

Рекомендації **по проектуванню**

Редакція - 2

Зміст

Вступ.	7
Вимоги до проектної документації.	8
Позначення.	10
Основні дані системи попередньоізольованих трубопроводів.	12
4.1. Провідна труба.	12
4.2. Теплова ізоляція.	14
4.3. Поліетиленова труба (захисна оболонка).	15
4.4. Попередньоізольована труба в ізоляції із пінополіуретану з оболонкою із поліетилену.	16
5. Розташування труб в траншеї.	17
6. Втрати тепла.	18
7. Навантаження на безканальні трубопроводи.	21
7.1. Тиск власної ваги оточуючого ґрунту.	22
7.2. Тиск власної ваги трубопроводу.	23
7.3. Тиск ґрунту від наземного транспорту.	23
7.4. Сумарні (еквівалентні) навантаження.	23
8. Сила тертя між ґрунтом і трубопроводом.	23
9. Напруження в провідній сталевій трубі.	24
9.1. Напруження від внутрішнього тиску.	24
9.2. Напруження від осьової сили.	26
9.3. Сумарне осьове напруження.	26
9.4. Визначення допустимих осьових напружень.	26
9.5. Напруження від тертя.	31

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

9.6. Напруження від реакції компенсаторів.	31
9.7. Напруження від росту температури.	32
10. Розрахунки попередньоізольованих трубопроводів.	32
11. Методи прокладки попередньоізольованих трубопроводів.	40
11.1. Попередній підігрів трубопроводів при монтажі.	40
11.2. Безкомпенсаційний метод (метод 1).	42
11.2.1. Застосування «разових» компенсаторів.	42
11.2.2. Бетонування фізичних нерухомих опор, коли трубопровід знаходиться в стані видовження.	46
11.2.3. Засипка трубопроводу ґрунтом, коли трубопровід знаходиться в стані видовження.	47
11.3. Прокладка із радіальною (гнучкою) компенсацією (метод 2).	49
11.3.1. Компенсаційні зони.	52
11.3.2. Типова компенсація.	54
11.3.2.1. «Г» - подібна компенсація.	54
11.3.2.2. «Z» - подібна компенсація.	57
11.3.2.3. «П» - подібна компенсація.	58
11.3.3. Нетипова компенсація.	59
11.3.4. Радіальна компенсація в умовах попереднього підігріву.	61
11.4. Прокладка із осьовою компенсацією (метод 3).	61
11.4.1. «Вільні» сильфонні компенсатори.	62
11.4.2. «Дожимні» сильфонні компенсатори.	65
11.5. Рекомендовані методи прокладки.	67
12. Нерухомі опори.	68
12.1. Умовна нерухома опора.	68

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

12.2 Фізична (дійсна) нерухома опора.	69
13. Поради по проектуванню.	74
13.1. Зміни напрямку траси.	74
13.2. Відгалуження трубопроводів.	75
13.3. Перехід трубопроводів через стіни.	78
13.4. Приєднання до внутрішніх систем будинків.	80
13.5. Приєднання до каналних трубопроводів.	81
Використана і рекомендована література.	85

1. ВСТУП.

Ці рекомендації включають в себе загальні принципи проектування безканальної прокладки сталевих трубопроводів теплових мереж із попередньоізольованих спініним поліуретаном труб в захисній оболонці із поліетилену

Спеціалісти підприємства нададуть всю необхідну інформацію і консультацію по проектуванню і виконанню попередньоізольованих трубопроводів. По бажанню замовника можуть бути виконані проекти теплових мереж, а також проведена експертиза проектів сторонніх організацій, адаптація проектів каналної прокладки до безканальної і т. ін.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

2. ВИМОГИ ДО ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ.

Проекти теплових мереж мають відповідати вимогам [1], [3], [5].

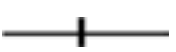
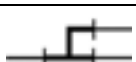
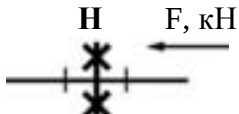
Додатково необхідно передбачити наступне:

- * на монтажній схемі трубопроводів необхідно показати всі елементи попередньоізольованих трубопроводів згідно із табл. 2.1.
- * до проекту трас із аварійною сигналізацією має входити окремим документом схема системи аварійної сигналізації з позначенням всіх елементів системи;
- * в специфікації до проекту необхідно вказати всі попередньоізольовані елементи траси і елементи системи аварійної сигналізації із зазначенням каталожного номеру згідно із каталогом виробів.

