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

Результати перерахунку теплових втрат циркуляційного кола, що випробовується, на середньорічні умови роботи наведені у таблиці 5.

Нормативні питомі теплові втрати ділянок, що випробовуються, при середньорічних умовах роботи теплових мереж, визначені за формулами (33), (36), (37) склали:

для трубопроводів $d_n = 426$ мм першої ділянки надземної прокладки, що випробовується

$$q_{н.н.} = \frac{(128 - 105) \cdot (78 - 0) + 95 \cdot 105 - 70 \cdot 128}{25} = 112 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

$$q_{зв.н.} = \frac{(105 - 82) \cdot (46 - 0) + 70 \cdot 82 - 40 \cdot 105}{25} = 83 \frac{\text{ккал}}{(\text{м} \cdot \text{год})},$$

Для трубопроводів $d_n = 325$ та 273 мм 2-ї випробуваної ділянки підземної прокладки нормативні питомі теплові втрати розраховують за формулою (33)

$$q_n = (100 + 68) \sqrt{\frac{78 + 46 - 2 \cdot 4}{130}} = 159 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год}} \right),$$

$$q_n = (90 + 60) \sqrt{\frac{68 + 46 - 2 \cdot 4}{130}} = 142 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год}} \right).$$

Нормативні теплові втрати для ділянок, що випробовуються, перераховані на середньорічні умови роботи теплових мереж, визначають за формулами (32), (34), (35), які склали

для першої ділянки надземної прокладки, що випробовується

$$Q_{н.н.} = 1,25 \cdot 112 \cdot 2180 = 305000 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right),$$

$$Q_{зв.н.} = 1,25 \cdot 83 \cdot 2180 = 226000 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right),$$

$$Q_n = Q_{н.н.} + Q_{зв.н.} = 305000 + 226000 = 531000 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right),$$

для другої ділянки підземної прокладки, що випробовується

$$G_{н.н.} = G_{н.н.} + G_{зв.н.} = 1,2 \cdot 159 \cdot 2500 + 1,2 \cdot 142 \cdot 1500 = 733000 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right),$$

Результати розрахунків нормативних питомих та абсолютних теплових втрат ділянок, що випробовувались наведені у таблиці 5.

Потім зіставляються фактичні та нормативні теплові втрати по різних типах прокладки та конструкції теплової ізоляції після їх перерахунку на середньорічні умови роботи теплових мереж методом визначення коефіцієнта К за формулами (38) – (40).

Для ділянок надземної прокладки з ізоляцією із мінеральної вати отримали

по подавальній лінії $K_p = 296000 : 305000 = 0,97,$

по зворотній лінії $K_{зв} = 198000 : 226000 = 0,88,$

Сумарно по двох лініях $K = 494000 : 531000 = 0,93$

Відповідно, для підземної прокладки з ізоляцією із мінеральної вати сумарно по двох лініях

$$K = 589000 : 733000 = 0,80,$$

Для підземної прокладки з ізоляцією із діатомовою цеглою сумарно по обох лініях

$$K = 303000 : 369000 = 0,82,$$

Таким чином, порівнявши величини фактичних та нормативних теплових втрат в подавальній та зворотній лініях надземної прокладки, а також сумарні втрати по обох лініях для ділянок підземної прокладки із різними типами ізоляції, втрати виявились нижче нормативних. В такому випадку теплова ізоляція ремонту або заміни не потребує.

9. ВТРАТИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВНАСЛІДОК ВІДСУТНОСТІ АБО ПОШКОДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

9.1 Втрати тепла для неізольованих трубопроводів розраховуються по формулі

$$Q = (q_1 - q_2) \cdot n \cdot L \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma_{\text{кал}}}{p}, \quad (51)$$

де q_1 - питомий тепловий потік від одного погонного метра неізольованого трубопроводу за годину, ккал/м·год (наведено в таблиці 6);

q_2 - питомий тепловий потік від одного погонного метра ізольованого трубопроводу за годину, ккал/м годину (наведено в таблиці 6);

n – кількість годин роботи за рік, год;

L - довжина неізольованого трубопроводу, м.

