

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

З дисципліни «Сучасні інженерні мережи та обладнання»

для студентів другого магістерського освітнього рівня

галузі знань «Архітектура та будівництво»

спеціальності 192 «Будівництво та громадянська інженерія»

освітньо-наукової програми «Автомобільні дороги та аеродроми»

Одеса 2020

УДК 621.182/075.32/

"ЗАТВЕРДЖЕНО"

Вченою Радою інституту

гідротехнічного будівництва та
цивільної інженерії

протокол № 6 від 26.02.2020р

Методичні вказівки розглянуті і рекомендовані до друку на засіданні кафедри ТГП і В, протокол № 6 від 25.02.2020р.

Укладачі: асс. Чунєєва Т.Д.

доцент Баришев В.П.

доцент Елькін Ю.Г.

**РЕЦЕНЗЕНТИ: к.т.н., доц. кафедри технічної
експлуатації флоту НУ «ОМА» Логішев І.В.**

**д.т.н., професор кафедри суднової теплоенергетики
НУ «ОМА» Афтанюк В.В.**

Наведено послідовність розрахунку та вибору сучасної ізоляції, приклад розрахунку. Мета методичних вказівок поглиблення знань з метою безперебійного забезпечення споживачів теплоносієм заданої якості і параметрів, а також охорони навколишнього середовища.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри ТГП і В, к.т.н., доц. Елькін Ю.Г.

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	4
1. МЕТА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	4
2. РОЗРАХУНОК ПИТОМИХ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ВИХОДУ ТА ПОВЕРНЕННЯ ТЕПЛОПРОВОДІВ, ПРОКЛАДЕНИХ БЕЗКАНАЛЬНІ	5
2.1 Конструкція теплової ізоляції	5
2.2 Термічний опір теплопроводів.....	10
2.2.1 Одиночний ізольований теплопровід	10
2.2.2 Двухтрубная безканальна прокладка ізольованих теплопроводів	11
2.3 Термічний опір ґрунту	12
3 ЗАВДАННЯ. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	14
3.1 Вихідні дані	14
3.2 Математична модель.....	15
3.3 Метод рішення	20
3.3.1 Чисельний метод.....	20
3.3.2 Графічний метод рішення	22
ЛІТЕРАТУРА	23
ДОДАТОК А	25
ДОДАТОК Б КОНТРОЛЬНІ РОЗРАХУНКИ.....	26
1 Розрахунок нормативної товщини ізоляції виходу та повернення теплопроводів.....	26
2 Розрахунок загальних нормативних теплових втрат ізольованих виходу та повернення теплопроводів	26
3 Розрахунок загальних нормативних теплових втрат неізольованих виходу та повернення теплопроводів	26
4 Розрахунок різниці теплових втрат ізольованих (нормативні теплові втрати) і неізольованих теплопроводів	27
5 Розрахунок температурного поля навколо двотрубного ізольованого теплопроводу.....	28
Листи Ms Excel.....	30

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота спрямована на поглиблення знань, закріплення умінь і навичок, отриманих студентами на лекціях і практичних заняттях з дисципліни «Енергозбереження в системах теплогазопостачання».

При виконанні роботи студент повинен вміти користуватися навчальною та методичною літературою, а також діючими нормативними матеріалами.

Невід'ємною і складовою частиною виконання роботи є вміння використовувати на практиці сучасні прикладні програми для ЕОМ і вміння аналізувати отримані результати їх використання. Робота спрямована на розвиток умінь використовувати засоби пакета Microsoft Office і додатків Windows для вирішення прикладних завдань, що виникають як при моделюванні технічних систем (пошук екстремуму функції, знаходження оптимального рішення при заданих технічних або техніко-економічних умовах), так і при виконання комплексу робіт, пов'язаних зі створенням документів (створення описів, пояснювальних інструкцій, технологічних карт іт.п.).

У роботі звертається увага на вміння сформулювати завдання, скласти математичну модель, вибрати математичні методи розв'язання задачі.

В роботі наведені контрольні розрахунки:

- товщини теплової ізоляції виходу та повернення теплопроводів при нормативних теплових втратах при безканалній прокладці, використовуючи інструмент «Пошук рішення» програми Ms Excel;
- ефективності теплової ізоляції теплопроводів;
- розподілу температур на ізолиніях глибини в ґрунті, що оточує теплопроводи і відображення графічно розрахованого розподілу температур, використовуючи інструмент «Діаграми» додатка Ms Excel.

1. МЕТА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

А. Обчислити товщини теплової ізоляції виходу та повернення теплопроводів при нормативних теплових втратах при безканалній, використовуючи інструмент Ms Excel «Пошук рішення».

Б. Порівняти теплові втрати ізольованих теплопроводів з втратами чи не ізольованих.

В. Обчислити розподіл температур на ізолиніях глибини в ґрунті, що оточує теплопроводи і відобразити графічно розраховане розподіл температур, використовуючи інструмент «Діаграми» додатка Ms Excel.

2. РОЗРАХУНОК ПИТОМИХ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ВИХОДУ ТА ПОВЕРНЕННЯ ТЕПЛОПРОВОДІВ, ПРОКЛАДЕНИХ БЕЗКАНАЛЬНІ

В даний час рішення задачі зниження втрат тепла при транспортуванні теплоносія є досить актуальним і важливим в енергозбереженні та економії теплових ресурсів.

Теплова ізоляція є високоефективним засобом вирішення зазначеного завдання. Дієвість використання теплової ізоляції також пояснюється тим, що додаткові витрати пов'язані з її використанням невеликі і становлять не більше 10% від загальної вартості теплової мережі.

У винятково несприятливих умовах знаходиться тепла ізоляція безканальних теплопроводів. Матеріали, використовувані в конструкції теплової ізоляції безканальних теплопроводів, володіють високими теплоізоляційними властивостями поряд з низьким водопоглинанням протягом тривалого терміну експлуатації. Низьке водопоглинання теплової ізоляції і високий поверхневий водоотталкування захисного покриття мають найважливіше значення для підтримки високих теплоізоляційних властивостей матеріалу теплової ізоляції. Це пов'язано з тим, що коефіцієнт теплопровідності сухих теплоізоляційних матеріалів, що застосовуються для ізоляції безканальних теплопроводів, становить $0,03 - 0,07 \frac{Вт}{м \cdot K}$, А вологих - $0,12 - 0,28 \frac{Вт}{м \cdot K}$.

Застосування конкретної теплової ізоляції визначається температурною стійкістю її матеріалу, тобто здатністю зберігати свої фізичні властивості при температурах, значення яких визначаються температурою теплоносія.

2.1 Конструкція теплової ізоляції

Проектування теплових мереж усіх способів прокладки проводиться відповідно до вимог. Вимоги до конструкцій теплової ізоляції і норми питомих теплових втрат теплоізованих трубопроводів в залежності від діаметра трубопроводу, температури теплоносія і виду прокладки встановлюються.

Для теплопроводів теплових мереж підземної безканальної прокладки застосовуються головним чином попередньо ізовані в заводських умовах труби з гідроізоляційним захисним покриттям, що виключає можливість зволоження ізоляції в процесі експлуатації. При безканальної прокладці теплопроводів не рекомендується застосування теплоізоляційних конструкцій на основі штучних теплоізоляційних виробів з пристроєм гідроізоляційного покриття на місці монтажу для лінійних ділянок трубопроводів.

В якості основного теплоізоляційного шару в конструкціях теплоізованих теплопроводів безканальної прокладки пропонується застосову-

вати армопенобетонних (АПБ), пенополімермінерал (полімербетон) та пінополіуретан (ППУ). Ці теплоізоляційні матеріали відповідають сучасним вимогам по фізичним і експлуатаційним характеристиками, зокрема, таким як норми щільності теплового потоку).

Теплопроводи з армопенобетонних ізоляцією діаметром від 57 до 1420 мм випускаються сучасними промисловими підприємствами. Використовуваний в даний час армопенобетонних має низьку щільність (200-250 кг / м³) і теплопровідністю (0,05 Вт / (м • К)) при високій міцності на стиск (0,7 МПа). До переваг АПБ відносяться його негорючість, висока температурна стійкість (До 300 ° С), відсутність корозійної дії на сталеві труби, паропроникність захисного покриття і, як наслідок, довговічність (понад 25 років). Предизолірованние труби з ізоляцією з армопенобетонних можуть застосовуватися у всьому діапазоні температур теплоносія як в водяних, так і в парових теплових мережах.