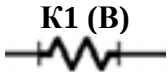
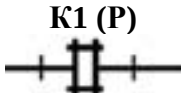
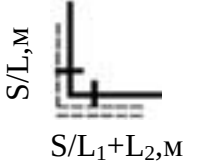
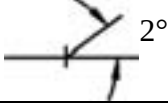
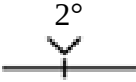
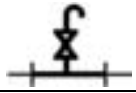
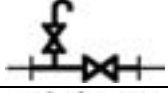
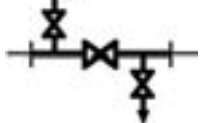
Вся документація повинна бути виконана чітко і якісно і має забезпечувати однозначність трактування проектних рішень. На вимогу замовника проектна організація зобов'язана надати розрахунки до проекту.

Умовні графічні позначення елементів попередньоізольованих трубопроводів теплових мереж безканальної прокладки. (рекомендовані)

Табл. 2.1 (початок)

Позначення	Назва
	Труба пряма повна
	Труба пряма дорізна
	Зварний стик з теплогідроізоляцією
	Коліно (відвід) горизонтальний
	Коліно (відвід) вертикальний (напрямок вниз)
	Коліно (відвід) вертикальний (напрямок вверх)
	Трійник прямий
	Трійник кутовий
	Трійник паралельний
	Перехід діаметрів
	Умовна нерухома опора
	Наявна (фізична) нерухома опора

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

	Компенсатор сильфонний “вільний”
	Компенсатор “разовий”
	Рукав кінцевий
	Кільце ущільнююче
	Перетин стін з посиленням ущільненням
	Адаптер
	Заглушка
	Компенсаційна зона
	Горизонтальна зміна напрямку на з'єднанні (стику)
	Вертикальна зміна напрямку на з'єднанні (стику)
	Клапан запірний
	Обезповітрявач (випуск повітря)
	Дренаж (спуск води із системи)
	Клапан запірний з одним обезповітрявачем
	Клапан запірний з одним дренажем
	Клапан запірний з двома обезповітрявачами
	Клапан запірний з двома дренажами
	Клапан запірний з обезповітрявачем і дренажем

3. ПОЗНАЧЕННЯ.

Нижче наведені основні позначення, які застосовуються в даній праці. Для деяких величин вказані загальні позначення, а точні умови застосування і індекси знайшли своє пояснення при розгляді конкретних формул і малюнків. Розмірності вказані при розгляді конкретних формул.

- A_i - площа січення стінки труби в розрахунковому січенні ;
- A_k - ефективна площа сильфону компенсатора ;
- C_q - коефіцієнт осової жорсткості сильфонного компенсатора ;
- c_v - коефіцієнт вертикального тиску ґрунту ;
- D_y - умовний діаметр провідної сталевोї труби ;
- $D_{вн}$ - внутрішній діаметр провідної сталевої труби ;
- D_3 - зовнішній діаметр провідної сталевої труби ;
- $D_{тр}$ - зовнішній діаметр попередньоізолюваної труби (захисної поліетиленової труби - оболонки) ;
- d - діаметр циліндричного шару ізоляції (загальне позначення) ;
- E - модуль поздовжньої пружності ;
- F - сила (загальне позначення) ;
- $q_{тр}$ - питома вага попередньоізолюваної труби з водою ;
- H - глибина траншеї ;
- h - глибина залягання трубопроводу від поверхні до верху труби ;
- h_o - глибина залягання трубопроводу від поверхні до осі труби ;
- i - відносна деформація матеріалу ;
- k_n - коефіцієнт перевантаження ;
- L - довжина ділянки трубопроводу (загальне позначення) ;
- M_b - згинаючий момент ;
- P - зовнішній тиск (загальне позначення) ;
- P_y - умовний внутрішній тиск в трубопроводі ;
- P_p - робочий внутрішній тиск в трубопроводі ;
- q - питома втрата тепла попередньоізолюваною трубою ;
- g - термічний опір шару матеріалу або конструкції (загальне позначення) ;
- s - номінальна товщина стінки провідної сталевої труби ;
- s_{min} - мінімальна товщина стінки провідної сталевої труби ;
- $s_{пе}$ - товщина стінки поліетиленової труби - оболонки ;