9.2 Визначення втрат теплової енергії для плоских поверхонь тепловикористовуючого обладнання

$$Q = (q_1 - q_2) \cdot n \cdot H \cdot 10^{-6} \frac{\Gamma_{\text{кал}}}{p}, \quad (52)$$

де q_1 - питомий тепловий потік від одного квадратного метра неізольованої поверхні плоскої стінки за годину, ккал/м²·год (наведено в таблиці 6);

q_2 - питомий тепловий потік від одного квадратного метра ізольованої поверхні плоскої стінки за годину, ккал/м²·год (наведено в таблиці 6);

n – кількість годин роботи за рік, год;

H - поверхня, м².

9.3 Визначення втрат тепла через неізольовані вентиля, засувки, компенсатори

$$Q = (q_1 - q_2) \cdot n \cdot z \cdot 10^{-6}, \frac{\Gamma_{\text{кал}}}{p}, \quad (53)$$

де q_1 - тепловий потік через один неізольований компенсатор, вентиль, чи одну засувку за годину, ккал/м² · год (наведено в таблиці 7);

q_2 - тепловий потік через одиницю ізольованого компенсатора, вентиля чи одну засувку за годину, ккал/м² · год (наведено в таблиці 7);

n – кількість годин роботи за рік, год;

z - кількість вентилів, засувок, компенсаторів, од.

Таблиця 6 - Втрати теплової енергії (при різних температурах теплоносія) поверхнями плоскої стінки (при температурі навколишнього середовища рівній +5 °С)

| Температура теплоносія, °С | Для труб при внутрішньому діаметрі, мм (ккал/м · год) | | | | | | Для плоскої стінки (ккал/м ² · год) | |
|----------------------------|---|----------|-----------|----------|-----------|----------|--|----------|
| | 75 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |
| 100 | 225/35 | 295/45 | 415/50 | 575/90 | 640/113 | 770/137 | 990/182 | 960/65 |
| 125 | 320/40 | 450/53 | 640/76 | 800/101 | 900/126 | 1150/152 | 1470/202 | 1470/73 |
| 150 | 415/45 | 590/60 | 830/84 | 1090/112 | 1280/40 | 1540/166 | 1990/200 | 1920/80 |
| 175 | 545/54 | 770/71 | 1090/100 | 1410/134 | 1730/165 | 1990/197 | 2620/ 281 | 2500/83 |
| 200 | 705/56 | 960/76 | 1345/ 108 | 1790/143 | 2180/178 | 2560/212 | 3260/315 | 3140/95 |
| 225 | 960/60 | 1150/80 | 1730/80 | 2240/150 | 2720/ 181 | 3140/220 | 4480/320 | 3840/102 |
| 250 | 1050/51 | 1440/80 | 2180/118 | 2750/145 | 3330/190 | 3840/228 | 5000/325 | 4610/109 |
| 275 | 1215/64 | 1600 /85 | 2500/121 | 3260/150 | 3900/199 | 4610/233 | 6000/345 | 5500/124 |
| 300 | 1470/71 | 1980/93 | 2880/133 | 3840/174 | 4610/218 | 5500/262 | 7050/378 | 6400/130 |

Примітка: чисельник – втрати теплової енергії неізольованою поверхнею;

знаменник – допустимі втрати теплової енергії ізольованою поверхнею.

Теплові втрати при інших значеннях температури навколишнього середовища визначаються множенням на коефіцієнт

$$K = \frac{t_{\phi} - t_{\text{вн}}}{25 - t_{\text{вн}}}, \quad (54)$$

де t_{ϕ} – фактична температура навколишнього середовища;

$t_{\text{вн}}$ – температура робочого тіла в трубі або в ємності.

Таблиця 7 - Втрати тепла вентилями, засувками та компенсаторами при температурі навколишнього середовища + 5 °С (ккал/год)

| Діаметри умовного проходу, мм | Температура теплоносія, °С | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 50 | 256/117 | 475/195 | 765/305 | 1050/420 | 1510/685 | 1990/750 | 2520/950 |
| 100 | 372/160 | 660/270 | 1055/420 | 1480/580 | 2080/885 | 2741030 | 3520/1320 |
| 200 | 630/160 | 1110/440 | 1740/690 | 2460/955 | 3360/1290 | 4540/1675 | 5800/2440 |
| 300 | 965/390 | 1680/665 | 2630/1010 | 3700/1430 | 5050/1925 | 6650/2440 | 8500/3120 |
| 400 | 1260/510 | 2250/880 | 3500/1350 | 4960/1860 | 6700/2480 | 8850/3240 | 11100/4050 |
| 500 | 1560/610 | 2760/1060 | 4300/1630 | 6150/2310 | 8450/3120 | 11250/4100 | 14500/5180 |

