МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

Кафедра фізика нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр

«Аналіз процесів теплопереносу при канальних прокладках теплових мереж»

Виконав: студент 4 курсу, групи НФ-42

Мамедов Мамед

Спеціальність:

«Прикладна фізика та наноматеріали»

Керівник: к.т.н., доцент Алексахін О.О.

Рецензент: Ольга Круглякова

Харків - 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Факультет фізико-енергетичний

Кафедра фізика нетрадиційних енерготехнологій та екології

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) «бакалавр»

Спеціальність 105 — прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **О.П. Кулик**

підпис ініціали, прізвище

“____” _____20___року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Мамедова Мамеда

(прізвище, ім’я, по батькові студента)

1. Тема роботи Аналіз процесів тепло переносу при канальних прокладках теплових мереж

керівник роботи Алексахін Олександр Олексійович, доцент. к.т.н.

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “27”квітня 2022 року № 4201-5/21

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Перелік питань, які потрібно розробити: Особливості процесу теплопередачі залежно від способу прокладки теплопровода. Обчислення складових опору теплопередачі для підземної прокладки теплопроводів у непрохідних каналах. Обчислення теплових втрат у теплопроводах розподільних мереж. Визначення коефіцієнтів конвективного і радіаційного теплообміну у непрохідних каналах.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Аналіз способів прокладки теплопроводів. Конструктивні елементи теплових мереж.
2	Визначення складових опору теплопередачі для підземної прокладки теплопроодів у непрохідних каналах.
3	Обчислення втрат теплоти трубопроводами теплових мереж.
4	Оцінка теплопереносу у просторі непрохідного каналу розподільної теплової мережі.
5	Аналіз результатів обчислень.
6	Оформлення пояснювальної записки.

5. Дата видачі завдання_____

Студент _____ **Мамедов Мамед**

підпис ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ **Олександр Алексахін**

підпис ініціали, прізвище

Реферат

Мамедов Мамед «Аналіз процесів тепло переносу при канальних прокладках теплових мереж» (випускна робота «бакалавр»). – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2022. – 43 с.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків; містить 19 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел з 15 найменувань.

Здійснено обчислення теплових потоків з поверхні теплопроводів у непрохідних каналах розподільних теплових мереж. Аналіз результатів обчислення коефіцієнтів теплообміну засвідчив, що у непрохідному каналі переважає перенос теплоти конвекцією. Конвективна складова від загального теплопереносу становить 70-80%.

Ключові слова: централізоване теплопостачання; розподільні теплові мережі; втрати теплоти теплопроводами; опір теплопередачі ізольованих трубопроводів; непрохідні канали.

Abstract

Mamedov Mamed "Analysis of heat transfer processes in the channel laying of thermal networks "(final work "bachelor")- Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2020. - 43 p.

The work consists of an introduction, three chapters, conclusions; contains 19 figures, 9 tables, a list of used sources of 15 items.

The calculation of heat fluxes from the surface of heat pipelines in impassable channels of distribution heat networks is carried out. The analysis of the results of the calculation of the heat transfer coefficients showed that convection heat transfer predominates in the impassable channel. The convective component of the total heat transfer is 70-80%.

Key words: district heating; distribution heating networks; heat loss by heat pipes; heat transfer resistance of insulated pipelines; impassable channels.

Зміст

Вступ 6

Розділ 1. Способи прокладки теплових мереж і конструктивні характеристики непрохідних каналів.....8

Розділ 2. Теплові розрахунки теплопроводів……..17

Розділ 3. Особливості обчислення опору теплопередачі для підземної прокладки теплопроводів ….....…….....21

3.1. Методика розрахунку теплопереносу у непрохідних каналах для двотрубного способу прокладки теплових мереж…….25

Розділ 4. Обчислення теплопереносу у непрохідному каналі для однотрубної прокладки мереж…….....30

4.1 Теплові розрахунки теплових мереж…….35

Висновки 40

Список використаних джерел та літератури 41

ВСТУП

Відмінною особливістю теплопостачання великих міст України є система централізованого теплопостачання, яка формувалася протягом кількох десятиліть. Централізації виробництва та розподілу тепла сприяло декілька факторів, зокрема покращене використання палива, більші можливості для боротьби із забрудненням навколишнього середовища та нижчі експлуатаційні витрати, серед іншого. Використання когенерації може підвищити коефіцієнт використання палива до 85%. Проте будівництво потужної ТЕЦ економічно виправдано за наявності великих централізованих споживачів. Необхідність прокладки довгострокових теплових мереж значно знижує ефективність та розміри використання ТЕЦ.

Незважаючи на відомі недоліки систем централізованого теплопостачання та зростаючу тенденцію до децентралізації, існуючі системи продовжуватимуть працювати протягом тривалого часу.

Активна політика енергозбереження допомагає вирішити багато проблем у сфері вироблення і використання енергії. Цей напрямок зумовлений головним чином економічними факторами. Підраховано, що капітальні вкладення споживчої промисловості в паливно-енергозберігаючі заходи приблизно в 2-3 рази менші за капіталовкладення, необхідні для виробництва такої ж кількості енергії.

Для зниження енергоспоживання теплопостачання необхідно провести модернізацію генеруючого обладнання ТЕЦ, підвищити ККД котельні та зменшити втрати тепла в тепловій мережі. Важливим резервом підвищення ефективності теплопостачання є зниження тепловтрат споживачами.

Основною структурною одиницею великих і малих міст є мікрорайон. Крім того, він має тенденцію до збільшення загального масштабу і всіх показників мікрорайону. За період становлення та розвитку систем централізованого теплопостачання місцева інженерна інфраструктура стала однією з ланок складної та розгалуженої системи. Мінімізація теплоспоживання

поселень передбачає зниження рівня споживання тепла системами опалення та гарячого водопостачання та втрат тепла при транспортуванні. Економія енергії в системах опалення може бути забезпечена при впровадженні містобудівних заходів (для будівель, що будуються). підвищений термостійкість огороджувальної конструкції; зниження проникнення повітря; Використання системи опалення, що працює періодично. Зменшити невиправдані втрати води та зменшити втрати тепла в системах гарячого водопостачання шляхом впровадження високоефективної ізоляції магістралей та стояків. Забезпечує надійну циркуляцію гарячої води всередині будівлі. Обладнання елементів системи завдяки автоматизації сприяє покращенню ситуації з теплопостачанням.

Розділ 1. Способи прокладки теплових мереж і конструктивні характеристики непрохідних каналів.

За останні десятиліття в українських містах побудовано централізоване теплопостачання. Основним джерелом тепла у великих містах є теплові електростанції. Електростанція, яка використовує пару від парогенератора для виробництва електроенергії. Зазвичай він заснований на комбінованій тепловій та енергетичній реалізації.

Завданням теплопостачання є забезпечення необхідних комфортних умов для опалювального приміщення. Рішенням цієї проблеми є правильна експлуатація джерел тепла, а також зовнішніх і внутрішніх теплових мереж, у тому числі утеплення будівлі. Дефекти правильної роботи цих елементів, що експлуатуються та належать конкретному власнику, призводять до надмірних витрат енергоносіїв на опалення та порушення температури в опалювальних установках.

Завдання опалювальної системи будь-якої будівлі – підтримувати в приміщенні потрібну температуру, коли температура навколишнього середовища може істотно змінюватися в залежності від пори року і сильно залежить від географічного положення. Для забезпечення заданого режиму теплова енергія має надходити від опалювальної системи, розрахованої та спроектованої на найхолодніший період року разом із певними параметрами навколишнього середовища для компенсації споживання тепла через перепад температур. Температура навколишнього середовища - t3, (0 °C) і швидкість вітру - wB, (м/с).

Основним джерелом тепла в малих і середніх містах стали котельні. Теплопостачання у великих містах є складною структурою, оскільки є великі ТЕЦ та котли різної потужності. Часто до складу міських структур теплопостачання входять котельні та ТЕЦ промислових підприємств.

Важливим елементом системи теплопостачання, що з'єднує споживачів тепла з джерелом, є тепломережа. За кількістю паралельно розміщених трубок можна виділити одну трубку, дві трубки (відкриті і закриті) і кілька трубок. Якщо середньогодинна витрата води на опалення та вентиляцію збігається із середньо годинною витратою води на гарячу воду, то потрібна найдешевша однотрубна система. Для існуючих будівельних умов цей показник споживання води часто може бути винятком. Три трубні системи зазвичай використовуються в промислових системах опалення з постійним споживанням води в залежності від технічних вимог. Через високу вартість металу чотири трубна система використовується лише в невеликих системах для спрощення абонентського введення. Ці системи призначені для транспортування теплоносій різних параметрів і агрегатного стану. Двотрубна система буває закрита і відкрита.

Вони відрізняються технологією водопідготовки в місцевих системах гарячого водопостачання. У відкритих системах вода для гарячого водопостачання в основному забирається з теплової мережі (рис. 1.1). Недоліком такого підходу є велика потужність всіх водоочисних установок, яким доводиться очищати всю воду, що подається в систему водопостачання. Завдяки цьому схема використовується тільки при низькій жорсткості природної води, а при закритих системах гарячого водопостачання використовується водопровідна вода, яка нагрівається в теплообміннику теплоносієм з теплової мережі (рис. 1.2). Недоліками замкнутих контурів є необхідність використання інших водонагрівачів, а також обов’язкове облаштування так званої внутрішньої квартальної мережі трубопроводів.

Незважаючи на ці недоліки, в плані передбачена малопотужна очисна установка, оскільки теплоносій не витрачається, а просто повертається в котел, коли споживачам необхідно отримати гарячу питну воду з міського водопроводу. Крім того, котел працює при постійному тиску, який не залежить від тиску в системі гарячого водопостачання.

Завдяки цим перевагам сьогодні широко використовуються закриті системи гарячого водопостачання.