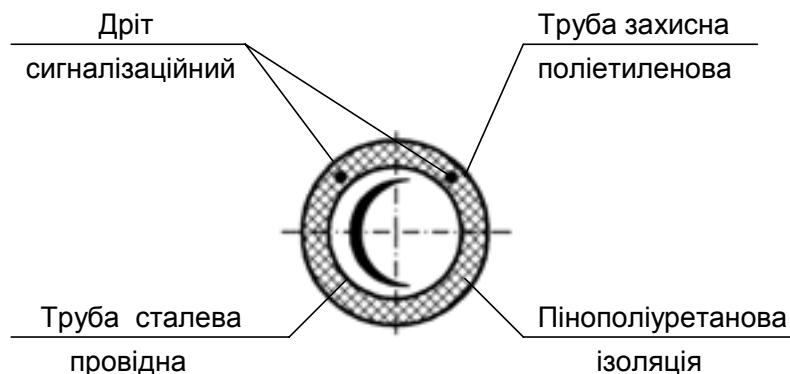
РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

- t - температура (загальні позначення) ;
 $[t]$ - допустима максимальна температура ;
 W - момент опору поперечного січення провідної сталеві труби ;

 α - коефіцієнт лінійного видовження ;
 β - кут зміни напрямку траси ;
 $\gamma_{\text{п}}$ - питома вага ґрунту ;
 $\gamma_{\text{т}}$ - коефіцієнт надійності по навантаженню ;
 Δl - лінійне переміщення ділянки трубопроводу внаслідок зміни температури (загальне позначення) ;
 Δt - різниця температур (загальне позначення) ;
 δ - товщина шару компенсаційної подушки компенсаційної зони ;
 λ - коефіцієнт теплопровідності (загальне позначення) ;
 μ - коефіцієнт тертя між попередньоізолюваною трубою і ґрунтом засипки ;
 ν - коефіцієнт Пуассона ;
 ρ - густина матеріалу ;
 σ - напруження в стінці провідної сталеві труби (загальне позначення) ;
 $[\sigma]$ - допустиме напруження в стінці провідної сталеві труби (загальне позначення) ;
 $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості металу ;
 $\sigma_{\text{в}}$ - тимчасовий опір металу до розриву ;
 $\tau_{\text{п}}$ - коефіцієнт нормативного бокового тиску ґрунту ;
 φ - розрахунковий коефіцієнт міцності ;
 $\varphi_{\text{п}}$ - нормативний кут внутрішнього тертя ґрунту ;
 φ_{w} - коефіцієнт міцності зварного з'єднання ;
 ω - кутове переміщення .

4. ОСНОВНІ ДАНІ СИСТЕМИ ПОПЕРЕДНЬОІЗОЛЬОВАНИХ ТРУБОПРОВОДІВ.

Попередньоізольована труба складається із провідної труби, яка розташована центрично в оболонці із поліетиленової труби. Простір між провідною і захисною трубою заповнений поліуретановою пінкою. За рахунок з'єднання пінки із провідною і поліетиленовою трубою, така попередньоізольована труба є єдиною монолітною системою.



Мал. 4.1. Конструкція попередньоізольованих трубопроводів.

Нижче наведені технічні характеристики елементів, що входять в склад такої системи.

4.1. Провідна труба.

В якості провідної труби в системі можуть використовуватися труби сталеві, мідні, полімерні та ін. Оскільки в основному при прокладенні теплових мереж застосовуються сталеві труби (без покриття, оцинковані, емальовані) в даній роботі розглядаються принципи проектування тільки для сталевих провідних труб.

Використовуюмо для трубопроводів теплових мереж

наступні сталеві труби:

- * безшовні ГОСТ 8731 (гр. В); ГОСТ 8733(гр. В)
- * електрозварні прямошовні ГОСТ 10705 (гр. В), 10706 (гр. В)
- * труби електрозварні прямошовні ГОСТ 20295.