Примітка: чисельник – втрати теплової енергії неізолюваною поверхнею

$$\left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right);$$

знаменник – втрати теплової енергії ізолюваною поверхнею

$$\left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right).$$

Для визначення втрат тепла неізолюваними трубопроводами необхідно знати:

- а) який теплоносій протікає у трубопроводі;
- б) яка максимальна розрахункова температура теплоносія (визначається згідно проекту та методом замірів);
- в) діаметр трубопроводу (згідно з проектом або методом замірів);
- г) довжину неізолюваної частини трубопроводу (визначається методом замірів).

В залежності від того, яким методом буде вимірюватися температура поверхні трубопроводу (приладами інфрачервоного випромінювання, контактними термометрами опору чи ртутними термометрами) відбирається місце для виміру температури поверхні труби.

Якщо довжина трубопроводу більша ніж 100 м, то необхідно заміряти температуру поверхні труби на початку та в кінці неізолюваної довжини труби, а визначення середньої температури поверхні визначають за формулою

$$t_{cp} = \frac{t_n - t_k}{2} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (55)$$

де t_n - температура поверхні труби, заміряна на початку довжини неізолюваної труби, $^\circ\text{C}$;

t_k - температура поверхні труби, заміряна в кінці довжини неізолюваної труби, $^\circ\text{C}$.

Примітка: при проведенні вимірювання температури, тиску, втрат тепла, необхідно користуватися приладами, які пройшли калібрування або повірку.

9.4 Визначення втрат тепла неізолюваними теплопроводами надземної прокладки визначаються за формулою

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot \frac{(t_1 - t_0) \cdot L}{\sum R}, \quad (56)$$

де t_1 - середня температура теплоносія, $^\circ\text{C}$;

t_0 - середня температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$;

r_3 - зовнішній радіус труби або апарату, м;

$\sum R$ - сума термічних опорів на шляху теплового потоку від теплоносія до навколишнього середовища, $\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал}$;

L - довжина неізолюваної частини трубопроводу, м.

Граничні термічні опори визначаються за формулою

$$R_n = \frac{1}{\alpha \cdot r_3} \frac{\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}}, \quad (57)$$

Для неізолюваної труби повітряної прокладки формула приймає такий вигляд

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot \frac{t_1 - t_0}{R_n} \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot L \cdot (t_1 - t_0) \cdot \alpha \left(\frac{\text{ккал}}{\text{год}} \right), \quad (58)$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні труби у повітря;
коефіцієнт α визначається за формулою

$$\alpha = 8 + 0.04 \cdot t_n + 6 \cdot \sqrt{V} \quad \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad (59)$$

де t_n - температура поверхні труби, $^\circ\text{C}$;

V - швидкість вітру, м/с .

Приклад. Визначити втрати тепла неізолюваною трубою, яка знаходиться на відкритому повітрі при зовнішній температурі $+5^\circ\text{C}$ та швидкості вітру 2 м/с. Температура теплоносія в трубі 150°C , діаметр труби 216 мм, довжина 50 м, тривалість опалювального періоду 5000 годин.

Рішення. Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі від труби до повітря

$$\alpha_1 = 8 + 0.04 \cdot 150 + 62 = 22.45 \quad \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad (60)$$

тоді втрати тепла, внаслідок відсутності теплової ізоляції на трубі, складуть

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot L \cdot (t_1 - t_0) \cdot \alpha \cdot n \cdot 10^{-6} \quad \left(\frac{\text{Гкал}}{\text{год}} \right), \quad (61)$$

$$Q = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.180 \cdot 22.45 \cdot (150 - 5) \cdot 50 \cdot 5000 \cdot 10^{-6} = 555 \quad \frac{\text{Гкал}}{\text{р}}, \quad (62)$$