Ізольовані в заводських умовах труби з тепловою ізоляцією на основі ППУ і захисним покриттям з поліетилену високої щільності застосовуються для теплових мереж підземної безканальної прокладки з температурою теплоносія до 130 ° С. Теплопроводи обладнані системою оперативного дистанційного контролю за технічним станом теплоізоляції, що дозволяє своєчасно виявляти і усувати виникаючі дефекти.

До переваг теплопроводів з ППУ-ізоляцією відносять низький коефіцієнт теплопровідності ППУ (0,032-0,035 Вт / (м • К)), зручність при виготовленні і при монтажі теплопроводів, довговічність при дотриманні вимог монтажу та експлуатації.

Обмеження застосування ППУ-ізоляції в теплових мережах пов'язані допустимою температурою застосування (130 ° С), горючість, високою димоутворювальною здатністю і токсичністю виділяються при горінні компонентів. Гранична максимальна температура застосування 130 ° С не дозволяє використовувати ППУ для ізоляції теплопроводів водяних теплових мереж, що працюють за температурними графіками 150-70 ° С і 180-70 ° С і паропроводів. Однак допускає застосування ППУ при короткочасному підвищенні температури до 150 ° С.

Пінополіуретан при випробуваннях, в залежності від рецептури, відноситься до груп Г3 і Г4, що обмежує можливість його застосування для теплової ізоляції теплопроводів теплових мереж, надземної прокладки і підземної в прохідних і непрохідних каналах і тунелях.

Пенополімермінерал (полімербетон) розроблений Інститутом ВНПІЕнергопром і більше 20 років застосовується в конструкціях теплової ізоляції теплопроводів діаметром до 500 мм, що виготовляються відповідно. Характеризується структурою, що поєднує функції теплоізоляції і

гідроізоляційного покриття. Має температуру застосування до 150 ° С. При випробуваннях на горючість відноситься до групи Г1.

Відповідно до приписів теплоізоляційні матеріали, що застосовуються для теплової ізоляції трубопроводів безканальної прокладки, повинні мати міцність на стиск не менше 0,4 МПа.

Технічні характеристики матеріалів, рекомендованих до застосування в якості теплоізоляційного шару в конструкціях теплової ізоляції теплопроводів безканальної прокладки, наведені в табл.1.

Таблиця 1 Характеристики теплової ізоляції

найменування матеріалу	Умовний прохід трубопроводу, мм	Середня щільність ρ , Кг / м ³	Теплопровідність сухого матеріалу λ , Вт / (м К)	Максимальна температура застосування, ° С	Межа міцності при стисненні, МПа
армопенобетонних	50-1400	200 + 50	0,05	300	0,5
Пенополімерів-мінерал	50-500	200-250	0,047	150	1,2
пінополіуретан	50-1000	60-80	0,03	130	0,3

При безканальної прокладці трубопроводів розрахунковий коефіцієнт теплопровідності основного теплоізоляційного шару в конструкції визначається з урахуванням можливого зволоження при експлуатації. Коефіцієнт, що враховує збільшення теплопровідності теплоізоляційного матеріалу при зволоженні, в даний час пропонується і в залежності від виду теплоізоляційного матеріалу і вологості ґрунту змінюється в межах 1,0-1,15. Так, для труб з ППУ-ізоляцією в оболонці з поліетилену високої щільності і системою контролю вологості цей коефіцієнт може бути прийнятий рівним 1 незалежно від вологості ґрунту. Для труб з армопенобетонних ізоляцією і паропроникним гідроізоляційним покриттям і труб з пенополімермінеральної ізоляцією з інтегральної структурою,

Практичні розрахунки теплової ізоляції трубопроводів при безканальної прокладці виконуються з задовільною для практики точністю по інженерним методикам, що враховує термічний опір теплоізоляційного шару і ґрунту. Термічний опір ґрунту розраховується за формулою Форхгеймера, що враховує теплопровідність ґрунту в умовах експлуатації, діаметр теплопроводу і глибину його залягання. При двотрубної прокладці враховується взаємне теплове вплив

виходу та повернення теплопроводу. У практиці проектування теплових мереж при двотрубної прокладці трубопроводів одного діаметра товщина теплоізоляційного шару зворотного трубопроводу з урахуванням монтажних вимог приймається рівною товщині теплоізоляції трубопроводу, що подає.

У зв'язку зі змінною кон'юнктурою цін на теплову енергію та теплоізоляційні матеріали та значною їх диференціацією по регіонах України діють норми теплових втрат за зміною № 1 для ізольованих трубопроводів і обладнання в даний час вже не є економічно оптимальними і підлягають перегляду.

Введення в дію нових нормативних документів допоможе проектним і монтажним організаціям, а також споживачам кваліфіковано використовувати теплоізоляційні матеріали в теплоізоляційних конструкціях, підвищить енергоефективність, надійність і довговічність конструкцій теплової ізоляції трубопроводів теплових мереж, що в кінцевому підсумку забезпечить значну економію енергетичних ресурсів і коштів споживачів теплової енергії.

Удосконалення нормативної бази і методів розрахунку теплової ізоляції трубопроводів теплових мереж, розширення номенклатури та підвищення експлуатаційних характеристик застосовуваних теплоізоляційних матеріалів є реальним внеском у реалізацію програми енергозбереження в промисловості і ЖКГ.

У практиці проектування теплових мереж велике значення мають такі параметри як нормативна щільність теплового потоку і гранична товщина шару теплової ізоляції. На основі норм щільності теплового потоку розраховують нормативну товщину теплоізоляційного шару. У таблиці 2 наведені норми щільності теплового потоку. У тому випадку, якщо для досягнення нормативної щільності теплового потоку необхідна товщина теплової ізоляції, перевищує граничну, то необхідно взяти ізоляцію з більш низьким коефіцієнтом теплопровідності.

Таблиця 2 Норми щільності теплового потоку при числі годин роботи в рік більше 5000, Вт / м

Умовний прохід тру- бопроводу, мм	Трубопроводи водяних теплових мереж			
	подає	зворотний	подає	зворотний
	Середньорічна температура теплоносія, °С			
	65	50	90	50
25	33	25	44	24
50	40	31	54	29
65	45	34	60	33
80	46	35	61	34
100	49	38	65	35
125	53	41	72	39
150	60	46	80	43
200	66	50	89	48
250	72	55	96	51
300	79	59	105	56
350	86	65	113	60
400	91	68	121	63
450	97	72	129	67
500	105	78	138	72
600	117	87	156	80
700	126	93	170	86
800	140	102	186	93

2.2 Термічний опір теплопроводів

Втрати тепла при транспортуванні залежать від конструкції і матеріалу теплової ізоляції, способу прокладки.

2.2.1 Одиночний ізольований теплопровід

Повний термічний опір віднесене до 1 погонному метру одиночного ізольованого теплопроводу при безканальної прокладці описується формулою:

$$R_l = R_{lB} + R_{lT} + R_{lA} + R_{lII} + R_{lIII} + R_{lG}, \quad (2.1)$$

де - термічний опір тепловіддачі від теплоносія до внутрішньої поверхні труби, $R_{lB} \frac{M^*K}{Bm}$;

R_{lT} - термічний опір теплопровідності стінки труби, $\frac{M^*K}{Bm}$;

R_{lA} - термічний опір теплопровідності антикорозійного покриття, $\frac{M^*K}{Bm}$;

R_{lII} - термічний опір теплопровідності основного шару ізоляції, $\frac{M^*K}{Bm}$;

R_{lIII} - термічний опір теплопровідності захисного покриття ізоляції, $\frac{M^*K}{Bm}$;

R_{lG} - термічний опір теплопровідності ґрунту, $\frac{M^*K}{Bm}$.

Через великих значень коефіцієнтів тепловіддачі від гарячої води або пари до внутрішньої стінки труби термічними опором зазвичай нехтують. Також не враховують в практичних розрахунках, через малість у порівнянні з іншими складовими, термічні опори антикорозійного покриття. R_{lB} , R_{lT} и R_{lA}

Таким чином, для практичних розрахунків формула набуває вигляду:

$$R_l = R_{lII} + R_{lIII} + R_{lG}. \quad (2.2)$$

Термічний опір для циліндричного шару обчислюється за формулою:

$$R_{lII} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \frac{M^*K}{Bm}, \quad (2.3)$$

де - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару, $\lambda \frac{Bm}{M^*K}$; d_1 , d_2 - внутрішній і зовнішній діаметри шару, відповідно, м.