Всі труби відповідають вимогам [9]. Крім вищевказаних труб можуть застосовуватися і інші труби при умові виконання вимог [9].

Типорозміри труб відповідають ГОСТ 8732, 10704, 20295 і наведені в табл. 4.1.1. До $D_y \leq 150$ мм застосовуються в основному безшовні труби, а для $D_y > 150$ мм - електрозварні.

Розміри і маса сталевих труб

табл 4.1.1

d_y	d_3	$s_{\min}$	$d_{\text{вн}}$	Маса	Площа стінки
мм	мм	мм	мм	кг/м	м ²
25*	32	2,5	27	1,82	0,00023
32	38	2,5	33	2,19	0,00028
40	45	2,5	40	2,62	0,00033
50	57	3,5	50	4,62	0,00059
65	76	3,5	69	6,26	0,00080
80	89	3,5	82	7,38	0,00094
100	108	4,0	100	10,26	0,00131
100	114	4,0	106	10,85	0,00138
125	133	4,0	125	12,73	0,00162
150	159	4,5	150	17,15	0,00218
200	219	6,0	207	31,52	0,00401
250	273	7,0	259	45,92	0,00585
300	325	8,0	309	62,54	0,00796
350	377	9,0	359	81,68	0,01040
400	426	7,0	412	72,33	0,00921
450	478	7,0	464	81,31	0,01035
500	530	7,0	516	90,29	0,01150
600	630	8,0	614	122,70	0,01562
700	720	8,0	704	140,50	0,01789
800	820	9,0	802	180,00	0,02292
900	920	10,0	900		
1000	1020	11,0	998		

* Труба d_y 25 застосовується при прокладенні зовнішніх мереж ГВ.

В табл. 4.1.1. вказані товщини стінок труб, які гарантують витривалість цих труб при робочих параметрах, а також враховують сортамент труб, які випускаються заводами країн СНД і сортамент труб для теплових мереж.

Крім того, для зовнішніх трубопроводів мереж гарячого водопостачання застосовуються водогазопровідні оцинковані труби ГОСТ 3262, характеристики яких наведені в табл. 4.1.2.

Розміри і маса оцинкованих труб

табл 4.1.2

d_y	d_3	s_{min}	d_{en}	Маса	Площа стінки
мм	мм	мм	мм	кг/м	м ²
25	33,3	3,2	26,90	2,5	0,00030
32	42,3	3,2	35,90	3,2	0,00039
40	48,0	3,5	41,00	4,0	0,00049
50	60,0	3,5	53,00	5,0	0,00062
65	75,5	4,0	67,50	7,3	0,00090
80	88,5	4,0	80,50	8,6	0,00106
100	114,0	4,0	106,00	12,5	0,00138
125*	140,0	4,5	131,00	15,5	0,00191
150*	165,0	4,5	156,00	18,3	0,00227

Застосування труб обмежено.

Для мереж гарячого водопостачання можуть виготовлятися інші оцинковані труби, або труби із емальованим покриттям внутрішньої поверхні сортаменту згідно табл. 4.1.1. Всі сталеві труби виготовляються із сталей, наведених в табл. 4.1.3.

Види і характеристики сталей, які**використовуються при виробництві труб**

Табл. 4.1.3.

Марка сталі	ГОСТ на сталь	$\sigma_{\sim}$ МПа	σ_B (min) МПа	t, °C					
				70	95	105	115	130	150
ВстЗсп(3-5)	380	245	370	134	130	129	128	126	123
Ст 10	1050	260	335	130	139	129	128	127	125
Ст 20	1050	290	410	147	147	147	146	145	143

* Величини прийняті згідно табл.1 ОСТ 108.031.08-85 і лінійно інтерпольовані для кожної температури.

4.2. Теплова ізоляція.

В якості теплоізоляційного матеріалу використовується пінополіуретанова пінка з показниками не гіршими від вимог ГСТУ 34-204-88-002-98. Світові екологічні організації рекомендують обмеження вживання фреону в промисловості з умов екології (знищення озонового шару). Тому застосовуємо вільну від фреону пінку в якості спінювача, в якій застосовується CO₂.