Втрати тепла неізолюваною трубою, прокладеною в ґрунті, визначають за формулою

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot (t_1 - t_{\text{гр}}) \cdot \lambda_{\text{гр}} \cdot L}{\ln \frac{2 \cdot a}{r}} \quad \frac{\text{ккал}}{\text{год}}, \quad (63)$$

де t_1 - середня температура теплоносія, $^\circ\text{C}$;

$\lambda_{\text{гр}}$ - коефіцієнт теплопровідності ґрунту, $\text{ккал/м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}$ - приймається для вологих ґрунтів

$$- \lambda_{\text{гр}} = 1,5;$$

для ґрунтів середньої вологості

$$- \lambda_{\text{гр}} = 1,0;$$

для сухих ґрунтів

$$- \lambda_{\text{гр}} = 0,5 \quad \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$t_{\text{гр}}$ - температура ґрунту, $^\circ\text{C}$;

r - радіус поверхні труби, яка має контакт з ґрунтом, м;
 L - довжина неізолюваного трубопроводу, м;
 a - глибина положення осі трубопроводу від поверхні землі, м.

Приклад. Визначити втрати тепла неізолюваним теплопроводом діаметром 80 мм, довжиною 100 м, прокладеного в ґрунті. Температура ґрунту $t_{zp} = + 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Глибина прокладання теплопроводу $a = 0,5$ м, термін роботи теплопроводу - $3700 \frac{\text{год}}{\text{р}}$, температура теплоносія - $+ 190 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рішення. Коефіцієнт теплопровідності ґрунту приймається рівним

$$\lambda_{\text{тр}} = 1,5 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{ }^\circ\text{C}};$$

тоді втрати тепла за рік, розраховані за формулою (63), складають (Гкал/р)

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot (t_1 - t_{zp}) \cdot \lambda_{zp} \cdot L}{\ln \frac{2 \cdot a}{r}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (90 - 5) \cdot 1,5 \cdot 100 \cdot 3700 \cdot 10^{-6}}{\ln \frac{2 \cdot 0,5}{0,04}} = 200 \frac{\text{Гкал}}{\text{р}},$$

Втрати тепла неізолюваним теплопроводом, який прокладено в каналі, визначається формулою

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot \frac{t_1 - t_k}{\sum R} \cdot L \frac{\text{ккал}}{\text{год}}, \quad (64)$$

де t_1 – середня температура теплоносія, $^\circ\text{C}$;

t_k - температура повітря у каналі, $^\circ\text{C}$;

$\sum R$ – сума термічних опорів на шляху потоку тепла від теплоносія до навколишнього середовища, $\frac{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}{\text{ккал}}$.

Граничні термічні опори визначаються за формулою

$$R = \frac{1}{\alpha \cdot r_3} \frac{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}{\text{ккал}}, \quad (65)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні труби до повітря (приймається

рівним $5 \div 10 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$);

r_3 - зовнішній радіус труби, м.

Внутрішній термічний опір визначається за формулою

$$R = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_3}{r_6} \quad \frac{м \cdot год \cdot ^\circ C}{ккал}, \quad (66)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності труби $\frac{ккал}{м \cdot год \cdot м \cdot ^\circ C}$ (для сталевих труб $\lambda = 43 \frac{ккал}{м \cdot год \cdot м \cdot ^\circ C}$);

Тоді втрати теплопроводом, який прокладено в каналі, визначається формулою

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_1 - t_k) \cdot L \cdot n \cdot 10^{-6}}{\frac{1}{\lambda \cdot r_6} + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_3}{r_6}} \quad \frac{Гкал}{р}, \quad (67)$$

де n - час роботи теплопроводу за рік, год;

r_6 – внутрішній радіус труби.

Приклад. Визначити втрати тепло неізолюваним теплопроводом, який прокладений у каналі, діаметром 59 мм, довжиною 92 м. Температура теплоносія 130 °С, температура повітря у каналі 40 °С, термін роботи теплопроводу 5040 годин на рік.