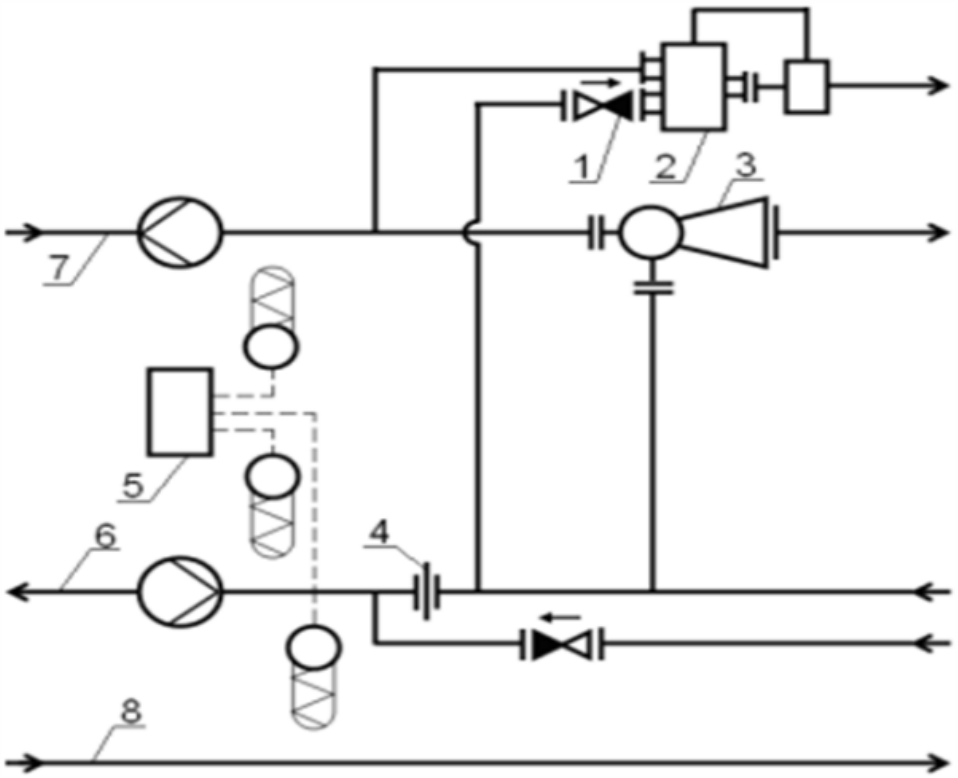


Рис. 1.1. – Під'єднання системи гарячого водопостачання при відкритій схемі теплозабезпечення: 1 – зворотній клапан; 2 – терморегулятор; 3 – елеватор; 4 – дрюсельна шайба; 5 – тепловий, лічильник; 6, 7 – теплова мережа; 8 – водопровід холодної води

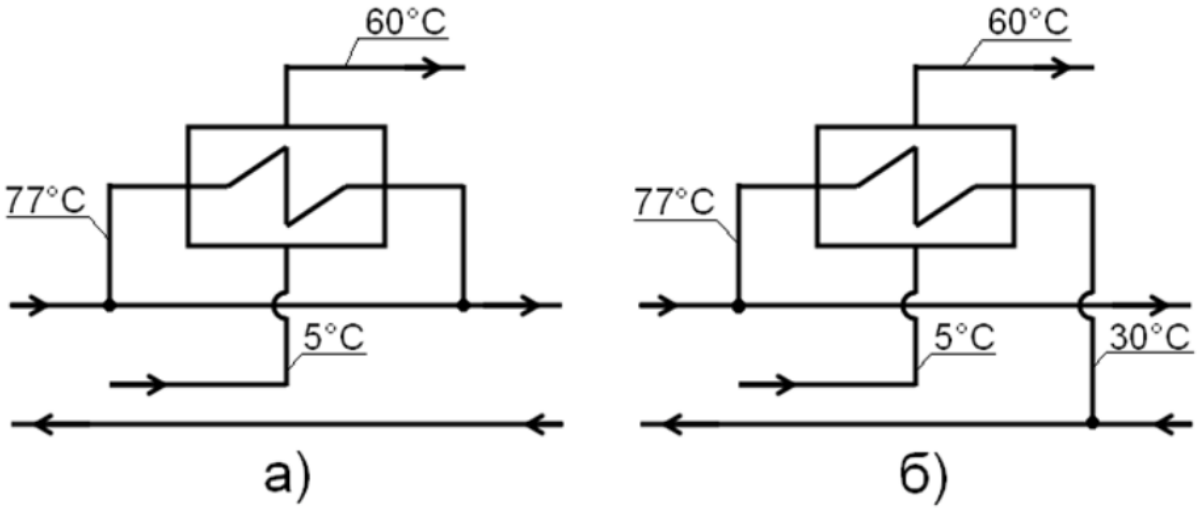


Рис. 1.2 – Одноступінчасті схеми під'єднання водопідігрівників до закритихтеплових мереж:

а – послідовна; б – перед включена (паралельна)

До складу системи теплопостачання входять магістральний і розподільний теплопроводи. Магістральні теплопроводи характеризуються найвищими параметрами теплоносія, ніж, наприклад, приєднані будівельні системи. Температура води в подаючому трубопроводі тепломережі знизилася від значення в магістральному трубопроводі до значення в розподільній мережі, що вимагало спорудження спеціальних теплових пунктів.

В даний час магістральна тепломережа повинна бути важливим і надійним елементом у створенні теплової мережі. Ця надійність повинна зростати з збільшенням кількості споживачів, які можна підключити, і діаметра трубопроводу. При плануванні магістральної теплової мережі необхідно також враховувати роботу ТЕЦ і котелень, розташованих у тепловій зоні, а також забезпечувати резервування джерел тепла.

У теплових мережах застосовуються такі основні способи монтажу:

В непрохідному руслі; в напівпроникних каналах; в тунелях (прохідних каналах); на загальний колектор з іншими комунікаціями; технічні коридори в підвалах і технічних підвалах будівель; наземне укладання - окремо стоїть на шляхопроводах з прогоновими конструкціями або на високих опорах (щоглах); низькі опори (стійки, шпали тощо); на стіні всередині або зовні будівлі. Для житлових районів міст і селищ, виходячи з архітектурних міркувань, використовується підземне облаштування теплових мереж.

Наземне укладання в житлових районах використовується як виняток для особливо складних ґрунтових умов (вічна мерзлота, що опускається під час відтавання, незабудовані землі, болота тощо).

На рис.(1.3 і 1.4) наведені орієнтовні прив'язки при прокладанні двотрубної мережі гарячого водопостачання в непрохідному комплексному руслі стандартної серії ІС-01-04.

Цей тип прокладки можна використовувати в будь-яких грунтових умовах з пристроями в зоні ґрунтових вод відповідного фільтраційного дренажу або гідроізоляційної пасти.

Безканальні прокладки використовуються для теплоносія тільки при температурі не вище 180 °С і в хороших грунтових умовах.

У сейсмічних зонах понад 7 балів, просіданнях і мерзлотних ґрунтах, а також на шахтних ділянках забороняється використання безпровідних прокладок.

Прокладка двотрубних водяних опалювальних мереж на ділянках з безканаловою прокладкою в оболонках з автоклавного пінобетону. Прокладка на напівпрохідних каналах в основному використовується в містах з інтенсивним рухом або на перетині покращених площ і проїздів у деяких ділянки маршруту. Після умов експлуатації напівпроникний повітропровід вважається непрохідним, а обслуговуючому персоналу дозволяється входити в напівпроникний повітропровід, лише якщо трубопровід не працює.

У житлових приміщеннях тепломережі зазвичай не встановлюють в тунелях. Спільне прокладання теплових мереж з іншими спільними інженерними мережами через тунельні колектори використовується у великих містах при реконструкції існуючих доріг та при будівництві нових доріг (рис. 1.3), а в деяких випадках у великих житлових районах при новобудовах.

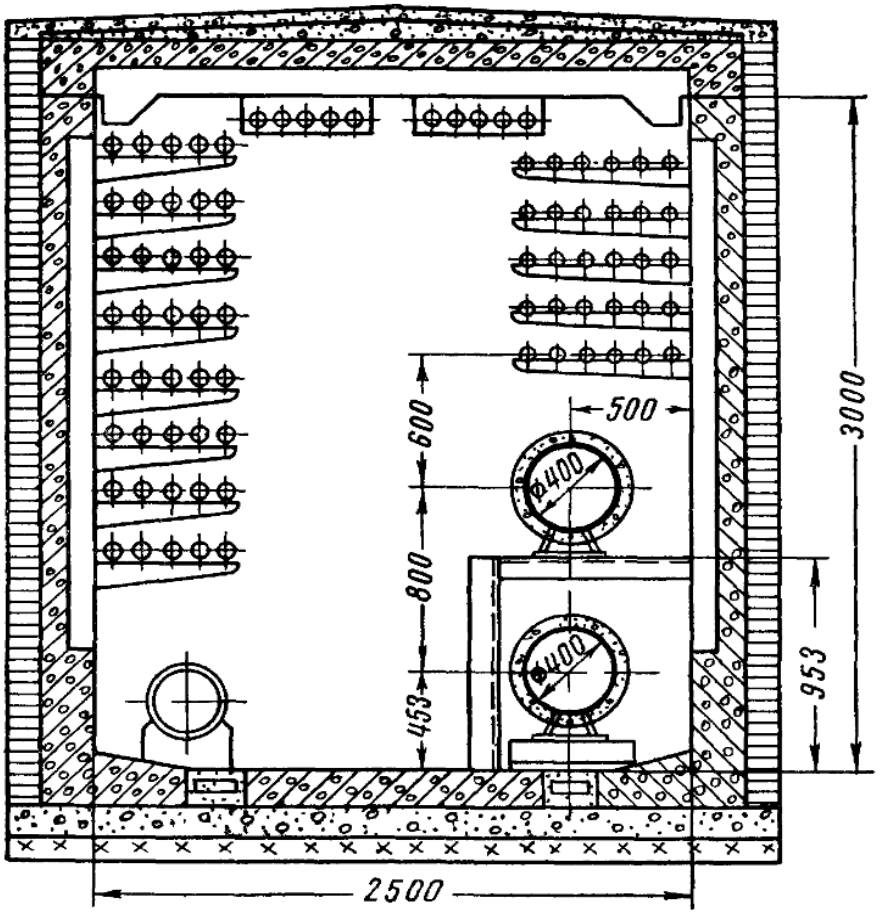


Рис. 1.3 – Спільне прокладання теплових мереж з іншими міськими інженерними мережами у загальних колекторах.

Таблиця.1.1 – Розміщення двотрубних водяних теплових мереж у непрохідних одно осередкових каналах (* Тільки для непросадних грунтів).