Властивості пінополіуретану пінки наступні:

- * густина серцевини теплоізоляційного шару в радіальному напрямку < 60 кг/м³
- * загальна густина < 80 кг/м³
- * водопоглинання > 10 % від маси
- * кількість закритих комірок < 88 %
- * стійкість до стиску ≤ 0.3 МПа
- * стійкість до зрізу 0.15÷0.3 МПа
- * коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{50} \leq 0.035$ Вт/м °C

4.3. Поліетиленова труба (захисна оболонка).

В якості захисної оболонки використовуються труби з поліетилену високої густини (HDPE). Сортамент труб наведений в табл. 4.3.1.

Розміри і маса поліетиленових труб

табл 4.3.1

D_3	$S_{пе}$ min	$D_{вн}$	Маса
мм	мм	мм	кг/м
90	2,2	85,6	0,57
110	2,5	105,0	0,80
125	2,5	120,0	0,91
140	3,0	134,0	1,22
160	3,0	154,0	1,40
180	3,0	174,0	1,58
200	3,2	193,6	1,87
225	3,5	218,0	2,30
250	3,9	242,2	2,85
280	4,4	271,2	3,60
315	4,9	305,2	4,51
355	5,6	343,8	5,81
400	6,3	387,4	7,36
450	7,0	436,0	9,20
500	7,8	484,4	11,39
560	8,8	542,4	14,39
630	9,8	610,4	18,04
710	11,1	687,8	23,02
800	12,5	775,0	29,21
900	13,5	873,0	39,36
1000	15,5	969,0	45,27

Маса труб визначена при $\rho = 945 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Властивості матеріалу

$$\lambda = 0.43 \frac{\text{В}}{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$\alpha = 2 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$$

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

4.4. Попередньоізольована труба в ізоляції із пінополіуретану з оболонкою із поліетилену.

Попередньоізольовані труби відповідають ГСТУ 34-204-88-002-98. Номенклатура попередньоізольованих труб і їх характеристики наведені в табл. 4.4.1. Приведена номенклатура і характеристики стосуються тільки сталевих неоцинкованих труб.

Розміри і маса попередньоізольованих труб

табл 4.4.1

d_y	d_3	D_3	Маса труби *	
			без води	з водою
мм	мм	мм	кг/м	
25	32	90	2,73	3,30
32	38	110	3,59	4,45
40	45	110	3,99	5,24
50	57	125	6,23	8,19
65	76	140	8,24	11,98
80	89	160	9,77	15,05
100	108	200	13,75	21,60
100	114	200	14,26	23,08
125	133	225	16,90	29,17
150	159	250	22,10	39,76
200	219	315	39,22	72,86
250	273	400	58,04	110,70
300	325	450	77,04	152,00
350	377	500	99,88	200,05
400	426	560	93,80	227,05
450	478	630	108,40	277,41
500	530	710	125,38	334,39
600	630	800	164,70	460,65
700	720	900	195,20	584,25
800	820	1000	242,01	749,45
900	920	1100		
1000	1020	1200		

* Маса труби наведена для довідки при густині пінки 80 кг/м^3 .

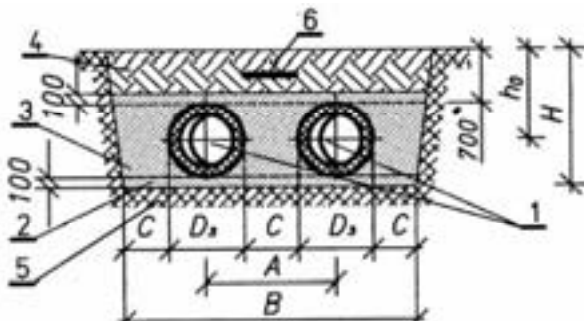
Попередньоізольовані труби виробництва системи «ЕР» застосовуються для транспортування теплоносія з наступними робочими параметрами:

- * максимальна робоча температура довготривала $t_{p.\max} = 140^\circ \text{C}$
- * максимальна допустима робоча температура короткотривала (на протязі 10 діб (сумарно за рік) $[t_{p.\max}] = 150^\circ \text{C}$
- * умовний тиск $P_y = 1.6 \text{ МПа}$

У випадку застосування труб для $P_y \geq 1.6 \text{ МПа}$ розрахунок, або перевірка можливості застосування труб виконується для кожного конкретного випадку в залежності від товщини стінки провідної сталеві труби, або підтверджується проектом.