2.2.2 Двухтрубная безканальная прокладка ізольованих теплопроводів

При такій прокладці в результаті теплових втрат навколо теплопроводів в ґрунті утворюється температурні поля, які зменшують теплові втрати кожної труби окремо. Це зменшення тим більше, чим вище температура навколо сусіднього теплопроводу. Вплив сусіднього теплопроводу враховується додатковою умовним термічним опором, що розраховується за формулою Шубіна:

$$R_{l0} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2}, \frac{\text{м}\cdot\text{К}}{\text{Вт}} \quad (2.4)$$

де b - відстань між осями труб по горизонту, м.

У тому випадку, якщо температура зворотної води буде дорівнює або нижче температури, навколишнього зворотний теплопровідності ґрунту, тепловтрати можуть бути відсутніми або навіть мати негативні значення - тобто буде відбуватися нагрівання теплоносія. Тому в цьому випадку теплова ізоляція зворотного теплопроводу не потрібна, а для зменшення теплових втрат подає теплопроводу прокладка зворотного теплопроводу без теплової ізоляції навіть бажана.

Питомі теплові втрати з урахуванням величини описують рівняннями: R_{l0}

$$q_{l1} = \frac{(\tau_1 - t_0)R_{l2} - (\tau_2 - t_0)R_{l0}}{R_{l1}R_{l2} - R_{l0}^2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}}, \quad (2.5)$$

$$q_{l2} = \frac{(\tau_2 - t_0)R_{l1} - (\tau_1 - t_0)R_{l0}}{R_{l1}R_{l2} - R_{l0}^2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \quad (2.6)$$

де t_0 - розрахункова температура навколишнього середовища, беруть для безканальної прокладки рівною середній температурі ґрунту на глибині залягання осі теплопроводу, t_0 °С;

R_{l1}, R_{l2} - повні термічні опору першого і другого теплопроводу, відповідно, $\frac{\text{м}\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$

Нагрівання ґрунту навколо теплопроводів може мати негативний вплив на роботу підземних комунікацій і, зокрема, електричних кабелів. Додатковий нагрів ґрунту є величиною, що визначає допустимі норми зближення і перетину підземних комунікацій з теплопроводами.

Температурне поле навколо одиночного теплопроводу описують рівнянням:

$$t = t_0 + (\tau - t_0) \frac{\frac{1}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{x^2+(y+h)^2}{x^2+(y-h)^2}}}{R_l}, ^\circ\text{C}. \quad (2.7)$$

Температурне поле навколо двотрубного теплопроводу описується виразом:

$$t = t_0 + \frac{q_{l1}}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{x^2+(y+h)^2}{x^2+(y-h)^2}} + \frac{q_{l2}}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2+(y+h)^2}{(x-b)^2+(y-h)^2}}, ^\circ\text{C}. \quad (2.8)$$

відстань х довільної точки відраховується від вертикальної осі теплопроводу, по якому протікає теплоносій з більшою температурою. Значення температури ґрунту температура мережної води визначається згідно з температурним графіком при середньомісячній температурі зовнішнього повітря розрахункового місяця. Для паропроводів - по максимальній температурі пара на даній ділянці.

Розрахункова температура навколишнього середовища для зимового періоду приймається рівною нижчої середньомісячній температурі ґрунту на глибині залягання осі теплопроводу. Для літнього періоду приймається рівною вищої середньомісячній температурі ґрунту на глибині залягання осі теплопроводу. t_0

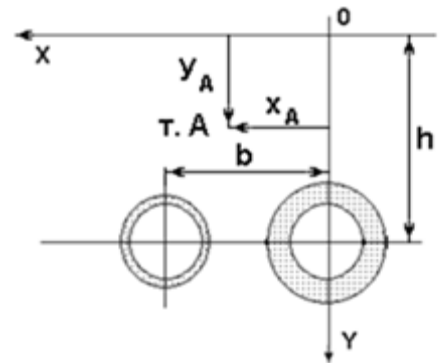


Рис. 2.1 Выбор осей координат при расчете поля температур

2.3 Термічний опір ґрунту

Термічний опір ґрунту розраховують за формулою Форґхеймера:

$$R_{l\Gamma} = \frac{1}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \left(2 \frac{h}{d} + \sqrt{4 \frac{h^2}{d^2} - 1} \right), \frac{\text{м}^*\text{К}}{\text{Вт}}, \quad (2.9)$$

де - коефіцієнт теплопровідності ґрунту, $\lambda_\Gamma \frac{\text{Вт}}{\text{м}^*\text{К}}$;

h - глибина закладення осі теплопроводу, м;

d - діаметр теплопроводу, м.

При $h / d \geq 1,25$ формула Форґхеймера і набуває вигляду:

$$R_{l\Gamma} = \frac{1}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln 4 \frac{h}{d}, \frac{\text{м}^*\text{К}}{\text{Вт}}. \quad (2.10)$$

Температурне поле ґрунту на глибині h 0,7 м перебуває під суттєвим впливом зовнішнього повітря, яке необхідно враховувати. Тому при розрахунку тепло-

вих втрат приймається температура ґрунту дорівнює температурі зовнішнього повітря $\leq t_{0B}$. В цьому випадку в формулах Форґхеймера разом h використовується наведена глибина залягання, розрахована за формулою:

$$h_{np} = h + \frac{\lambda_{\Gamma}}{\alpha_0}, \text{ м}, \quad (2.11)$$

де - коефіцієнт теплопровідності ґрунту, $\lambda_{\Gamma} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

α_0 - коефіцієнт тепловіддачі на поверхні ґрунту; $\left(\alpha_0 = 2,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right)$

h - справжня глибина закладення теплопроводу.

Таблиця 3 Характеристики ґрунту

вид ґрунту	Об'ємна маса сухого ґрунту, кг / м ³	Класифікація ґрунтів по вологості	Коефіцієнт теплопровідності ґрунту з урахуван- ням вологості, Вт (м * К)
Глинисті і суглинки (W = 5%)	1600 2000	щодо сухий	0,87-1,74
Глинисті і суглинки (W = 10-20%)	1600 2000	вологий	1,74-2,34
Глинисті і суглинки (W = 23,8%)	1600	Водонасичений	1,86
Піски і піщані (W = 5%)	1600 2000	щодо сухий	1,10-2,03
Піски і піщані (W = 15%)	1600 2000	вологий	1,9
Піски і піщані (W = 23,8%)	1600 2000	Водонасичений	2,4-3,4

У разі відсутності даних про теплопровідність ґрунту рекомендується приймати для розрахунків наступні значення:

- сухі ґрунти, $\lambda_{\Gamma} = 0,55 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
- маловологі ґрунти, $\lambda_{\Gamma} = 1,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
- средневлажние ґрунти, $\lambda_{\Gamma} = 1,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

- сільновлажние ґрунти, $\lambda_{\Gamma} = 2,3 \frac{Вт}{м \cdot К}$.

3 ЗАВДАННЯ. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Подаючий і зворотний теплопроводи прокладені Безканальні. Зовнішні діаметри виходу та повернення теплопроводів $dП = D_o$. Глибина закладення осі теплопроводів дорівнює h , м, а відстань між осями теплопроводів складає b , м. Середні температури теплоносіїв в подавальному і зворотному теплопроводах складають $t_{П}, ^\circ C, t_{О}, ^\circ C$, відповідно. Коефіцієнт теплопровідності ізоляції виходу та повернення теплопроводів. Температура ґрунту на глибині залягання теплопроводу $\lambda_{и}, \frac{Вт}{м \cdot К}, t_0, ^\circ C$. Коефіцієнт теплопровідності ґрунту. Розрахуйте товщини теплової ізоляції на що подає й зворотному теплопроводах ($\lambda_{\Gamma}, \frac{Вт}{м \cdot К} \delta_{и.п.н}, \delta_{и.о.н}$) при нормативних теплових втратах теплопроводів. Обчисліть, на скільки зменшаться тепловтрати ізольованих теплопроводів в порівнянні з неізольованими при інших рівних умовах. Розрахуйте розподіл температур в навколишньому ізольовані теплопроводи ґрунті по ізолініях глибини.

3.1 Вихідні дані

Таблиця вихідних даних заповнюється у відповідність з останньою і передостанній цифрам номера залікової книжки згідно з даними наведеними в Додатку А в табл. 6 і табл. 7, відповідно.