Трубы D_y в мм	Марка канала	Одноячейковый канал, размеры в мм						Эскиз
		а	б	в	г	h	H	
25	КЛ60-45	600	175	250	175	196	460	
32	КЛ60-45	600	175	250	175	196	460	
40	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
50	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
70	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
80	КЛ60-45	600	150	300	150	196	460	
100	КЛ90-45	900	225	450	225	196	460	
125	КЛ90-45	900	225	450	225	196	460	
150	КЛ90-45	900	225	450	225	196	460	
175*	КЛ120-60	1200	340	600	340	196	590	
200*	КЛ120-60	1200	340	600	340	196	590	
250*	КЛ120-60	1200	340	600	340	196	590	
175	КЛс150-90	1500	450	600	450	196	830	
200	КЛс150-90	1500	450	600	450	196	830	
250	КЛс150-90	1500	450	600	450	196	830	
300	КЛс150-90	1500	400	700	400	246	830	
350	КЛс150-90	1500	400	700	400	246	830	
400	КС210-90	2100	550	1000	550	246	900	
500	КС210-90	2100	550	1000	550	246	900	

Крім тепломережі, в колекторах прокладено силові та освітлювальні кабелі від водопровідної мережі, кабелі зв’язку, напругою до 35 кВ та зливової каналізації.

Для розподільних мереж гарячого водопостачання діаметром не більше 300 мм дозволяється прокладати житлові та громадські будинки в технічних коридорах або технічних підвалах за умови збільшення довжини шляху та не ведення опалювальних мереж одночасно з будівництво. будівлі. Якщо в підвалі будівлі виділено спеціальний технічний коридор з незалежним виходом на поверхню, його можна розмістити під існуючою будівлею.

На території промислових підприємств тепломережі можна розміщувати зовні або всередині будівель за умови, що не порушуються умови безпеки та норми освітлення та не потрібно армування будівельних конструкцій.

Наземне прокладання є кращим, якщо підприємство приймає наземне прокладання технічних трубопроводів і є технічна можливість спільного прокладання всіх трубопроводів на загальній естакаді або високій опорі.

Наземне поховання рекомендується використовувати в поганих гідрогеологічних умовах (високий рівень грунтових вод, просідання ґрунтів тощо).

Для паропроводів з тиском пари Р^22 кг/см2г зазвичай використовуються тільки естакади або надземні прокладки на високих опорах.

Підземне прокладання теплових мереж промислових підприємств використовується з хорошими гідрогеологічними умовами та невеликою кількістю труб (Б-4). На основних ділянках траси, де збільшується кількість і діаметр трубопроводів, може бути доцільним будівництво наскрізних каналів (тунелів).

Не дозволяється прокладати тепломережі в непрохідних каналах або тунелях підприємств з трубопроводами стисненого повітря з тиском понад 16 кг/см2, трубопроводами горючих і токсичних рідин, силовими та

освітлювальними кабелями та кисневими трубопроводами з фекаліями. трубопровід дощової води.

У промислових районах, неосвоєних районах міст і селищ (території, що не забудовуються через розриви між підприємствами та будинками, грунтові умови, рельєф тощо), укладання стелі зазвичай використовується на низьких опорах (опорах або шпалах). При цьому високі опори і шляхопроводи використовуються на багатьох перетинах з автомобільними та залізними дорогами.

Для невеликої кількості залізничних колій допускається перетин останніх з теплотрубами без використання спеціальних високих опор (рис. 1.4).

Таблиця 1.2. – Розміщення двотрубних водяних теплових мереж у непрохідних двоосередкових каналах.

Диаметр трубопровода $D_у$ в *мм*	Марка канала	Двухячейковый канал, размеры в *мм*						Эскиз
		а	*б*	*в*	*г*	*h*	*H*	
175	2КЛс60-60	600	260	860	100	196	590	
200	2КЛс60-60	600	260	860	100	196	590	
250	2КЛс60-60	600	260	860	100	196	590	
400	2КЛс90-90	900	260	1160	100	246	910	
500	2КЛс90-90	900	260	1160	100	246	910	
600	2КЛс120-120	1200	300	1500	100	246	1170	
700	2КЛс120-120	1200	300	1500	100	246	1170	
600	2КС120-120	1270	160	1430	—	246	1200	
700	2КС120-120	1270	160	1430	—	246	1200	
800	2КС120-120	1270	160	1430	—	246	1200	
900	2КС150-150	1570	160	1730	—	296	1500	
1000	2КС150-150	1570	160	1730	—	296	1500	
1200	2КС180-180	1800	160	1960	—	301	1800	

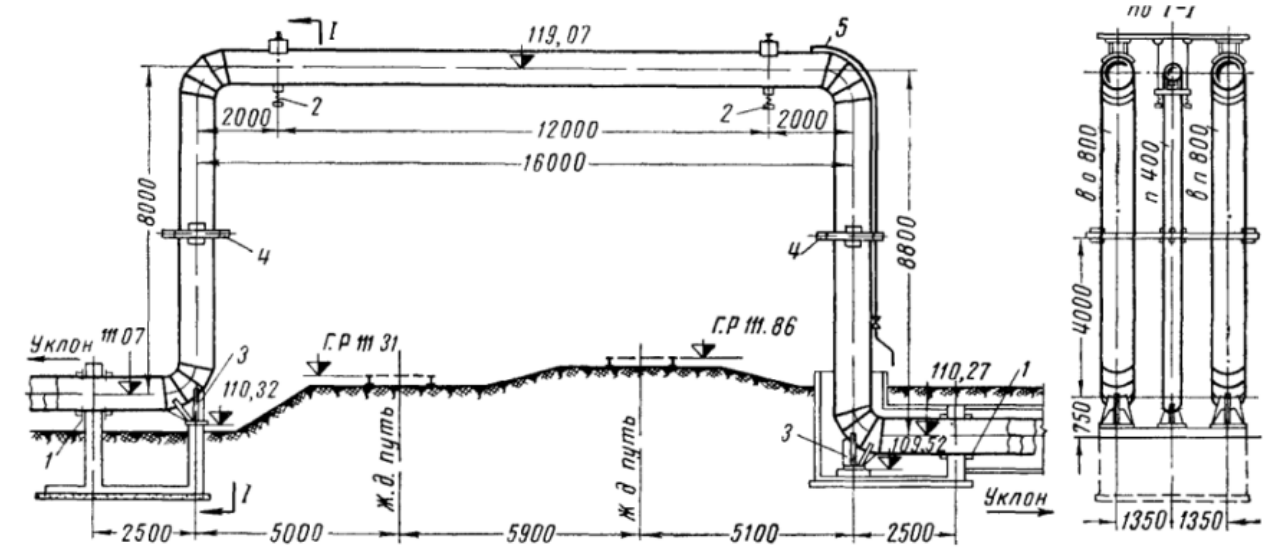


Рис. 1.4. Перетин залізничних колій теплопроводами без застосування спеціальних високих опор / - Нерухомі опори; 2 - підвісні пружинні опори; 3 - підп'ятники; 4 - рами жорсткості; 5 - трубка для випуску повітря (ізолюються разом із основними трубами); р.н. - Головки рейок; п.п. - Водовід подає, в.о. - Водовід зворотний; п - паропровід

У районі видобутку тепломережі прокладають тільки на низьких опорах.

Спосіб укладання на мерзлотних ґрунтах значною мірою залежить від властивостей ґрунту та впливу тепла на трубопроводи теплової мережі. При прокладці теплової мережі під землею на глибині відтавання незатоплюючих ґрунтів (скелет, скелетів тощо). Цей же метод використовується і поза межами вічної мерзлоти.

Якщо шлях теплової мережі проходить через зону будівлі, в якій зведені всі будівлі, з урахуванням збереження вічної мерзлоти, на дистанціях прольоту, на низьких або високих опорах, на горищах користуються прокладками. будівлі, на висоті яких відсутня підземна вентиляція. Порушують вічну мерзлоту.

Виняток становить підземний спосіб захоронення в непрохідному каналі або тунелі. У цьому випадку непрохідні водні шляхи та тунелі повинні бути забезпечені вентиляцією для видалення або мінімізації відтавання ґрунту, подачі певної кількості холодного повітря.

Поглиблення каналів і тунелів вважається мінімальним, а перекриття каналів проектуються над рівнем землі, якщо це дозволяють місцеві умови.

Вбудовування в будівлі в зонах вічної мерзлоти завжди здійснюється над землею. При прокладці труби під землею на відгалуження до будинку на відстані 10 м від входу розмітка підлоги першого поверху знімається з швелера, а на цій ділянці укладаються невисокі опори.

Розділ 2. Теплові розрахунки теплопроводів

За конструкцією має балкові (тупикові) і кільцеві теплові мережі. Перші простіші, дешевші та зручніші в експлуатації і частіше застосовуються за наявності одного джерела тепла (рис. 2.1 а). Мінусом такого плану є те, що в разі аварії на будь-якій ділянці подача теплоносія всім споживачам припиняється. Частково цю проблему можна вирішити, встановивши резервну перемичку. Кільцеві тепломережі (рис. 2.1, б) дорожчі за тупикові, але забезпечують повне резервування і безперебійне теплопостачання всіх споживачів. У нормальних умовах кільцева мережа веде себе як промінь із закритими засувками на кільці. Кільцеві мережі використовуються лише для споживачів, яким ніколи не дозволяється відключатися навіть на короткий період з технічних причин.

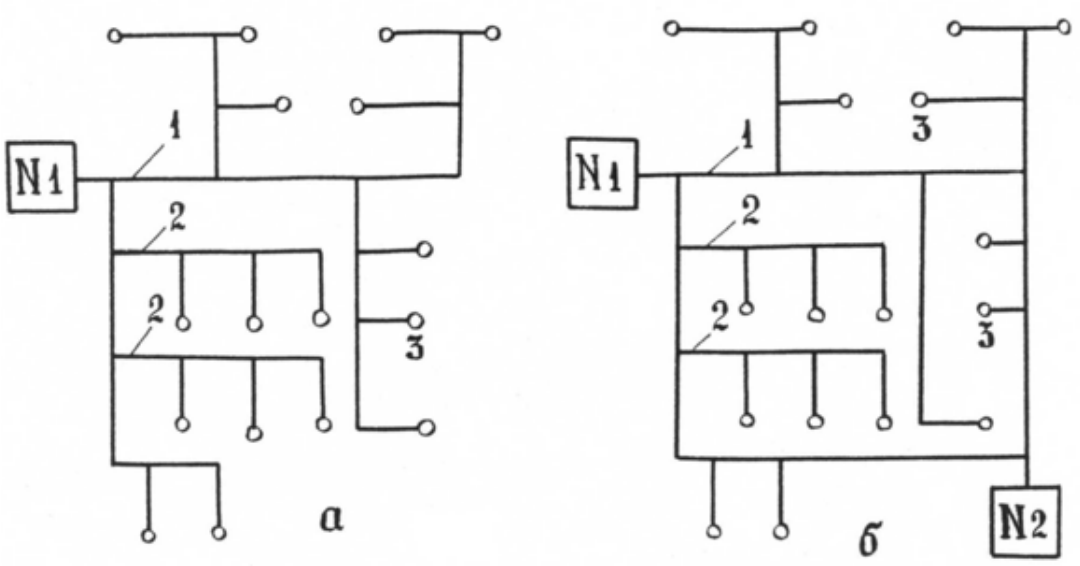


Рис.2.1 – Схеми теплових мереж: а – тупикова; б – кільцева; N1, N2 – джерела теплопостачання; 1 – магістральні мережі; 2 – розподільчі мережі; 3 – відгалудження.