Рішення. Граничний термічний опір визначається за формулою (65)

$$R_n = \frac{1}{\alpha \cdot r_3} \quad \frac{м \cdot год \cdot ^\circ C}{ккал},$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, приймаємо рівним $10 \frac{ккал}{год \cdot м^2 \cdot ^\circ C}$,

$r_3 = 0,0295 м$.

$$R_n = \frac{1}{10 \cdot 0,0295} = 3,39 \frac{м \cdot год \cdot ^\circ C}{ккал},$$

Внутрішній термічний опір визначається за формулою (66)

$$R_6 = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_3}{r_6} \quad \frac{м \cdot год \cdot ^\circ C}{ккал},$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності труби, $\frac{ккал}{год \cdot м \cdot ^\circ C}$ (для сталевих труб $\lambda = 43 \frac{ккал}{год \cdot м \cdot ^\circ C}$),

Сумарний термічний опір складає

$$\sum R = R_n + R_g = 3,39 + 0,00389 = 3,39389 \frac{\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{С}}{\text{ккал}},$$

Втрата тепла неізолюваним теплопроводом, який прокладений у каналі, визначається за формулою (64) Гкал/р.

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_1 - t_k) \cdot L \cdot n \cdot 10^{-6}}{\sum R} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot (130 - 40) \cdot 92 \cdot 5040 \cdot 10^{-6}}{3.39389} = 77 \frac{\text{Гкал}}{\text{р}}.$$

10. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТА ВИПРОБУВАННЯХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

10.1 Основні положення

Обслуговування, ремонт, випробування та наладка тепловикористовуючих пристроїв, теплових мереж промислових підприємств повинні проводити у відповідності з правилами техніки безпеки Держнаглядохоронпраці.

При технічній експлуатації парових та водогрійних котлів необхідно дотримуватись вимог “Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов”.

У виробничих підрозділах, на основі міжгалузевих та галузевих правил по охороні праці та правил Держнаглядохоронпраці розробляються місцеві інструкції по безпечній експлуатації технологічного обладнання.

Контроль за дотриманням правил охорони праці проводиться профспілками та керівниками підрозділів. Нагляд за безпечною експлуатацією котлів, посудин, працюючих під тиском, трубопроводів та іншого обладнання, яке має підвищену небезпеку для виробництва, виконують інспектори Держнаглядохоронпраці.

10.2. Техніка безпеки при експлуатації теплових мереж та теплових пунктів

Теплові мережі, прокладені у непрохідних каналах та безканально, обслуговує бригада слюсарів - сантехників у кількості не менше як дві особи. За бригадою закріплюються ділянки теплових мереж. До виходу на ділянку старший слюсар ознайомлюється з параметрами теплових мереж, після чого отримує дозвіл керівника підрозділу на виконання роботи.

У теплових камерах виконуються роботи бригадою з трьох слюсарів по наряду. Кожний працівник забезпечується засобами захисту, відповідних до умов праці, з обов'язковим застосуванням запобіжних поясів та страховочних канатів. До початку спуску у теплову камеру перевіряють наявність газу у ній, за допомогою переносних газоаналізаторів. Дві особи повинні знаходитись за межами камери та постійно спостерігати за працюючим у камері, притримуючи

кінець канату та рятувального поясу. Час перебування у камерах визначається місцевими умовами.

При наземній прокладці теплових мереж на висоті до 2,5 м від поверхні землі обслуговування їх дозволяється виконувати з драбини. На опорах, кронштейнах і ділянках естакад, де на висоті більше 2,5 м розташовані елементи обладнання, що потребує обслуговування, встановлюється площадка з перилами та постійними драбинами.

Після закінчення будівництва або ремонту на теплових мережах проводять гідравлічні випробування тиском рівним 1,25 робочого, при температурі води не більше 40 °С. Крім випробувань на розрахунковий тиск, вони випробуються на розрахункову температуру. Одночасно проводити два випробування забороняється.

При випробуваннях теплових мереж на розрахункові параметри теплоносія забороняється:

- виконувати на ділянках будь-які роботи, що не пов'язані з випробуваннями;
- знаходитись біля фланцевих з'єднань трубопроводів;
- опускатися у теплові камери без дозволу керівника робіт.

При випробуваннях на розрахунковий тиск теплоносія забороняється проводити різке підняття тиску. Збільшення або зниження температури при випробуваннях теплової мережі на розрахункову температуру теплоносія необхідно проводити з швидкістю не більше 30 °С/год. Обхід теплових камер та каналів під час випробувань проводять по затвердженій програмі.