Таблиця 4. Вихідні дані

№	Найменування величини	позначення	Одиниця виміру	значення
1	Зовнішні діаметр труби, що подає	$dП$	м	
2	Зовнішні діаметр зворотного труби	D_o	м	
3	Глибина закладення осі теплопроводів	h	м	
4	Відстань між осями труб теплопроводів по горизонту	b	м	
5	Товщина шару теплової	$\delta_{и.п.н}$	м	

№	Найменування величини	позначення	Одиниця виміру	значення
	ізоляції подає теплопроводу при нормативних тепловтратах			
6	Товщина шару теплової ізоляції зворотного теплопроводу при нормативних тепловтратах	$\delta_{\text{и.о.н}}$	м	
7	Середня температура теплоносія подає теплопроводу	$\tau_{\text{п}}$	°C	
8	Середня температура теплоносія зворотного теплопроводу	$\tau_{\text{о}}$	°C	
9	Температура ґрунту на глибині залягання теплопроводу	t_0	°C.	
10	Коефіцієнт теплопровідності ізоляції подає теплопроводу	$\lambda_{\text{и.п}}^{*)}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	
11	Коефіцієнт теплопровідності ізоляції зворотного теплопроводу	$\lambda_{\text{и.о}}^{*)}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	
12	Коефіцієнт теплопровідності ґрунту	$\lambda_{\text{г}}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	

*) Прийняти $=\lambda_{\text{и.о}}\lambda_{\text{и.п}}$

3.2 Математична модель

потрібно:

- знайти $\delta_{\text{и.п.н}}$, $\delta_{\text{и.о.н}}$ - товщини теплової ізоляції виходу та повернення теплопроводів при нормативних тепловтратах при безканальної прокладці;
- зменшення теплових втрат ізольованого теплопроводу, в порівнянні з неізольованим; $\Delta q_{\text{л т.п.}}$
- $t(x, y)$, розподіл температур на изолиниях глибини.

Математична модель

Повний термічний опір виходу та повернення ізольованих теплопроводів:

$$R_{l\Pi} = R_{l\Pi\Pi} + R_{l\Gamma\Pi}, R_{lO} = R_{l\Pi O} + R_{l\Gamma O} \frac{M^*K}{Bm} \quad (3.1)$$

де - термічний опір теплопровідності основного шару ізоляції подає теплопроводу: $R_{l\Pi\Pi}$

$$R_{l\Pi\Pi} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Pi\Pi}} \ln \left(\frac{d_{\Pi} + 2\delta_{\Pi\Pi}}{d_{\Pi}} \right), \frac{M^*K}{Bm} \quad (3.2)$$

$R_{l\Pi O}$ - термічний опір теплопровідності основного шару ізоляції зворотного теплопроводу:

$$R_{l\Pi O} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Pi O}} \ln \left(\frac{d_O + 2\delta_{\Pi O}}{d_O} \right), \frac{M^*K}{Bm} \quad (3.3)$$

$R_{l\Gamma\Pi}$ - термічний опір теплопровідності ґрунту навколо подає теплопроводу при $h / d \geq 1,25$:

$$R_{l\Gamma\Pi} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \left(4 \frac{h}{d_{H\Pi}} \right), \frac{M^*K}{Bm}, \quad (3.4)$$

де $d_{H\Pi} = d_{\Pi} + 2 * \delta_{\Pi\Pi}$ - зовнішній діаметр зворотного трубопроводу, м

$R_{l\Gamma O}$ - термічний опір теплопровідності ґрунту навколо зворотного теплопроводу при $h / d \geq 1,25$:

$$R_{l\Gamma O} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \left(\ln 4 \frac{h}{d_{HO}} \right), \frac{M^*K}{Bm}, \quad (3.5)$$

де $d_{HO} = d_O + 2 * \delta_{\Pi O}$ - зовнішній діаметр зворотного трубопроводу, м;

R_{lO} - умовне термічний опір, що враховує вплив сусіднього теплопроводу:

$$R_{lO} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b} \right)^2}, \frac{M^*K}{Bm}; \quad (3.6)$$

$q_{l\ T.\Pi.\Pi}$ - питомі теплові втрати подає теплопроводу:

$$q_{l\ T.\Pi.\Pi} = \frac{(\tau_1 - t_0)R_{lO} - (\tau_2 - t_0)R_{lO}}{R_{l\Pi}R_{lO} - R_{lO}^2}, \frac{Bm}{M}; \quad (3.7)$$

$q_{l\ T.\Pi.O}$ - питомі теплові втрати зворотного теплопроводу:

$$q_{l\ T.П.О} = \frac{(\tau_2 - t_0)R_{l\ П} - (\tau_1 - t_0)R_{l\ 0}}{R_{l\ П}R_{l\ О} - R_{l\ 0}^2}, \frac{Вт}{м}; \quad (3.8)$$

Товщини теплової ізоляції при нормативних тепловтратах: $\delta_{И.П.Н}, \delta_{И.О.Н}$

$$\begin{cases} \delta_{И.П.Н} = \delta_{И.П}, \text{ при } q_{l\ T.П.П}(\delta_{И.П}) - q_{l\ T.П.П.Н} = 0; \\ \delta_{И.О.Н} = \delta_{И.О}, \text{ при } q_{l\ T.П.О}(\delta_{И.О}) - q_{l\ T.П.О.Н} = 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Загальна втрата прямого і зворотного теплопроводів:

$$q_{l\ T.П.Н} = q_{l\ T.П.П.Н} + q_{l\ T.П.О.Н}. \quad (3.10)$$

Повний термічний опір виходу та повернення неізольованих теплопроводів:

$$R_{l\ П.НИ} = R_{l\ В.П.НИ} + R_{l\ Т.П.НИ} + R_{l\ А.П.НИ} + R_{l\ Г.П.НИ}, \quad (3.11)$$

$$R_{l\ О.НИ} = R_{l\ В.О.НИ} + R_{l\ Т.О.НИ} + R_{l\ А.О.НИ} + R_{l\ Г.О.НИ}, \quad (3.12)$$

де - термічні опори тепловіддачі від теплоносіїв виходу та повернення теплопроводів до внутрішніх поверхонь труб, $R_{l\ В.П.НИ}, R_{l\ В.О.НИ} \frac{м*К}{Вт}$;

$R_{l\ Т.П.НИ}, R_{l\ Т.О.НИ}$ - термічні опори теплопровідності стінок труб виходу та повернення теплопроводів, $\frac{м*К}{Вт}$;

$R_{l\ А.П.НИ}, R_{l\ А.О.НИ}$ - термічні опори теплопровідності антикорозійного покриття труб виходу та повернення теплопроводів, $\frac{м*К}{Вт}$;

$R_{l\ Г.П.НИ}, R_{l\ Г.О.НИ}$ - термічні опори теплопровідності ґрунту навколо виходу та повернення теплопроводів, $\frac{м*К}{Вт}$.

Термічними опорами можна знехтувати в порівнянні з Тому отримуємо, що $R_{l\ В.П.НИ}, R_{l\ Т.П.НИ}, R_{l\ А.П.НИ}, R_{l\ В.О.НИ}, R_{l\ Т.О.НИ}, R_{l\ А.О.НИ}, R_{l\ Г.НИ}$.

$$R_{l\ П.НИ} = R_{l\ Г.П.НИ}, \quad (3.13)$$

$$R_{l\ О.НИ} = R_{l\ Г.О.НИ}, \quad (3.14)$$

де - термічний опір теплопровідності ґрунту при $R_{l\ Г.П.НИ} = R_{l\ Г.О.НИ} h / d \geq 1,25$:

$$R_{l\ Г.НИ} = \frac{1}{2\pi\lambda_r} \ln 4 \frac{h}{d_1}, \frac{м*К}{Вт}, \quad (3.15)$$

де - умовне термічний опір, що враховує вплив сусіднього неізолюваного теплопроводу: $R_{l0.HH}$

$$R_{l0.HH} = \frac{1}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2}, \frac{M \cdot K}{Bm}; \quad (3.16)$$

$q_{l.T.P.HH.P.}$ - питомі теплові втрати подає неізолюваного теплопроводу:

$$q_{l.T.P.HH.P.} = \frac{(\tau_1 - t_0)R_{lO.HH} - (\tau_2 - t_0)R_{l0}}{R_{lP.HH}R_{lO.HH} - R_{l0.HH}^2}, \frac{Bm}{M}; \quad (3.17)$$

$q_{l.T.P.HH.O}$ - питомі теплові втрати зворотного теплопроводу:

$$q_{l.T.P.HH.O} = \frac{(\tau_2 - t_0)R_{lP.HH} - (\tau_1 - t_0)R_{l0}}{R_{lP.HH}R_{lO.HH} - R_{l0}^2}, \frac{Bm}{M}. \quad (3.18)$$