До основних елементів міських теплових мереж належать трубопроводи, компенсаційні шви, рухомі та стаціонарні опори, утеплювач.

Нанесіть ізоляцію на теплові труби, щоб зменшити втрати тепла в навколишнє середовище. Склад утеплювача може складатися з одного або

декількох шарів. В останньому випадку, крім основного ізоляційного шару з матеріалу з низькою теплопровідністю (мінеральна вата, скловата, азбест, пінополіуретан, пінополістирол та ін.), до складу входить гідроізоляційний шар, який є шаром що захищає основу. Шари внаслідок механічних пошкоджень. Приклад ізоляції труб наведено на рисунку 2.2. Крім труб, утеплюються також фланці та фітинги. Там, де необхідні контроль і періодичний доступ для технічного обслуговування, він складається з елементів, які можна видалити з ізоляції.

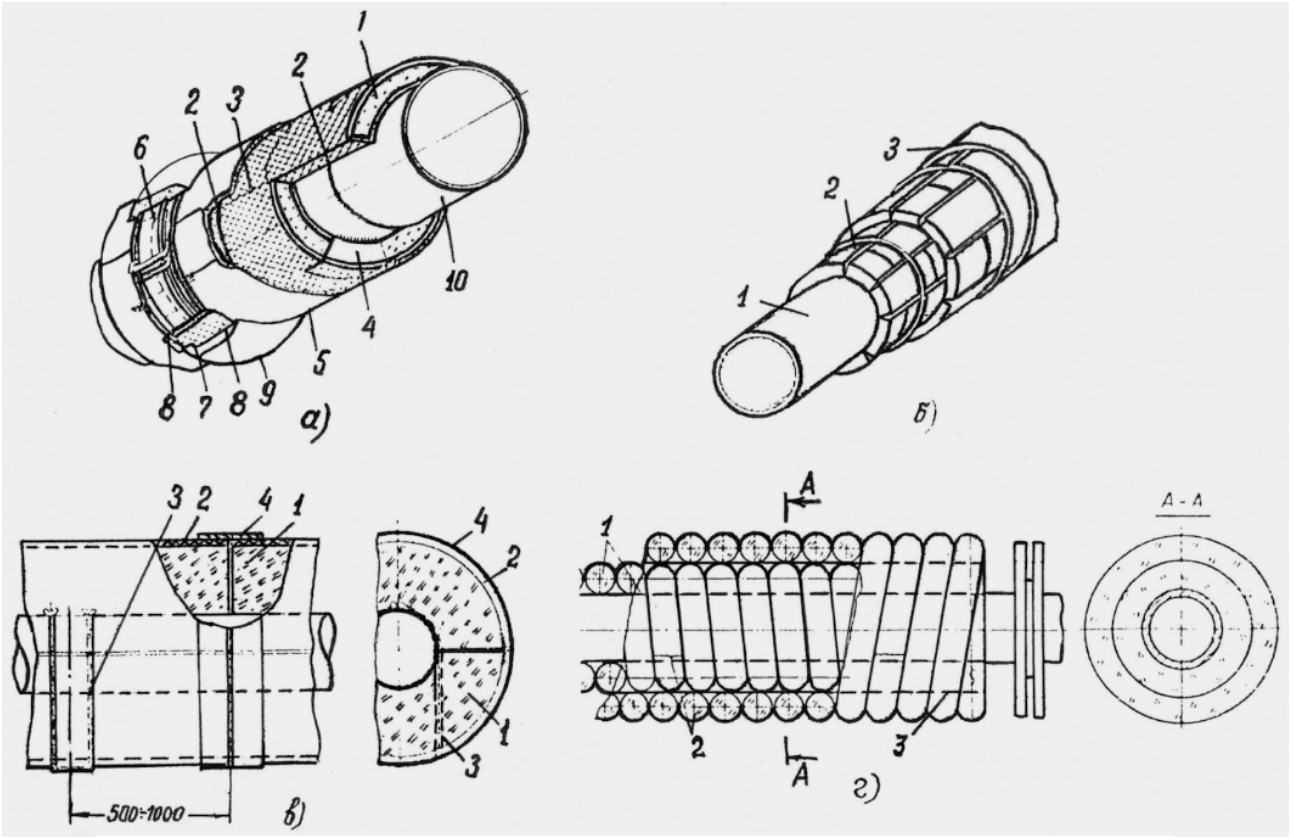


Рис. 2.2- Приклади теплоізоляції труб: а – ізоляція мінераловатними шкаралупами: 1 – шкаралупи; 2 – стяжні кільця; 3 – зшивка стиків оболонок; 4 – сталева опора; 5 – захисне покриття з азбестоцементних шкаралуп; 6 – бандаж; 7 – сітка; 8 – кільце; 9 – азбестоцементна штукатурка; 10 – труба; б – двошарова сегментна теплоізоляція: 1 – труба, 2 – ізоляційні сегменти, 3 – азбестоцементна кірка, 4 – стяжні кільця; в – схема теплоізоляції трубопровода при надземному прокладанні: 1 – основний теплоізоляційний шар, 2 – захисне покриття з азбестоцементних шкаралуп, 3 – підвіска, 4 – сталевий бандаж; г – ізоляція теплоізоляційними шнурами: 1 – шнур, 2 – зшивка, 3 – кільце.

Ізоляційні матеріали класифікують за властивостями значення теплопровідності, типу сировини, об’ємної маси та жорсткості (відносна деформація стискання). За видом сировини її поділяють на неорганічні та органічні речовини. За показником теплопровідності матеріалу і виробу він поділяється на три класи: низький (макс. 0,06 Вт/м°С), середній (0,06-0,115 Вт/м°С) і високий (0,115-0,175 Вт/м°С). м). ° С) теплопровідність. Зокрема, розрізняють матеріали низької насипної (15-75 кг/м3), низької (100-175 кг/м3), середньої (200-350 кг/м3) і високої щільності (до 600 кг/м3). За жорсткістю матеріал поділяють на м’який, напівжорсткий, твердий, високожорсткий і твердий.

Хризоліт-азбест - це концентрований продукт азбестової руди, що містить мінерал хризоль-азбест. Використовується у виробництві теплоізоляційних виробів і як наповнювач. Залежно від об’ємної маси теплопровідність змінюється в межах 0,093-0,27 Вт/м °С. З азбесту виготовляють азбестовий папір, картон і дріт.

Мінеральну вату отримують із силікатних розплавів гірських порід і металургійних шлаків або їх сумішей. Характеризується термостійкістю до 700 °С і теплопровідністю l = 0,045 Вт / м °С (при 25 °С), l = 0,064 Вт / м °С (при 125 °С). Мінеральна вата використовується для виготовлення матів товщиною від 40 до 120 мм, довжиною від 1000 до 2500 мм і шириною від 500 до 2500 мм. Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати 0,044-0,049 Вт/м °С. Циліндри та напівциліндри, плити та дроти мінеральної вати товщиною 40, 50 та 80 мм виготовляють із мінеральної вати з додаванням сполучного. Вироби зі скловати використовуються для ізоляції трубопроводів, огородження конструкцій будівель, обладнання тощо. Залежно від об’ємної маси, технології виготовлення та інших факторів коефіцієнт теплопровідності виробу коливається в межах 0,047-0,057 Вт/м °С. . Плити, мати і скловолокно виготовляються зі скловати. Килимки для пірсингу (табл. 2.1) виготовляють у формі прямокутника довжиною 500-3000 і шириною 200-500 мм.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики прошивних матів.

Показник	Категорія виробів	
	Вища	Перша
Об'ємна вага, кг/м^3, не більше	45	50
Теплопровідність при середній температурі 25-50°С, Вт/м °С	0,044	0,044
Вологість, %, не більше	3	5

Пінополістирол, синтетичний органічний матеріал, використовується для виготовлення плит довжиною до 2000 мм, шириною 500-1200 мм і товщиною 25, 33, 50 і 100 мм. Пінополістирол ПСБ-С для ізоляції трубопроводів може бути виготовлений у вигляді оболонки довжиною 1 м, товщиною 40-50 мм і внутрішнім діаметром 65-385 мм. Продукт характеризується коефіцієнтом теплопровідності 0,038-0,058 Вт / м ° С (при температурі 25 ° С), насипною вагою 50-400 кг / м3.

Пінополіуретан отримують шляхом складної хімічної реакції, яка відбувається при змішуванні поліефірів та ізоціанатів у присутності каталізаторів, емульгаторів та піноутворювачів. Пінополіуретан використовується як утеплювач у вигляді плит, блоків, формованих виробів і шляхом напилення сумішей на поверхню.

Теплопровідність виробу становить 0,03-0,046 Вт / м °С.

Для обслуговування арматури, встановленої в трубопроводі, в теплотрасі створюється термокамера. Їх монтують із залізобетонних стінових блоків і плит перекриття. Розміри камери визначаються діаметром теплової труби. Для розміщення вільних компенсаторів у каналах і для розміщення трубопроводів без каналів передбачені розширення, які називаються зазорами.

Розділ 3. Особливості обчислення опору теплопередачі для підземної прокладки теплопроводів

Складові сумарного опору теплопередачі від теплоносія всередині теплопроводу до грунту для умов прокладки теплопроводів у непрохідному каналі та формули для їх обчислення подано у табл.3.1.