Забороняється виконувати ремонт на обладнанні, яке знаходиться під тиском. До початку ремонту теплових мереж керівник зобов'язаний підготувати робоче місце для забезпечення безпечного виконання робіт:

- перевірити теплову камеру непрохідного, напівпрохідного або прохідного каналів на наявність газу;
- виконати необхідні переключення;
- зачинити на замок засувки та вентиля з обох сторін ділянки теплової мережі, що відключається.

Злив води або пари виконується через спускну арматуру. Зниження тиску у трубах за допомогою послаблення частки болтів фланцевих з'єднань дозволяється у виняткових випадках, коли засмічене спускне обладнання.

11. СПІВІДНОШЕННЯ МІЖ ДЕЯКИМИ ОДИНИЦЯМИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН СИСТЕМИ МКГСС ТА ОДИНИЦЯМИ СИ

| Величина | Найменування, означення та співвідношення одиниць | |
|---|---|---|
| | МКГСС та теплові одиниці, основані на калорії | СИ |
| Сила | кілограм, кгс; 1 кгс = 9,8Н | ньютон, Н; 1Н= 0,102 кгс |
| Тиск | атмосфера, ат; $1 \text{ ат} = \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} =$ $= 98066,5 \text{ Па}; 1 \text{ мм.вод.ст.} =$ $= 1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 9,81 \text{ Па}$ | паскаль, Па; $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,102$ $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 0,102 \text{ мм.вод.ст.}; 1 \text{ МПа} =$ $= 10^6 \text{ Па} = 10,2 \text{ ат}$ |
| Робота (енергія) кількість теплоти | кілограм-сила-метр; $1 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ $= 9,81 \text{ Дж}; 1 \text{ ккал} = 4187 \text{ Дж};$ $1 \text{ Гкал} = 418000 \text{ кДж} = 4,19 \text{ ГДж}; 1$ $\text{кВт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ кДж}$ | джоуль, Дж; $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,102 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 0,239 \text{ ккал};$ $1 \text{ кДж} = 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} = 102 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 0,239$ $\text{ккал} = 0,278 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{год};$ $1 \text{ ГДж} = 0,239 \text{ Гкал} = 278 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ |
| Потужність | кілограм-сила-метр в секунду, $\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; кінська сила, к.с. $1 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{с}} = 9,81 \text{ Вт}; 1 \text{ к.с.} =$ $735,5 \text{ Вт} = 0,7355 \text{ кВт}$ | ват, Вт; $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 0,001 \text{ кВт} =$ $102 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{с}} = 0,239 \frac{\text{ккал}}{\text{с}}; 1 \text{ кВт} =$ $= 1 \frac{\text{кДж}}{\text{с}} = 3600 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}; 1 \text{ МВт} =$ $= 0,86 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}$ |
| Питома теплоємність | кілокалорія на кілограм-градус Цельсія $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; $1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ | джоуль на кілограм – кельвін, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}; 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} = 0,239 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ |
| Теплопровідність | кілокалорія за годину на метр-градус Цельсія, $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}; 1 =$ $1 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}} = 1,16 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ | ватт на метр – кельвін, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} = 0,862 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}$ |
| Коефіцієнт теплообміну, тепловіддачі, теплопередачі | кілокалорія за годину на квадратний метр-градус Цельсія; $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}; 1 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}} = 1160 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ | ватт на квадратний метр-кельвін, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$ $1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} = 0,00086 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}$ |

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Бурдун Г.Д. Справочник по международной системе единиц. М., Издательство стандартов, 1972.

Инструкция по эксплуатации тепловых сетей. М., Энергия, 1972.

Правила технической эксплуатации электростанций и сетей. М., Стройиздат, 1973.

Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды. М., Недра, 1970.

СниП 11-36-73. Тепловые сети. М., Стройиздат, 1974.

Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М., Энергия, 1975 .

Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. М., Стройиздат, 1965.

Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. М., Высшая школа, 1972.

Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М., Энергия, 1976.

Манюк В.И., Каплинский Я.И. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей. М., Стройиздат, 1977.

Методика визначення неефективного використання паливно - енергетичних ресурсів, Наказ Держкоменергозбереження, № 123 від 27.11.01р.