Загальна втрата прямого і зворотного теплопроводів:

$$q_{l.T.P.HH} = q_{l.T.P.HH.P.} + q_{l.T.P.HH.O}. \quad (3.19)$$

Різниця між загальними тепловими втратами неізолюваних та ізолюваних теплопроводів:

$$\Delta q_{l.T.P.} = q_{l.T.P.HH} - q_{l.T.P.H}. \quad (3.20)$$

Температурне поле навколо двотрубного теплопроводу при глибині закладення осей теплопроводів $h = 0,7$ м: >

$$t = t_0 + \frac{q_{l.T.P.HH}}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_{l.T.P.OH}}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}}, ^\circ C. \quad (3.21)$$

З урахуванням наведеного, математична модель задачі запишеться наступним чином:

$$q_{l.T.P.P.} = \frac{(\tau_P - t_0)R_{lO} - (\tau_O - t_0)R_{l0}}{R_{lP}R_{lO} - R_{l0}^2},$$

$$q_{l.T.P.O.} = \frac{(\tau_O - t_0)R_{lP} - (\tau_P - t_0)R_{l0}}{R_{lP}R_{lO} - R_{l0}^2},$$

$$R_{lP} = R_{lIP} + R_{l\Gamma P},$$

$$R_{lO} = R_{lH.O} + R_{l\Gamma.O},$$

$$R_{lH\Pi} = \frac{1}{2\pi\lambda_{H\Pi}} \ln \left(\frac{d_{\Pi} + 2\delta_{H\Pi}}{d_{\Pi}} \right),$$

$$R_{lH.O} = \frac{1}{2\pi\lambda_{H.O}} \ln \left(\frac{d_O + 2\delta_{H.O}}{d_O} \right),$$

$$R_{l\Gamma\Pi} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \left(4 \frac{h}{d_{H\Pi}} \right),$$

$$R_{l\Gamma.O} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \left(4 \frac{h}{d_{H.O}} \right),$$

$$R_{lO} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b} \right)^2},$$

$$q_{lT\Pi H} = q_{lT\Pi\Pi H} + q_{lT\Pi.O.H},$$

$$q_{lT\Pi.HH\Pi} = \frac{(\tau_{\Pi} - t_0)R_{lO.HH} - (\tau_O - t_0)R_{lO}}{R_{l\Pi.HH}R_{lO.HH} - R_{lO.HH}^2},$$

$$q_{lT\Pi.HH.O} = \frac{(\tau_O - t_0)R_{l\Pi.HH} - (\tau_{\Pi} - t_0)R_{lO}}{R_{l\Pi.HH}R_{lO.HH} - R_{lO}^2},$$

$$R_{l\Pi.HH} = R_{l\Gamma.HH},$$

$$R_{lO.HH} = R_{l\Gamma.HH},$$

$$R_{l.HH\Gamma} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \left(4 \frac{h}{d_{\Pi}} \right),$$

$$R_{lO.HH} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b} \right)^2},$$

$$q_{lT\Pi.HH} = q_{lT\Pi.HH\Pi} + q_{lT\Pi.HH.O},$$

$$\Delta q_{lT\Pi} = q_{lT\Pi.HH} - q_{lT\Pi H},$$

$$\begin{cases} \delta_{H\Pi.H} = \delta_{H\Pi}, \text{ при } q_{lT\Pi\Pi}(\delta_{H\Pi}) - q_{lT\Pi\Pi H} = 0; \\ \delta_{H\Pi} > 0 \\ \delta_{H.O.H} = \delta_{H.O}, \text{ при } q_{lT\Pi.O}(\delta_{H.O}) - q_{lT\Pi.O.H} = 0' \\ \delta_{H.O} > 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} t = t_0 + \frac{q_{l\Pi}}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{\frac{x^2+(y+h)^2}{x^2+(y-h)^2}} + \frac{q_{lO}}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2+(y+h)^2}{(x-b)^2+(y-h)^2}} \\ x^2 + (y-h)^2 > \frac{(d_{\Pi}+2*\delta_{\Pi\Pi})^2}{4} \text{ AND } (x-b)^2 + (y-h)^2 > \frac{(d_O+2*\delta_{\Pi O})^2}{4} \end{cases}.$$

3.3 метод рішення

3.3.1 чисельний метод

Чисельний метод рішення - ітераційний метод, заснований на використанні інструменту «Пошук рішення» Ms Excel.

Інструмент «Пошук рішення» - це надбудова, яка входить в Ms Excel і призначена для вирішення завдань лінійної і нелінійної оптимізації. Для лінійних задач використовується симплекс-метод. Для нелінійних задач - метод приведенного градієнта Ньютона або метод сполучених градієнтів.

Спільне завдання оптимізації можна сформулювати наступним чином. Нехай $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - вектор дійсних змінних. Необхідно знайти мінімум (максимум) цільової функції при виконанні набору з m обмежень $\Omega = f(X) g_i(X) \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$. Предполагается, що функції $f(X)$ і $g_i(X)$ двічі диференцируєми. Серед обмежень можуть бути обмеження у вигляді рівності і у вигляді нерівностей. Вектор називається вектором правих частин обмежень, якщо функції $b_i, i = 1, 2, \dots, m$ $f(X)$ і $g_i(X)$ лінійні відносно змінних $x_1, x_2, \dots, x_n$, То це буде завдання лінійної оптимізації. Якщо хоча б одна з функцій $f(X)$ і $g_i(X)$ є нелінійною щодо змінних, То це буде завдання нелінійної оптимізації.

Завдання оптимізації полягає з трьох об'єктів:

- змінні $x_1, x_2, \dots, x_n$; в інструменті «Пошук рішення» осередки, які містять значення цих змінних, називаються змінні комірки;
- осередок містить функцію $f(X)$, яка називається цільовою функцією називається цільової осередком;
- обмеження; можуть бути записані в осередках робочого аркуша і потім вказані в діалоговому вікні інструменту «Пошук рішення».

У даній роботі в завданні обчислення нормативних товщини виходу та повернення теплопроводів цільова функція запишеться наступним чином: Ω

$$\Omega = (q_{l\text{Т.П.П.}}(\delta_{\Pi\Pi}) - q_{l\text{Т.П.П.Н.}})^2 + (q_{l\text{Т.П.О.}}(\delta_{\Pi\text{О.}}) - q_{l\text{Т.П.О.Н.}})^2, \quad (3.22)$$

обмеження мають вигляд:

$$\delta_{ИЛ} \geq 0; \delta_{ИО} \geq 0 \quad (3.23)$$

Сформулювавши задачу оптимізації, на робочому аркуші Ms Excel створюють її табличну модель. У табличній моделі в одні комірки робочого листа заносять змінні рішення, в інші - заносять формули, за якими будуть обчислюватися цільова функція і функції обмежень (ліві частини обмежень), в треті - заносяться праві частини обмежень (зн

ачення). Після виконання зазначених операцій все готово для використання інструменту «Пошук рішення».

3.3.2 Графічний метод рішення

Графічний метод рішення заснований на використанні інструменту «Діаграма» Ms Excel.

ЛІТЕРАТУРА

1. Инженерные сети, инженерная подготовка и оборудование территорий, зданий и стройплощадок: учебник / Л. В. Погодина. — 3-е изд. — Москва: Дашков и К, 2013. — 474 с.
2. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений: учебник для вузов / Е.Н. Бухаркин [и др.]; Под ред. Ю.П. Соснина.— 2-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. шк., 2008. — 415 с.
3. Водоотведение: учебник для вузов/Ю. В. Воронов [и др.]; Ассоциация строительных вузов. — Москва: Изд-во АСВ, 2014. — 413с.
4. Водоснабжение и водоотведение: учебник для бакалавров / И. И. Павлинова, В. И. Баженов, И. Г. Губий. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Юрайт, 2013. — 472 с.
5. Инженерные сети, инженерная подготовка и оборудование территорий, зданий и стройплощадок: учебное пособие / В.А. Бейербах. — 2-е изд., перераб. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. — 569 с.
6. Строительство и реконструкция инженерных сетей и сооружений: учебное пособие для вузов / В. А. Орлов. — Москва: Академия, 2010. — 301с.: ил. — (Высшее профессиональное образование, Строительство) — Прил.: с. 291-297.
7. — Библиогр: с. 298.
8. Реконструкция трубопроводных систем / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлова; Ассоциация строительных вузов. — Москва: Изд-во АСВ, 2008. — 215с.
9. Водоотведение поверхностного стока современных мегаполисов / Е. А. Пугачев; Ассоциация строительных вузов. — Москва: Изд-во АСВ, 2013. — 96 с.
10. Водоотведение и водоснабжение: учебное пособие для вузов / Е. Н. Белоконев, Т.Е. Попова, Г.Н. Пурас. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2009.— 379 с.
11. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учебное пособие для вузов / В.И.Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Стройиздат, 2002. — 397 с.
12. Гидравлика, водоснабжение и канализация: учебное пособие для вузов / В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Стройиздат, 2003. — 397 с.