Таблиця 3.1. Формули для обчислення складових сумарного термічного опору

Позначення складової термічного опору, м°С/Вт	Формула	Номер формули
Опір тепловіддачі від теплоносія до внутрішньої поверхні стінок трубопроводу	$R_{вн}=1/(\pi d_{вн}\alpha_{вн})$	(1)
Термічний опір стінки трубопроводу	$R_{м}=ln(d_{тр}/d_{вн})/(2\pi\lambda_{м})$	(2)
Термічний опір шару теплової ізоляції	$R_{із}=ln(d_{із}/d_{тр})/(2\pi\lambda_{із})$	(3)
Термічний опір покривного шару (при його наявності)	$R_{п}=ln(d_{п}/d_{із})/2\pi\lambda_{п}$	(4)
Термічний опір тепловіддачі від поверхні покривного шару до повітря у каналі	$R_{к1}=1/(\pi d_{п}\alpha_{к})$	(5)
Термічний опір тепловіддачі від повітря у каналі до стінок каналу	$R_{к2}=1/(\pi d_{е}\alpha_{к})$	(6)
Термічний опір грунту	$R_{гр}=ln(4H/d_{е})/2\pi\lambda_{гр}$	(7)
Сумарний термічний опір теплопередачі	$R_{сум}=R_{вн}+R_{м}+R_{із}+R_{п}+R_{к1}+R_{к2}+R_{гр}$	(8)

У формулах (1-7) введено такі позначення: $d_{вн}$ – внутрішній діаметр трубопроводу; $\alpha_{вн}$ – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінок трубопроводу; $d_{тр}$ – зовнішній діаметр трубопроводу; $\lambda_{м}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубопроводу; $d_{із}$ – діаметр шару теплової ізоляції; $\lambda_{із}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу теплової ізоляції; $d_{п}$ - діаметр покривного шару; $\lambda_{п}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу покривного шару; $\alpha_{к}$ – коефіцієнт тепловіддачі; $d_{е} = P/\pi$ – еквівалентний діаметр каналу; P-периметр каналу; H – глибина закладення вісі трубопроводу; $\lambda_{гр}$ - коефіцієнт теплопровідності грунту.

Теплоперенос у просторі каналу здійснюється завдяки конвективному теплообміну і випромінюванням. Величину коефіцієнт тепловіддачі ($\alpha_{к}$) рекомендовано приймати рівною 8 Вт/м^2°С. При цьому величина $\alpha_{к}$ не диференціюється за видами тепло переносу. Оцінка частини теплового потоку випромінюванням у загальному тепло переносі здійснено наступним чином.

Питомий тепловий потік від теплоносія у подавальному трубопроводі двотрубної теплової мережі до грунту

$$q_{п} = \frac{\tau_1 - t_{гр}}{R_{сум}}, \quad (9)$$

де τ_1 –температура теплоносія у подавальному трубопроводі; $t_{гр}$ – температура грунту.

Питомий тепловий потік від теплоносія у зворотному трубопроводі теплової мережі до грунту

$$q_{зв} = \frac{\tau_2 - t_{гр}}{R_{сум}}, \quad (10)$$

де τ_2 –температура теплоносія у зворотному трубопроводі теплових мереж.

Температуру повітря у каналі $t_{вн.в}$ визначаємо з рівняння теплового балансу $q_п+q_{зв}= q_в$, ($q_в= (t_{вн.в} - t_{гр})/(R_{к2}+R_{гр})$ - тепловий потік від повітря у каналі до грунту), з якого отримуємо співвідношення

$$t_{вн.в}= t_{гр} + (q_п+q_{зв})/(R_{к2}+R_{гр}). \quad (11)$$

Температуру внутрішньої поверхні стінки каналу $t_{ст}$ визначаємо з балансового співвідношення $q_п+q_{зв}= q_{ст}$ ($q_{ст}= (t_{ст} - t_{гр})/ R_{гр}$ - тепловий потік від внутрішньої поверхні стінки каналу до грунту), з якого отримуємо співвідношення

$$t_{ст} = t_{гр}+(q_п+q_{зв}) R_{гр}. \quad (12)$$

Температуру поверхні покривного шару подавального трубопроводу t_1 і поверхні покривного шару зворотного трубопроводу t_2 можна визначити з рівняння тепловіддачі

$$t_1 = t_{вн.в}+q_п R_{к1}, \quad (13)$$

$$t_2 = t_{вн.в}+q_{зв}R_{гр}. \quad (14)$$

Питомий тепловий потік випромінюванням між поверхнею покривного шару подавального ($q_{л1}$) та зворотного ($q_{л2}$) трубопроводу і стінками каналу обчислено відповідно за формулами

$$q_{л1}= \varepsilon_{пр} C_0 \left[\left(\frac{t_1+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100} \right)^4 \right] F_{тр}, \quad (15)$$

$$q_{л2}= \varepsilon_{пр} C_0 \left[\left(\frac{t_2+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100} \right)^4 \right] F_{тр}, \quad (16)$$

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_п}+\frac{F_{тр}}{F_{ст}}\left(\frac{1}{\varepsilon_{ст}}-1\right)}, \quad (17)$$

де $\varepsilon_{пр}$- приведений ступінь чорноти системи тіл; $\varepsilon_п$, $\varepsilon_{ст}$ - ступінь чорноти поверхні трубопроводу і стінок каналу відповідно; $F_{тр} = \pi d_п L -$ площа поверхні трубопроводу, що випромінює (прийнято, що 75% поверхні

трубопроводу випромінюють на стінки каналу, а 25% - на поверхню прокладеного поруч зворотного трубопроводу); $F_{ст}$=0,5P*L – площа стінок каналу, на яку випромінює подавальний трубопровід; (прийнято, що 50% периметру каналу опромінюється подавальним трубопроводом, 50 % - зворотним); L – довжина теплопроводу (при обчисленні питомих теплових потоків L=1м).

Радіаційний коефіцієнт теплообміну у каналі

$$\alpha_{л} = \frac{q_{л1}+q_{л2}}{(t_{вн.в}-t_{ст})\pi d_{е}}. \quad (18)$$

Сума радіаційного і конвективного коефіцієнтів теплообміну дорівнює ефективному коефіцієнту теплообміну у каналі

$$\alpha_{к}=\alpha_{конв}+\alpha_{л}. \quad (19)$$

Проведені обчислення теплових потоків показали, що приблизно 80-85% втрат теплоти теплопроводами – втрати тепловою конвекцією 15-20% - втрати випромінюванням. Застосування екануючих поверхонь дозволяє суттєво зменшити радіаційний тепловий потік. Якщо між двома необмеженими поверхнями встановлено тонкий екран, що має малий термічний опір, кількість теплоти, переданої від поверхні 1 до поверхні 2, дорівнює

$$Q_{е}=\frac{Q}{(\frac{1}{\varepsilon_{пр,1}}+\frac{1}{\varepsilon_{пр,2}})\varepsilon_{пр}}, \quad (20)$$

$$\varepsilon_{пр,1}=\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{1}}+\frac{1}{\varepsilon_{е}}-1},\ \varepsilon_{пр,2}=\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{2}}+\frac{1}{\varepsilon_{е}}-1}$$

де Q, $\varepsilon_{пр}$ – кількість переданого тепла і приведений ступінь чорноти при відсутності екрану (формули (15)-(17); $\varepsilon_{пр,1}$, $\varepsilon_{пр,2}$ - приведені ступені чорноти для поверхні 1 і екрану і для поверхні 2 і екрану відповідно; ε_{1}, ε_{2}, $\varepsilon_{е}$ - ступінь чорноти 1-ї , 2-ї поверхонь та екрану.

Для умов ε_{1}= 0,93 (покривний шар теплопровода), ε_{2}=0,93 (залізобетон) $\varepsilon_{пр}$= 0,91.

3.1. Методика розрахунку теплопереносу у непрохідних каналах для двотрубного способу прокладки теплових мереж

1.Приймаємо коефіцієнт конвективного теплообміну у каналі $\alpha_{конв}$

2.Приймаємо усереднений коефіцієнт променевого теплопереносу між теплопроводами і стінками каналу $\alpha_{л}$

3.Обчислення складових опору теплопередачі

3.1.Опір тепловіддачі від теплоносія до стінок трубопроводу

$$R_{вн} = \frac{1}{\pi d_{вн} \alpha_{вн}}, \quad (1)$$

де $d_{вн}$ - внутрішній діаметр трубопроводу ; $\alpha_{вн}$ - коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінок трубопроводу.

3.2. Термічний опір стінки трубопроводу

$$R_{м} = \frac{ln(d_{тр}/d_{вн})}{2\pi\lambda_{м}}, \quad (2)$$

де $d_{тр}$ - зовнішній діаметр трубопроводу; $\lambda_{м}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубопроводу.

3.3. Термічний теплової ізоляції

$$R_{із} = \frac{ln(d_{із}/d_{тр})}{2\pi\lambda_{із}}, \quad (3)$$

де $d_{із}$ - діаметр шару теплової ізоляції; $\lambda_{із}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу теплової ізоляції.

3.4. Термічний покривного шару (при його наявності)

$$R_{п} = \frac{ln(d_{п}/d_{із})}{2\pi\lambda_{п}}, \quad (4)$$

де $d_{п}$ - діаметр покривного шару; $\lambda_{п}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу покривного шару.

3.5. Опір тепловіддачі від поверхні покривного шару до повітря у каналі

$$R_{к1} = \frac{1}{\pi d_{п} \alpha_{к}}, \quad (5)$$

де $\alpha_к = \alpha_{конв} + \alpha_л$ - коефіцієнт тепловіддачі.

3.6. Опір тепловіддачі від повітря у каналі до стінок каналу

$$R_{к2} = \frac{1}{\pi d_е \alpha_к}, \quad (6)$$

де $d_е$ = Р/π – еквівалентний діаметр каналу; Р- периметр каналу.

3.7. Термічний опір грунту

$$R_{гр} = \frac{ln(4H/d_е)}{2\pi\lambda_{гр}}, \quad (7)$$

де H – глибина закладення вісі трубопроводу; $\lambda_{гр}$ - коефіцієнт теплопровідності грунту.

4. Сумарний термічний опір

$$R_{сум} = R_{вн} + R_м + R_{із} + R_п + R_{к1} + R_{к2} + R_{гр} \quad (8)$$

5. Питомий тепловий потік від теплоносія у подавальному трубопроводі теплової мережі до грунту

$$q_п = \frac{\tau_1 - t_{гр}}{R_{сум}}, \quad (9)$$

де τ_1 –температура теплоносія у подавальному трубопроводі; $t_{гр}$ – температура грунту.

6. Питомий тепловий потік від теплоносія у зворотному трубопроводі теплової мережі до грунту

$$q_{зв} = \frac{\tau_2 - t_{гр}}{R_{сум}}, \quad (10)$$

де τ_2 –температура теплоносія у зворотному трубопроводі теплових мереж.

7. Температуру повітря у каналі $t_{вн.в}$ визначаємо з рівняння теплового балансу

$$q_п + q_{зв} = q_в, \quad (11)$$

де $q_в = (t_{вн.в} - t_{гр})/(R_{к2} + R_{гр})$ - тепловий потік від повітря у каналі до грунту.

З рівняння (11) отримуємо

$$t_{вн.в} = t_{гр} + (q_п + q_{зв})/(R_{к2} + R_{гр}). \quad (12)$$

8. Температуру внутрішньої поверхні стінки каналу $t_{ст}$ визначаємо з балансового співвідношення

$$q_{п}+q_{зв}= q_{ст}, \tag{13}$$

де $q_{ст}= (t_{ст} - t_{гр})/ R_{гр}$ - тепловий потік від внутрішньої поверхні стінки каналу до грунту.

З рівняння (13) отримуємо

$$t_{ст} = t_{гр}+(q_{п}+q_{зв}) R_{гр}. \tag{14}$$

9. Температуру поверхні покривного шару подавального трубопроводу t_1 і поверхні покривного зворотного трубопроводу tві$_2$ можна визначити з рівняння тепловіддачі

$$t_1 = t_{вн.в}+q_{п} R_{к1}\,, \tag{15}$$

$$t_2 = t_{вн.в}+q_{зв} R_{гр}. \tag{16}$$

10.Питомий тепловий потік випромінюванням між поверхнею покривного шару подавального трубопроводу і стінками каналу

$$q_{л1}= \varepsilon_{пр} C_0 \left[\left(\frac{t_1+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100} \right)^4 \right] F_{тр}, \tag{17}$$

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{п}}+\frac{F_{тр}}{F_{ст}}\left(\frac{1}{\varepsilon_{ст}}-1\right)}$$

де $\varepsilon_{п}$, $\varepsilon_{ст}$ - ступінь чорноти поверхні трубопроводу і стінок каналу відповідно; $F_{тр} = \pi d_{п} L -$ площа поверхні трубопроводу, що випромінює (прийнято, що 75% поверхні трубопроводу випромінюють на стінки каналу, а 25% - прокладений поруч зворотний трубопровід); $F_{ст}$=0,5P*L – площа стінок каналу, на яку випромінює подавальний трубопровід; (прийнято, що 50% периметру каналу опромінюється подавальним трубопроводом, 50 % - зворотним); L – довжина теплопроводу (при обчисленні питомих теплових потоків L=1м).

11. Питомий тепловий потік випромінюванням між поверхнею покривного шару зворотного трубопроводу і стінками каналу

$$q_{л2} = \varepsilon_{пр} C_0 \left[\left(\frac{t_2+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{ст}+273}{100} \right)^4 \right] F_{тр} . \quad (18)$$

12.Радіаційний коефіцієнт теплообміну у каналі.

$$\alpha_л = \frac{q_{л1}+q_{л2}}{(t_{вн.в} - t_{ст})\pi d_е} . \quad (19)$$

При суттєвій розбіжності результатів обчислень за формулою (19) і прийнятого у пункті 2 значення коефіцієнта теплообміну необхідно здійснити уточнення обчислень, починаючи з пункту 3.

Уточнення значення коефіцієнта конвективного теплообміну повітря у міжтрубному просторі проведено з використанням критеріального рівняння

$$\mathrm{Nu} = \mathrm{A}(Gr * Pr)^n (d_п / a_2)^m * Pr^n, \quad (20)$$

де Nu – критерій Нуссельта; Gr=($\beta g \Delta t X^3$) / ν^2 – критерій Грасгофа; $\beta = (t_{мп} + 273)^{-1}$ – коефіцієнт об'ємного розширення повітря при температурі $t_{мп}$; g – прискорення вільного падіння ; $\Delta t = t_{1в} - t_{2в}$ – різниця температур поверхонь подавального і зворотного трубопроводів у міжтрубному просторі; X – характерний розмір (при $d_п / a_2 > 3$ рекомендовано приймати $X = a_2$); ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря.

Значення множника і показників ступеня у наведеному критеріальному рівнянні подано у таблиці

Таблиця 3.2. Значення постійних величину рівнянні (20)

Діапазон зміни критерія Грасгофа	Характеристика потока	A	n	m
$2*10^4 < Gr < 2*10^5$	ламінарний	0,18	0,25	-0,11
$2*10^5 < Gr < 10^7$	турбулентний	0,065	0,33	-0,11

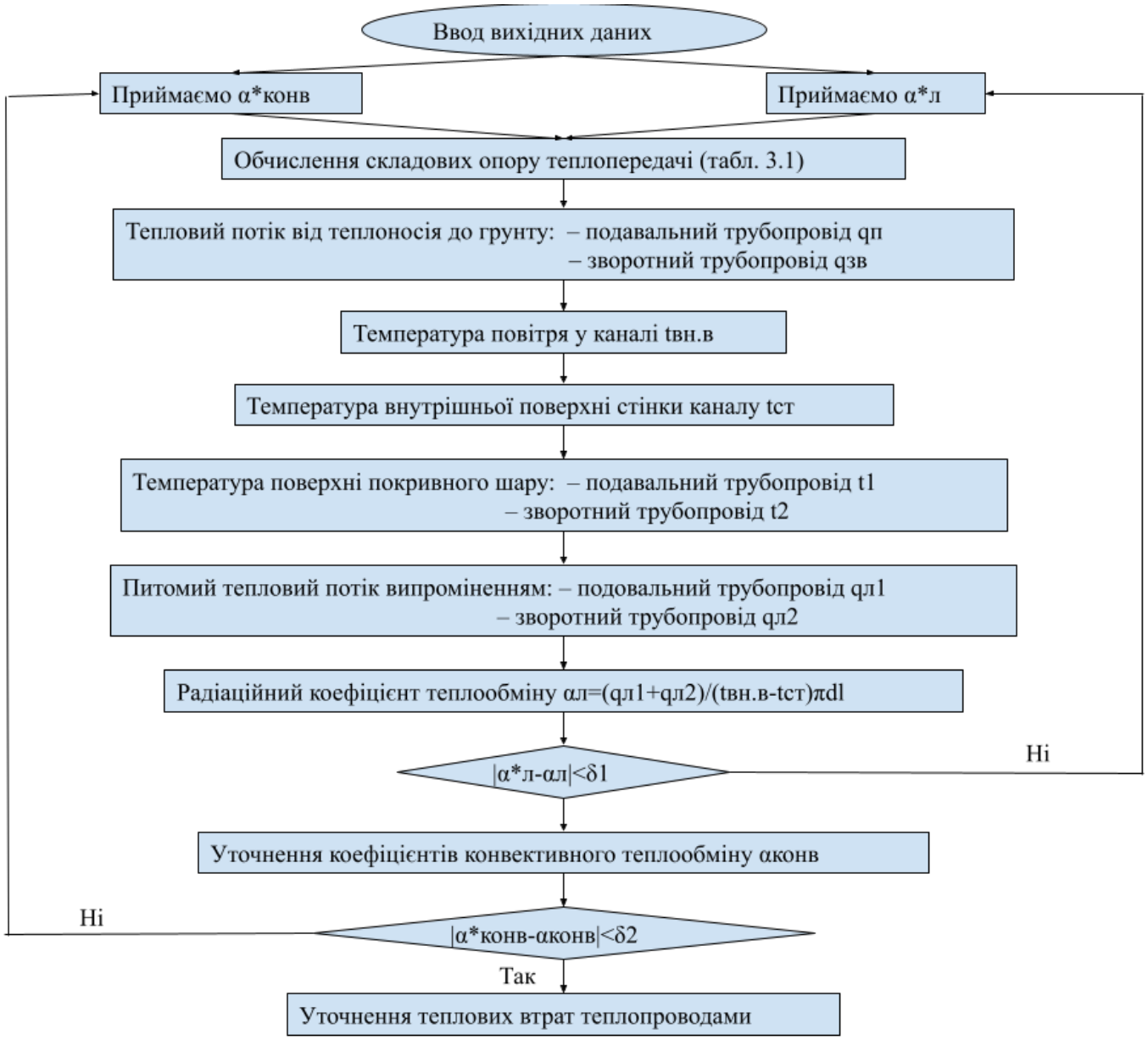
13. Коефіцієнт конвективного теплообміну повітря у міжтрубному просторі

$$\alpha_{мп} = \frac{Nu * \lambda_{пв}}{X}, \quad (21)$$

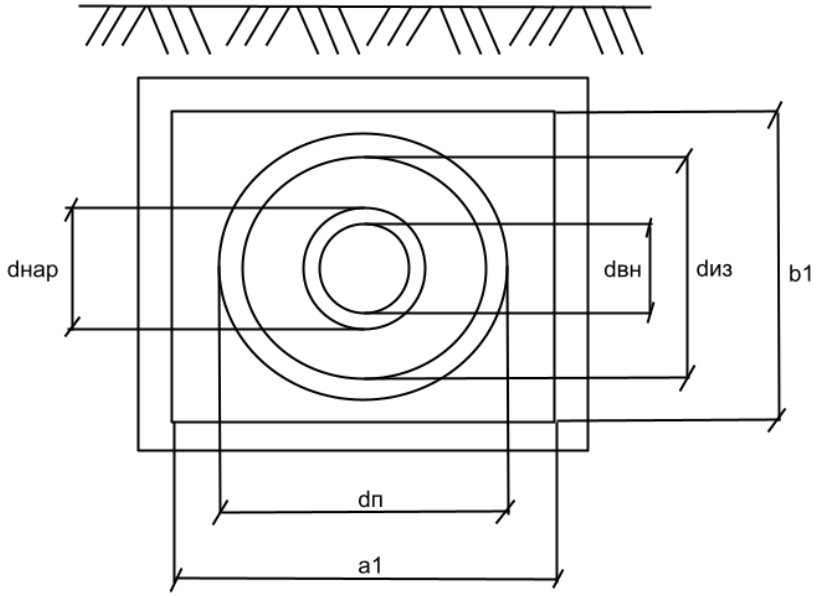
де $\lambda_{пв}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря.