13. Теплоснабжение (курсовое проектирование): учебное пособие для вузов / В. М. Копко, Н. К. Зайцева, Г. И. Базыленко; Под ред. В. М. Копко. — Минск: Вышэйш. шк., 1985. — 139 с.

ДОДАТОК А

Таблиця 5

Остання цифра номера залікової книжки		dП, м	Do, м	h, м	b, м
0	1	0,219	0,219	1,3	0,60
2	3	0,273	0,273	1,5	0,65
4	5	0,325	0,325	1,6	0,7
6	7	0,377	0,377	1,65	0,75
8	9	0,426	0,426	1,7	0,80

Таблиця 6

Передостання цифра номера залікової книжки		$\frac{\lambda_{ип}, Bm}{m * K}$	$\frac{\lambda_{ио}, Bm}{m * K}$	$\frac{\lambda_{иг}, Bm}{m * K}$	$\tau_{п}, ^\circ C$	$\tau_{о}, ^\circ C$	$t_0, ^\circ C$	$q_{l T.П.П.Н}, \frac{Bm}{m}$	$q_{l T.П.О.Н}, \frac{Bm}{m}$	Грунт
0	1	*)	*)	**)	90	60	6,7	***)	***)	Глинистий, відносно сухий
2	3	*)	*)	**)	90	60	5,4	***)	***)	Суглинки, вологий
4	5	*)	*)	**)	90	60	2,3	***)	***)	Піщаний, відносно сухий
6	7	*)	*)	**)	90	60	0,7	***)	***)	Глинистий, щодо вологий
8	9	*)	*)	**)	90	60	4,7	***)	***)	Суглинки, відносно сухий

*) Підібрати матеріал ізоляції на основі теплоносіїв по табл.1. $\tau_{п}, \tau_{о}$

***) Підібрати на основі виду ґрунту по Табл. 3.

***) Підібрати по Табл. 2.

ДОДАТОК Б КОНТРОЛЬНІ РОЗРАХУНКИ

1 Розрахунок нормативної товщини ізоляції виходу та повернення теплопроводів

Товщина ізоляції, відповідна нормативним тепловим втратам виходу та повернення теплопроводів обчислюється за допомогою інструменту "Пошук рішення":

$\delta_{и.п.н.} =$	0,041	м	$\delta_{и.о.н.} =$	0,030	м
$R_{и.п.} = 1/(2 \pi \lambda_{и.п.}) \ln((d_{п.} + 2 * \delta_{и.п.})/d_{п.})$	=			0,8317	(м*К)/Вт
$R_{г.п.} = 1/(2 \pi \lambda_{г.}) \ln(4h/(d_{п.} + 2 * \delta_{и.п.}))$	=			0,2573	(м*К)/Вт
$R_{п.} = R_{и.п.} + R_{г.п.}$	=			1,089	(м*К)/Вт
$R_{и.о.} = 1/(2 \pi \lambda_{и.о.}) \ln((d_{о.} + 2 * \delta_{и.о.})/d_{о.})$	=			0,6265	(м*К)/Вт
$R_{г.о.} = 1/(2 \pi \lambda_{г.}) \ln(4h/(d_{о.} + 2 * \delta_{и.о.}))$	=			0,2631	(м*К)/Вт
$R_{о.} = R_{и.о.} + R_{г.о.}$	=			0,890	(м*К)/Вт
$q_{и.п.п.} - q_{и.п.н.} =$	3,32398E-05	Вт/м	$q_{и.п.п.} =$	73,00	Вт/м
$q_{и.п.о.} - q_{и.п.о.н.} =$	6,77479E-05	Вт/м	$q_{и.п.о.} =$	39,00	Вт/м
$\Omega = (q_{и.п.п.} - q_{и.п.п.н.})^2 + (q_{и.п.о.} - q_{и.п.о.н.})^2 =$				5,69E-09	

В результаті ітераційного процесу отримали наступні значення нормативних товщини ізоляції виходу та повернення теплопроводу, відповідно:

$$\delta_{и.п.н.} = 0,0408 \text{ м і } \delta_{и.о.н.} = 0,0297 \text{ м.}$$

2 Розрахунок загальних нормативних теплових втрат ізольованих виходу та повернення теплопроводів

Загальні нормативні теплові втрати для ізольованих виходу та повернення теплопроводів складають:

$$q_{и.т.п.н.} = q_{и.т.п.п.н.} + q_{и.т.п.о.н.} = 112,0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}.$$

3 Розрахунок загальних нормативних теплових втрат неізольованих виходу та повернення теплопроводів

розраховуємо умовне термічний опір, що враховує вплив сусіднього теплопроводу, за формулою Шубіна:

$$R_{l_o} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2} = \boxed{0,141} \frac{M^*K}{Bm}.$$

Розраховуємо значення відносини $\frac{h}{d}$:

$\frac{h}{d} = \boxed{2,71}$. Оскільки, То розрахунок термічний опір ґрунту проводиться за спрощеною формулою Форґхеймера: $\frac{h}{d} > 1,25$

$$R_{l_{\Gamma.HH}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln 4 \frac{h}{d_{\Pi}} = \boxed{0,281} \frac{M^*K}{Bm}.$$

Звідси:

$$R_{l_{\Pi.HH}} = \boxed{0,281} \frac{M^*K}{Bm};$$

$$R_{l_{O.HH}} = \boxed{0,281} \frac{M^*K}{Bm}.$$

розраховуємо $q_{l_{T.\Pi.\Pi.HH}}$ - питомі теплові втрати подає неізолюваного теплопроводу:

$$q_{l_{T.\Pi.\Pi.HH}} = \frac{(\tau_1 - t_0)R_{l_{O.HH}} - (\tau_2 - t_0)R_{l_o}}{R_{l_{\Pi.HH}}R_{l_{O.HH}} - R_{l_o}^2} = \boxed{297,0} \frac{Bm}{m};$$

$q_{l_{T.\Pi.O.HH}}$ - питомі теплові втрати зворотного теплопроводу:

$$q_{l_{T.\Pi.O.HH}} = \frac{(\tau_2 - t_0)R_{l_{\Pi.HH}} - (\tau_1 - t_0)R_{l_o}}{R_{l_{\Pi.HH}}R_{l_{O.HH}} - R_{l_o}^2} = \boxed{10,94} \frac{Bm}{m}.$$

Загальна втрата прямого і зворотного теплопроводів:

$$q_{l_{T.\Pi.HH}} = q_{l_{T.\Pi.\Pi.HH}} + q_{l_{T.\Pi.O.HH}} = \boxed{307,91} \frac{Bm}{m}$$

4 Розрахунок різниці теплових втрат ізолюваних (нормативні теплові втрати) і неізолюваних теплопроводів

Різниці теплових втрат ізолюваних (нормативні теплові втрати) і неізолюваних теплопроводів:

$$\Delta q_{l_{T.L.}} = q_{l_{T.L.H}} - q_{l_{T.L.HH}} = \boxed{-195,9} \frac{Bm}{m}.$$

5 Розрахунок температурного поля навколо двотрубного ізолюваного теплопроводу

Розрахунок розподілу температур на ізолиниях глибини проводиться за формулою, виключаючи площі, зайняті поперечними перетинами ізолюваних виходу та повернення теплопроводів (див. Рис. 2.1):

$$\left\{ \begin{array}{l} t = t_0 + \frac{q_{l_{T.L.HH}}}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{x^2+(y+h)^2}{x^2+(y-h)^2}} + \frac{q_{l_{T.L.OH}}}{2\pi\lambda_\Gamma} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2+(y+h)^2}{(x-b)^2+(y-h)^2}}, ^\circ\text{C} \\ x^2 + (y-h)^2 > \frac{(d_{II}+2\cdot\delta_{II.II})^2}{4} \text{ AND } (x-b)^2 + (y-h)^2 > \frac{(d_{O}+2\cdot\delta_{II.O})^2}{4} \end{array} \right.;$$

Розрахунки проводяться на ізолиниях глибини (ордината) $Y = (0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70; 1,80; 1,90; 2,00; 2,10)$.

Абсциссу відраховуємо від вертикальної осі подає теплопроводу, м;

$X = (-1,25; -1,00; -0,75; -, 050; -0,25; 0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00)$.

З площині перетину виключаємо області, займані поперечними перетинами ізолюваних теплопроводів. Ці області описуються нерівностями: для подає теплопроводу:

$$x^2 + (y-h)^2 \leq \frac{(d_{II} + 2 \cdot \delta_{II.II})^2}{4};$$

для зворотного теплопроводу:

$$(x-b)^2 + (y-h)^2 \leq \frac{(d_{O}+2\cdot\delta_{II.O})^2}{4}.$$

Результати розрахунків, необхідних для побудови діаграми, наведені в табл.7.