При значній (>5%) розбіжності обчисленого значення коефіцієнта теплообміну і попередньо прийнятого або обчисленого у попередньому наближенні слід провести уточнення обчислень.

Блок-схема



Розділ 4. Обчислення теплопереносу у непрохідному каналі для однотрубної прокладки мереж



Порядок розрахунку

Початкові дані:

$d_{нар} = 133$ мм; $d_{вн} = 125$ мм; $d_{из} = 225$ мм; $d_{п} = 230$ мм

$\tau_1 = 95$ °С – температура теплоносія у трубопроводі

$t_{кр} = t_{гр} = 5$°С – температура ґрунту

1) Опір тепловіддачі від теплоносія у трубопроводі:

$$R_{вн} = \frac{1}{\pi \times d_{вн} \times \alpha_{вн}} = \frac{1}{3{,}14 \times 125 \times 300} = 8{,}5 \times 10^{-6} \ \frac{м \times °С}{Вт}$$

$\alpha_{вн} = 300 \ \frac{Вт}{м^2 \times °С}$ – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до внутрішньої поверхні труби (прийнято)

2) Термічний опір стінки труби:

$$R_{ст} = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{ст}} \times ln\left(\frac{d_{нар}}{d_{вн}}\right) = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 30} \times ln\left(\frac{133}{125}\right) = 0{,}0003 \qquad \lambda_{ст} = 30$$

3) Термічний опір шару ізоляції:

$$R_{из} = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{из}} ln\left(\frac{d_{из}}{d_{нар}}\right) = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 0{,}035} \times ln\left(\frac{225}{133}\right) = 2{,}4$$

$\lambda_{из} = 0,035 \frac{Вт}{м \times °C}$ – коефіцієнт теплопровідності

4) Термічний опір покривного шару:

$$R_{п} = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{П}} \times ln(\frac{d_{п}}{d_{из}}) = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 0,14} \times ln(\frac{230}{225}) = 0,02$$

$\lambda_{п} = 0,17 \frac{Вт}{м \times °C}$ – коефіцієнт теплопровідності покривного шару (полістирол листовий)

5) Приймаємо коефіцієнт тепловіддачі з поверхні трубопроводу до повітря у каналі:

$\alpha_{к} = 6,05 \frac{Вт}{м^{2} \times °C}$ (прийнято з наступним уточненням)

6) Опір тепловіддачі з поверхні теплопроводу до повітря:

$$R_{к.1} = \frac{1}{\pi \times d_{п} \times \alpha_{к}} = \frac{1}{3,14 \times 230 \times 6,05} = 0,00023$$

7) Опір тепловіддачі від повітря в каналі до стінок каналу:

$$R_{к.2} = \frac{1}{\pi \times d_{к} \times \alpha_{к}} = \frac{1}{3,14 \times 0,67 \times 6,5} = 0,08$$

$d_{к} = \frac{P}{\pi}$ – еквівалентний діаметр каналу

$P = 2(a_{1} + b_{1})$ – периметр каналу

$P = 2(0,6 + 0,45) = 2,1$

$d_{к} = \frac{2,1}{3,14} = 0,67$

8) Термічний опір ґрунту:

$$R_{гр} = \frac{ln(4 \times \frac{H}{d_{к}})}{2 \times \pi \times \lambda_{гр}} = \frac{ln(4 \times \frac{1,6}{0,67})}{2 \times 3,14 \times 1,74} = 0,21$$

Н – глибина закладання осі теплопроводу

$H = 1,6$ м

$\lambda_{гр} = 1,74 \frac{Вт}{м \times °C}$ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту (прийнято)

9) Опір тепловіддачі:

$$R_{\Sigma} = R_{вн} + R_{ст} + R_{из} + R_{п} + R_{к.1} + R_{к.2} + R_{гр} = 8,5 \times 10^{-6} + 0,0003 + 2,4 +$$

$$+ 0,02 + 0,00023 + 0,08 + 0,21 = 2,71$$

10) Питомий (тепловтрати) тепловий потік від теплоносія до ґрунту:

$$q_{\text{п}} = \frac{\tau_1 - t_{\text{окр}}}{R_{\Sigma}} = \frac{95-5}{2{,}71} = 33{,}21\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

11) Уточнення прийнятого у п.5 значення $\alpha_{\text{к}} = 6{,}07\ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times ℃}$*:*

11,1) Температура стінки каналу:

$$t_{\text{ст}} = \frac{\pi \times d_{\text{к}} \times \alpha_{\text{к}} \times t_{\text{вн.в}} + \frac{t_{\text{гр}}}{R_{\text{гр}}}}{\frac{1}{R_{\text{гр}}} + \alpha_{\text{к}} \times d_{\text{к}} \times \pi} = \frac{3{,}14 \times 0{,}67 \times 6{,}07 \times 14{,}7 + \frac{5}{0{,}21}}{\frac{1}{0{,}21} + 6{,}07 \times 6{,}07 \times 3{,}14} = 12{,}06$$

$t_{\text{вн.в}}$ – температура повітря у каналі.

$$t_{\text{вн.в}} = \frac{\tau_1(R_{\text{к.2}} + R_{\text{гр}}) + t_{\text{гр}}(R_{\text{из}} + R_{\text{к.1}})}{R_{\text{к.2}} + R_{\text{гр}} + R_{\text{из}} + R_{\text{к.1}}} = \frac{95(0{,}08+0{,}21)+5(2{,}4+0{,}00023)}{0{,}08+0{,}21+2{,}4+0{,}00023} = 14{,}7$$

11,2) Температура на поверхні покривного шару:

$$t_{\text{п}} = \tau_1 - q_{\text{п}} \times \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{\text{из}}} ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{нар}}} = 95 - 33{,}21 \times \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 0{,}035} ln \frac{225}{133} = 15{,}56$$

11,3) Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta \times g \times \Delta t \times d_{\text{п}}^3}{\text{Ð}^2} = \frac{0{,}003 \times 9{,}8 \times 0{,}86 \times 230^3}{(15{,}06 \times 10^{-6})^2} = 1{,}36 \times 10^{15}$$

$\beta = \frac{1}{T_{\text{в}}} = \frac{1}{(t_{\text{вн}}+273)} = \frac{1}{14{,}7+273} = 0{,}003$ – коефіцієнт об’ємного розширення повітря.

$g = 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$\Delta t = t_{\text{п}} - t_{\text{вн.в}} = 15{,}56 - 14{,}7 = 0{,}86$

Ð – коефіцієнт кінематичної в’язкості повітря (табл. знач.)

$\text{Ð} = 15{,}06 \times 10^{-6}\ \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

11,4) Критерій Нуссельта:

$$Nu = 0{,}5(Gr \times Pr)^{0{,}25} = 0{,}5(1{,}36 \times 10^{15} \times 0{,}7)^{0{,}25} = 2777{,}34$$

Pr – критерій Прандтля (табл. знач.) $Pr = 0{,}7$

11,5) Коефіцієнт конвективного теплообміну між поверхнею теплопроводу та повітрям у каналі:

$\alpha_{конв} = Nu + \lambda_в = 7,02$ $\lambda_в = 0,2\ \frac{Вт}{м \times °C}$

11,6) Тепловий потік випромінювання з поверхні трубопроводу до стінок каналу:

$$Q_л = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2}(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1)} \times C_o \times \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] = \frac{1}{\frac{1}{0,2} + 0,344(\frac{1}{0,2} - 1)} \times 5,67 \times [2,886^4 -$$

$$- 2,85^4] = 3,02$$

$F_1 = \pi \times d_п \times l = 3,14 \times 0,23 \times 1 = 0,722$ м^2 – площа поверхні теплопроводу.

$d_п = 0,23$ мм.

$l = 1$ м.

$F_2 = P \times l = 2,1 \times 1 = 2,1$ – площа поверхні каналу.

$\varepsilon_1 = 0,2$ – ступінь чорноти поверхні теплопроводу.

$\varepsilon_2 = 0,2$– ступінь чорноти поверхні каналу.

$C_o = 1,005 \times 10^3 = 5,67$

$T_1 = t_п + 273 = 15,56 + 273 = 288,56$ – температура поверхні покривного шару, к (см. п. 11,2)

$T_2 = t_{см} + 273 = 15,06 + 273 = 288,06$ – температура стінки каналу, к (см. п. 11,1)

$\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,722}{2,1} = 0,344$

11,7) Променистий коефіцієнт тепловіддачі з поверхні трубопроводу до стінок каналу:

$\alpha_л = \frac{Q_л}{t_п - t_{см}} = \frac{3,02}{15,56 - 12,06} = 0,86$

11,8) Коефіцієнт теплообміну між теплопроводом та стінками каналу:

$\alpha'_к = \alpha_{конв} + \alpha_л = 7 + 0,86 = 7,86$

$\alpha_к = 7,86$

Показник	Одиниця виміру	Значення
Коефіцієнт конвективного теплообміну між поверхнею теплопроводу та повітрям у каналі $\alpha_{конв}$	$\frac{Вт}{м^2 \times ℃}$	7,02
Променистий коефіцієнт тепловіддачі поверхні трубопроводу та стінками каналу $\alpha_{л}$	$\frac{Вт}{м^2 \times ℃}$	0,86
Коефіцієнт теплообміну між поверхнею теплопроводу та стінками каналу $\alpha_{конв} + \alpha_{л}$	$\frac{Вт}{м^2 \times ℃}$	7,86
Опір тепловіддачі R_{Σ}	$\frac{м \times ℃}{Вт}$	2,71
Питомі тепловтрати $q_{п}$	$\frac{Вт}{м}$	33,21
Температура повітря у каналі $t_{вн.в}$	℃	14,7
Температура на поверхні покривного шару $t_{п}$	℃	15,56
Температура стінки каналу $t_{ст}$	℃	12,06

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків

4.1 Теплові розрахунки теплових мереж

Основним завданням теплового розрахунку теплової мережі є визначення теплового потоку та температури шару ізоляції, або товщини шару ізоляції, з огляду на конструкцію ізоляції (відома товщина та теплопровідність шару). В останньому випадку для вихідних даних для розрахунку використовують відомий (встановлений або прийнятий) тепловий потік (теплові втрати за рахунок ізоляції) або значення температури зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції.