Графік розподілу температур на ізолиниях глибини наведено на Рис. 1.

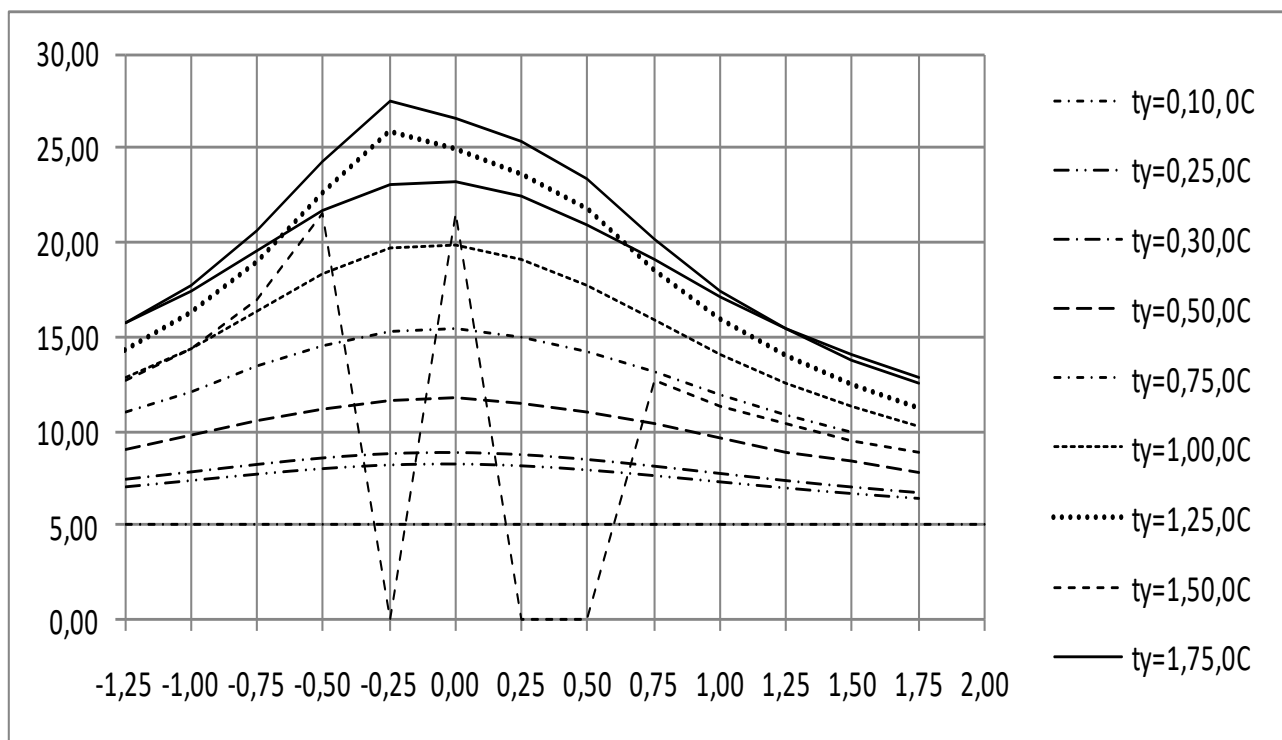


Рис. 1. Графік розподілу температур на ізолиниях глибини

Табл. 7. Результати розрахунку розподілу температур на ізолиніях глибини навколо виходу та повернення теплопроводів

x, м	y, м	$t_{y=0,10}, ^\circ\text{C}$	y	$t_{y=0,25}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=0,30}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=0,50}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=0,75}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=1,00}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=1,25}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=1,50}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=1,75}, ^\circ\text{C}$	y, м	$t_{y=2,00}, ^\circ\text{C}$
-1,25	0,00	5,00	0,25	6,75	0,30	7,10	0,50	8,46	0,75	10,07	1,00	11,51	1,25	12,70	1,50	11,35	1,75	14,07	2,00	14,25
-1,00	0,00	5,00	0,25	7,06	0,30	7,47	0,50	9,09	0,75	11,03	1,00	12,79	1,25	14,24	1,50	12,65	1,75	15,69	2,00	15,70
-0,75	0,00	5,00	0,25	7,40	0,30	7,88	0,50	9,80	0,75	12,16	1,00	14,39	1,25	16,26	1,50	14,41	1,75	17,79	2,00	17,46
-0,50	0,00	5,00	0,25	7,74	0,30	8,30	0,50	10,53	0,75	13,40	1,00	16,30	1,25	18,98	1,50	16,99	1,75	20,58	2,00	19,51
-0,25	0,00	5,00	0,25	8,04	0,30	8,66	0,50	11,19	0,75	14,56	1,00	18,34	1,25	22,66	1,50	21,53	1,75	24,30	2,00	21,65
0,00	0,00	5,00	0,25	8,23	0,30	8,89	0,50	11,61	0,75	15,34	1,00	19,75	1,25	25,89	1,50	ЛОЖЬ	1,75	27,56	2,00	23,13
0,25	0,00	5,00	0,25	8,28	0,30	8,95	0,50	11,72	0,75	15,49	1,00	19,85	1,25	24,94	1,50	21,53	1,75	26,62	2,00	23,24
0,50	0,00	5,00	0,25	8,18	0,30	8,83	0,50	11,49	0,75	15,07	1,00	19,08	1,25	23,65	1,50	ЛОЖЬ	1,75	25,32	2,00	22,44
0,75	0,00	5,00	0,25	7,96	0,30	8,56	0,50	11,00	0,75	14,21	1,00	17,70	1,25	21,76	1,50	ЛОЖЬ	1,75	23,39	2,00	20,99
1,00	0,00	5,00	0,25	7,66	0,30	8,19	0,50	10,35	0,75	13,09	1,00	15,87	1,25	18,54	1,50	12,65	1,75	20,12	2,00	19,05
1,25	0,00	5,00	0,25	7,32	0,30	7,79	0,50	9,64	0,75	11,92	1,00	14,08	1,25	15,93	1,50	11,35	1,75	17,44	2,00	17,11
1,50	0,00	5,00	0,25	7,00	0,30	7,39	0,50	8,96	0,75	10,84	1,00	12,56	1,25	13,98	1,50	10,35	1,75	15,41	2,00	15,43
1,75	0,00	5,00	0,25	6,70	0,30	7,04	0,50	8,36	0,75	9,92	1,00	11,32	1,25	12,49	1,50	9,56	1,75	13,83	2,00	14,02
2,00	0,00	5,00	0,25	6,44	0,30	6,73	0,50	7,84	0,75	9,16	1,00	10,33	1,25	11,32	1,50	8,92	1,75	12,58	2,00	12,85

Листи Ms Excel

Наименование величины	Обозначение величины	Значение	Единица измерения
Наружный диаметр подающего теплопровода	$d_n =$	0,273	м
Наружный диаметр обратного теплопровода	$d_o =$	0,273	м
Глубина заложения оси теплопроводов	$h =$	1,5	м
Расстояние между осями труб теплопроводов по горизонту	$b =$	0,65	м
Средняя температура теплоносителя подающего теплопровода	$t_{п} =$	90	$^{\circ}\text{C}$
Средняя температура теплоносителя обратного теплопровода	$t_{o} =$	50	$^{\circ}\text{C}$
Температура грунта на глубине заложения теплопровода	$t_0 =$	5	$^{\circ}\text{C}$
Коэффициент теплопроводности изоляции обратного теплопровода (Пенополиуретан)	$\lambda_{и.л} =$	0,05	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$
Коэффициент теплопроводности изоляции обратного теплопровода (Пенополиуретан)	$\lambda_{и.о} =$	0,05	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$
Коэффициент теплопроводности грунта (Суглинки, относительно сухой) по табл. 4 метод указания	$\lambda_{г} =$	1,75	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$
Нормативные тепловые потери подающего теплопровода	$q_{т.п.п.н} =$	73	Вт/м
Нормативные тепловые потери обратного теплопровода	$q_{т.п.о.н} =$	39	Вт/м

Вычисления					
Расчет полных термических сопотивлений подающего и обратного трубопроводов					
Так как $h/d_{и} = h/(d+2*d_{и}) =$	5,49		>	1,25	
то термическое сопротивление грунта рассчитываем по упрощенной формуле Форгхеймера:					
$R_{гг} = 1/(2\pi\lambda_{гг})\ln(4h/d),$	(м*град)/Вт				
Условное термическое сопротивление, вызванное влиянием соседнего трубопровода, рассчитываем по формуле Е.П. Шубина:					
$R_{гг} = 1/(2\pi\lambda_{гг})\ln((1+(2h/b)^2)^{(1/2)}) =$	0,141		(м*К)/Вт		
Толщина изоляции, соответствующая нормативным тепловым потерям для подающего и обратного теплопроводов вычисляем с помощью инструмента "Поиск решения":					
$\delta_{и.п.н.} =$	0,0408	м	$\delta_{и.о.н.} =$	0,0297	м
$R_{и.п.} = 1/(2\pi\lambda_{и.п.})\ln((d_{п}+2*\delta_{и.п.})/d_{п})$			=	0,8317	(м*К)/Вт
$R_{и.г.п.} = 1/(2\pi\lambda_{гг})\ln(4h/(d_{п}+2*\delta_{и.п.}))$			=	0,2573	(м*К)/Вт
$R_{пг} = R_{и.п.} + R_{и.г.п.}$			=	1,089	(м*К)/Вт
$R_{и.о.} = 1/(2\pi\lambda_{и.о.})\ln((d_{о}+2*\delta_{и.о.})/d_{о})$			=	0,6265	(м*К)/Вт
$R_{и.г.о.} = 1/(2\pi\lambda_{гг})\ln(4h/(d_{о}+2*\delta_{и.о.}))$			=	0,2631	(м*К)/Вт
$R_{го} = R_{и.о.} + R_{и.г.о.}$			=	0,890	(м*К)/Вт
$q_{ит.п.п.} - q_{ит.п.п.н.} =$	3,32398E-05	Вт/м	$q_{ит.п.п.} =$	73,00	Вт/м
$q_{ит.п.о.} - q_{ит.п.о.н.} =$	6,77479E-05	Вт/м	$q_{ит.п.о.} =$	39,00	Вт/м
	$\Omega = (q_{ит.п.п.} - q_{ит.п.п.н.})^2 + (q_{ит.п.о.} - q_{ит.п.о.н.})^2 =$				5,69E-09
Общие нормативные тепловые для изолированных подающего и обратного теплопроводов составляют:					
$q_{и} = q_{ит.п.п.н.} + q_{ит.п.о.н.} =$	112,0	Вт/м			
Расчет общих потерь неизолированных прямого и обратного теплопроводов:					
$R_{и.г.п.н.} = 1/(2\pi\lambda_{гг})\ln(4h/d_{п}) =$	0,281		(м*К)/Вт		
Рассчитаем $R_{п.п.н.}$ и $R_{и.о.н.}$:					
$R_{п.п.н.} = R_{и.о.н.} = R_{и.г.п.н.} = 1/(2\pi\lambda_{гг})\ln(4h/d_{п}) =$	0,281		(м*К)/Вт		
$q_{ит.п.п.н.} = ((\tau_{п} - t_{о})R_{и.о.н.} - (\tau_{о} - t_{о})R_{и.о.}) / (R_{п.п.н.}R_{и.о.н.} - R_{и.о.}^2) =$	297,0		(м*К)/Вт		
$q_{ит.п.о.н.} = ((\tau_{о} - t_{о})R_{п.п.н.} - (\tau_{п} - t_{о})R_{и.о.}) / (R_{п.п.н.}R_{и.о.н.} - R_{и.о.}^2) =$	10,94		(м*К)/Вт		
Общие потери неизолированных подающего и обратного теплопроводов составляют:					
$q_{ит.п.н.} = q_{ит.п.п.н.} + q_{ит.п.о.н.} =$	307,91		(м*К)/Вт		
Расчет разницы тепловых потерь изолированных (нормативные тепловые потери) с неизолированными теплопроводами:					
$\Delta q_{ит.п.} = q_{ит.п.н.} + q_{ит.п.н.} =$	-195,9		(м*К)/Вт		
Температура грунта в точке x_A и y_A :					
$t = t_{о} + q_{пг} * \ln((x_A^2 + (y_A + h)^2) / (x_A^2 + (y_A - h)^2))^{1/2} / (2\pi\lambda_{гг}) + q_{го} * \ln(((x_A - b)^2 + (y_A + h)^2) / ((x_A - b)^2 + (y_A - h)^2))^{1/2} / (2\pi\lambda_{гг}),$	$^{\circ}C$				
Распределение температур в плоскости сечения перпендикулярной осям теплопровода на изолиниях глубины, м; $Y = (0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70; 1,80; 1,90; 2,00; 2,10)$.					
Абсциссу отсчитываем от вертикальной оси подающего теплопровода, м; $X = (-1,25; -1,00; -0,75; -0,50; -0,25; 0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00)$.					
Из плоскости сечения исключаем области, занимаемые поперечными сечениями изолированных теплопроводов. Эти области описываются неравенствами:					
для подающего теплопровода: $x^2 + (y - h)^2 \leq (d_{п} + 2*\delta_{и.п.})^2 / 4$					
для обратного теплопровода: $(x - b)^2 + (y - h)^2 \leq (d_{о} + 2*\delta_{и.о.})^2 / 4$					

Табличні дані, необхідні для побудови діаграми розподілу температур на ізолиніях глибини

x, м	y, м	t _{y=0,10} , °C	y	t _{y=0,25} , °C	y, м	t _{y=0,30} , °C	y, м	t _{y=0,50} , °C	y, м	t _{y=0,75} , °C	y, м	t _{y=1,00} , °C	y, м	t _{y=1,25} , °C	y, м	t _{y=1,50} , °C	y, м	t _{y=1,75} , °C	y, м	t _{y=2,00} , °C
-1,25	0,00	5,00	0,25	6,75	0,30	7,10	0,50	8,46	0,75	10,07	1,00	11,51	1,25	12,70	1,50	11,35	1,75	14,07	2,00	14,25
-1,00	0,00	5,00	0,25	7,06	0,30	7,47	0,50	9,09	0,75	11,03	1,00	12,79	1,25	14,24	1,50	12,65	1,75	15,69	2,00	15,70
-0,75	0,00	5,00	0,25	7,40	0,30	7,88	0,50	9,80	0,75	12,16	1,00	14,39	1,25	16,26	1,50	14,41	1,75	17,79	2,00	17,46
-0,50	0,00	5,00	0,25	7,74	0,30	8,30	0,50	10,53	0,75	13,40	1,00	16,30	1,25	18,98	1,50	16,99	1,75	20,58	2,00	19,51
-0,25	0,00	5,00	0,25	8,04	0,30	8,66	0,50	11,19	0,75	14,56	1,00	18,34	1,25	22,66	1,50	21,53	1,75	24,30	2,00	21,65
0,00	0,00	5,00	0,25	8,23	0,30	8,89	0,50	11,61	0,75	15,34	1,00	19,75	1,25	25,89	1,50	ЛОЖЬ	1,75	27,56	2,00	23,13
0,25	0,00	5,00	0,25	8,28	0,30	8,95	0,50	11,72	0,75	15,49	1,00	19,85	1,25	24,94	1,50	21,53	1,75	26,62	2,00	23,24
0,50	0,00	5,00	0,25	8,18	0,30	8,83	0,50	11,49	0,75	15,07	1,00	19,08	1,25	23,65	1,50	ЛОЖЬ	1,75	25,32	2,00	22,44
0,75	0,00	5,00	0,25	7,96	0,30	8,56	0,50	11,00	0,75	14,21	1,00	17,70	1,25	21,76	1,50	ЛОЖЬ	1,75	23,39	2,00	20,99
1,00	0,00	5,00	0,25	7,66	0,30	8,19	0,50	10,35	0,75	13,09	1,00	15,87	1,25	18,54	1,50	12,65	1,75	20,12	2,00	19,05
1,25	0,00	5,00	0,25	7,32	0,30	7,79	0,50	9,64	0,75	11,92	1,00	14,08	1,25	15,93	1,50	11,35	1,75	17,44	2,00	17,11
1,50	0,00	5,00	0,25	7,00	0,30	7,39	0,50	8,96	0,75	10,84	1,00	12,56	1,25	13,98	1,50	10,35	1,75	15,41	2,00	15,43
1,75	0,00	5,00	0,25	6,70	0,30	7,04	0,50	8,36	0,75	9,92	1,00	11,32	1,25	12,49	1,50	9,56	1,75	13,83	2,00	14,02
2,00	0,00	5,00	0,25	6,44	0,30	6,73	0,50	7,84	0,75	9,16	1,00	10,33	1,25	11,32	1,50	8,92	1,75	12,58	2,00	12,85