Якщо температура зовнішньої поверхні ізоляції невідома, її можна припустити без істотної втрати точності розрахунку. 40-50°С для об'єктів у приміщенні та 10°С для об'єктів на вулиці взимку.

На практиці максимальну товщину ізоляційного шару зазвичай встановлюють до тих пір, поки вагове навантаження не перевищує допустиме значення (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 - Припустима товщина ізоляційного шару трубопроводів надземної прокладки і прокладки в непрохідних каналах

Надземна прокладка		Прокладка в непрохідних каналах		
Умовний діаметр, мм	Товщина, мм	Умовний діаметр, мм	Товщина для всіх трубопроводів, крім труб для транспортування гарячої води, мм	Товщина для трубопроводів гарячої води, мм
25	40	25	70	60
40	80	50	100	80
50	100	100	150	90
100	130	150	150	100
150	160	200	180	100
200	I80	250	180	100
300	200	300	190	100
400	210	350	200	100
500	220	400	200	110
600	230	500 та більше	200	120
800	240			
1000	260			

При розрахунку теплоізоляційних конструкцій прийнято використовувати

конкретне значення, що відноситься до одиниці довжини теплового потоку теплової труби.

$$q_1 = \frac{Q}{L}, q_1 = \frac{t-t_0}{R_1}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \quad (4.1)$$

де Q - повний тепловий потік, Вт; L - довжина трубопроводу, м; t - температура теплоносія; t_0- температура оточуючого середовища; R_1- повний термічний опір ізоляційної конструкції.

Таблиця 4.3 - Середня температура грунту в окремих містах України

Місто	Зимня		Літня		Середньорічна	
	Глибина грунта, м					
	0,8	1,6	0,8	1,6	0,8	1,6
Київ	1	2,7	17,3	15,1	8,5	8,5
Одеса	3,2	5,5	23	19,6	12,7	12,5
Харків	1,5	2,7	17,1	15,7	8,8	8,9

Визначення товщини шару ізоляції при заданому значенні теплового потоку через утеплювач є найпоширенішим випадком розрахунку ізоляції. Величина питомого теплового потоку може бути встановлена відповідно до технічних умов або регульованих тепловтрат.

В інженерних розрахунках через відносно високу інтенсивність теплопередачі від теплоносія до внутрішньої поверхні труби в багатьох випадках не вдається врахувати значення теплоопору тепловіддачі $R_{\text{вн}}$ всередині труби при розрахунку теплового потоку за формулою (4.1). Так само у величині загального теплового опору не можна врахувати опір стінки труби $R_{\text{ст}}$ через високий коефіцієнт теплопровідності металевої стінки труби. За цих припущень питомий тепловий потік через ізоляційний шар визначається за формулою:

$$q_1 = \frac{t-t_2}{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{із}}} ln\frac{d_{\text{із}}}{d_T}}, \quad (4.2)$$

де t_2- температура на зовнішній поверхні ізоляції.

Розв'язуючи рівняння (4.2), знаходимо невідомий діаметр ізоляції

$$ln\frac{d_{із}}{d_T} = \frac{2\pi\lambda_{із}(t-t_2)}{q_1};\ d_{із} = d_T \times exp\left[\frac{2\pi\lambda_{із}(t-t_2)}{q_1}\right], \quad (4.3)$$

Оскільки, величина t_2, як правило, не відома, розрахунок можна проводити ітераційно в такій послідовності:

- попередньо приймають температуру t_2;

- задаючись коефіцієнтом теплопровідності ізоляційного матеріалу, з формули (4.3) визначають діаметр ізоляції;

- обчислюють величину коефіцієнта тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції в оточуюче повітря ($\alpha_з$);

- уточнюють величину температури ізоляції на зовнішній поверхні за формулою

$$t_2^* = t_0 + \frac{q_1}{\alpha_з \pi d_{із}}, \quad (4.4)$$

- якщо розбіжність в значеннях t_2 і t_2^* більше 1°С, виконують наступну ітерацію при підстановці у формулу (4.3) температури t_2^* замість t_2.

Якщо як вихідні дані до проектування теплової ізоляції задана температура ізоляції на поверхні t_2, діаметр ізоляції визначають з рівності

$$\frac{1}{2\pi\lambda_{із}} ln\frac{d_{із}}{d_T} = \frac{(t-t_2)}{\alpha_з(t_2-t_з)d_{із}}. \quad (4.5)$$

Втрати тепла на ділянці трубопроводу розраховуються за формулою:

$$Q_д = q_д \times l_д \times k_1, \quad (4.6)$$

де $q_д$ - питомі (лінійні) втрати теплоти на ділянці, Вт/м; $l_д$ – довжина ділянки; k_1 - коефіцієнт для обліку теплових втрат конструктивними елементами теплової мережі.

Питомі втрати від ізоляції можна розрахувати, використовуючи відомі властивості ізоляції (теплофізичні властивості ізоляції, товщину шару). У цій роботі розрахунки виконуються для стандартних значень лінійних втрат $q_{норм}$ за формулою:

$$q_{д} = q_{норм}(t_{вх} - t_{окр})/\Delta t_{н}, \quad (4.7)$$

де $t_{вх}$ - температура теплоносія на вході до ділянки; $t_{окр}$ - температура оточуючого середовища для розглянутого способу прокладки теплопроводів; $\Delta t_{н}$ – різниця температур теплоносія і оточуючого середовища, для яких визначено величину нормативних втрат.

Метод підземного укладання для температури навколишнього середовища приймає температуру грунту на глибині вісі теплопроводу. Стандартні значення тепловтрат при прокладанні в непроникних каналах наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4. - Норма споживання тепла ізольованими теплопроводами гідротермальних мереж непроникних каналів і безканальної прокладки - середньорічна температура ґрунту на глибині закладання +5℃.

Зовнішній діаметр труб, мм	Питомий тепловий потік Вт/м				
	З поверхні зворотної труби при $t_{ср}=50^0$C	З поверхні подавальної труби	Сумарний при сумісній прокладці	З поверхні подавальної труби	Сумарний при сумісній прокладці
		При температурі подавальної труби, ^{0}C $t_{max}=95$, $t_{min}=40$, $t_{ср}=65^0$C		При температурі подавальної труби, ^{0}C $t_{max}=150$, $t_{min}=70$, $t_{ср}=90^0$C	
32	23	29	51	37	60
57	29	36	65	46	75
76	34	41	75	52	86
89	36	44	80	57	93
108	40	49	89	63	103
159	49	60	109	76	124
219	59	72	131	92	151
273	70	84	154	104	174
325	79	94	173	116	195

377	88	-	-	124	212
426	95	-	-	141	236
478	106	-	-	153	260
529	117	-	-	165	282
630	133	-	-	188	321
720	145	-	-	211	356
820	164	-	-	233	397

Температура води основної будівлі на виході з розрахункової площі розраховується за формулою:

$$t_{\text{вих}} = t_{\text{вх}} - \frac{Q_{\text{д}}}{C * G_{\text{д}}}, \quad (4.8)$$

Де С- питома теплоємність теплоносія; $G_{\text{д}}$ - витрати теплоносія на ділянці.

Споживання магістральної води на об’єкті визначається тепловим навантаженням ділянки, а у разі трубопроводів системи опалення дорівнює сумі опалювальних навантажень приєднаних до ділянки будівель. Теплові навантаження будівель у цьому документі допустимі згідно КП «Харківські теплові мережі».

Розрахунки температури розподілу води, що протікає по лінії водопостачання, проводили починаючи з ЦТП району. Прийнято, що температура води на виході з ЦТП становить 105°С. Значення температури води на виході з розглянутої обчислювальної області використовується як вхід до наступної ділянки водного шляху. Вартість державної води для опалення будівлі розраховується з урахуванням трубопроводів сусідніх мереж. Оскільки зміна температури води і вартість відповідно до довжини теплової труби пов’язані один з одним, вартість і подальші роботи з очищення ділянки проводилися неодноразово. Для забезпечення достатньої точності інженерних розрахунків необхідно 2-3 ітерації.

Висновки:

1. Розроблено математичну модель теплопереносу у непрохідному каналі для однотрубної й двотрубної прокладки теплових мереж. Результати тестових обчислень показали задовільний збіг розрахункового ефективного коефіцієнта теплообміну з рекомендованим нормативними документами значенням.

2. Для температурних умов розподільних трубопроводів мікрорайонних теплових мереж обчислено конвективні і променеві теплові потоки з поверхні теплопроводів.

3. Результати обчислення коефіцієнтів теплообміну показали, що у каналі для двотрубної прокладки теплових мереж переважає конвективна складова. Її частка у загальному (ефективному) коефіцієнті теплопереносу становить орієнтовно 70%.

Список використаних джерел та літератури

1. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. – Москва: Стройиздат, 1965. – 359 с.

2. Тепловая изоляция / под ред. Г.Ф. Кузнецова. – Москва: Стройиздат, 1995. – 421 с.

3. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Госстрой.- ЦИТП Госстроя СССР, 1989.- 32 с.

4. Исаченко В.П. Теплопередача /В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия,1965. –424

5. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.

6. В.П. Исаченко Теплопередача /В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия,1965. –424

(Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ./ Справочник.- Атомиздат, 1979.- 216 с.)

7. Тепловая изоляции. Справочник строителя / Под ред.Г.Ф.Кузнецова.-М.:Стройиздат, 1982.-336 с.

8. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. – М.: Стройиздат, 1990. – 185 с.

9. Тарадай А.М. Основы разработки пластинчатых теплообменников для систем теплоснабжения / А.М. Тарадай. –Харьков : Основа, 1998. – 192 с.

10. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем [Текст] / Н.М. Зингер – М.: Энергоиздат, 1986 – 320 с.

11. Алексахін О.О. Теплові розрахунки мікрорайонних систем теплопостачання. Харків, ХНАМГ, 2010. - 138 с.

12. Алексахин А.А., Бобловский А.В. Теплопотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной загрузки зданий микрорайона // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. №9, 2011

13. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. – Харків. “Видавництво САГА” 2006. – 484 с.

14. Бобух А.О. Автоматизація інженерних систем / А.О. Бобух, науч. посібник. – Х.: ХНАМГ, 2005. – 212 с.

15. Украина: Энергосбережение в зданиях. К.: EC-Energy Centre. Kiev, 2002 – 274 с.