5. РОЗТАШУВАННЯ ТРУБ В ТРАНШЕЇ.

При прокладанні попередньоізольованих труб в траншеї необхідно витримати мінімальні відстані згідно з мал. 5.1. і табл. 5.1.



Мал. 5.1. Мінімальні розміри траншеї.

1. Попередньоізольована труба
2. Підсипка піском
3. Засипка піском
4. Засипка ґрунтом
5. Основний ґрунт
6. Стрічка сигнальна

Мінімальні відстані між трубами і мінімальні розміри траншеї

табл 5.1

d_y	d_z	A	B	C	h_0	H^*
		min	min	min	min	
ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ
25	90	240	630	150	750	890
32	110	260	670	150	760	910
40	110	260	670	150	760	910
50	125	275	700	150	770	930
65	140	290	730	150	770	940
80	160	310	770	150	780	960
100	200	350	850	150	800	1000
100	200	350	850	150	800	1000
125	225	425	1050	200	820	1025
150	250	450	1100	200	830	1050
200	315	515	1230	200	860	1115
250	400	600	1400	200	900	1200
300	450	650	1500	200	930	1250
350	500	700	1600	200	950	1300
400	560	760	1720	200	980	1360
450	630	830	1860	200	1020	1430
500	710	910	2020	200	1060	1510
600	800	1000	2200	200	1100	1600
700	900	1100	2400	200	1150	1700
800	1000	1200	2600	200	1200	1800
900	1100					
1000	1200					

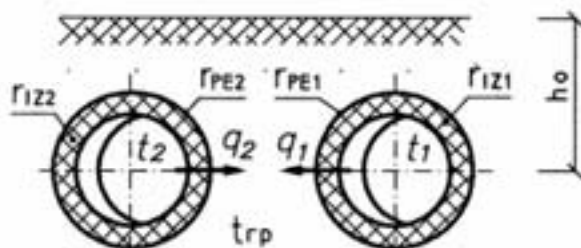
РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

* Показники в табл. 5.1. наведені для глибини залягання від верху труби до поверхні землі 700 мм. Мінімальна глибина залягання приймається згідно [1].

Для зручності проведення монтажних робіт траншею можна розширити на 100-300мм по відношенню до розмірів, що вказані у табл. 5.1.

6. ВТРАТИ ТЕПЛА.

Методика визначення втрат тепла трубопроводами безканального прокладання викладена цілком достатньо в довідковій і нормативній літературі і не вимагає додаткового висвітлення в цій роботі. Нижче наведені деякі загальні засади, які допоможуть проектантові у визначенні тепловтрат у кожному конкретному випадку.



Мал. 6.1. Теплові втрати безканальних трубопроводів.

Термічний опір одного метру одиничного попередньоізольованого трубопроводу, який прокладено безканально можна визначити по формулі

$$r = r_k + r_{ep}; \quad \frac{m^{\circ}C}{Bm} \quad [6-1]$$

де r_k і r_{ep} - відповідно термічні опори конструкції трубопроводу і ґрунту;

Оскільки опір стінки сталевий провідної труби настільки малий, що не впливає на розрахунки, то опір конструкції можна звести тільки до опору шару ізоляції і опору стінки поліетиленової захисної труби.

$$r_k = r_{i3} + r_{pe}; \quad \frac{m^{\circ}C}{Bm} \quad [6-2.]$$

де r_{i3} і r_{pe} - відповідно термічні опори шару ізоляції і стінки захисної труби.

Термічний опір однорідного циліндричного шару

$$r_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_{2i}}{d_{1i}}; \quad \frac{m^{\circ}C}{Bm} \quad [6-3.]$$

де λ_i - теплопровідність матеріалу шару, Вт/(м °С)

d_{1i} і d_{2i} - внутрішній і зовнішній діаметри шару, м

Термічний опір ґрунту:

$$r_{ep} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ep}} \ln \left(\frac{2h_o}{D_{mp}} + \sqrt{\frac{4h_o^2}{D_{mp}^2} - 1} \right); \quad \frac{m^{\circ}C}{Bm} \quad [6-4]$$

де λ_{ep} - теплопровідність ґрунту, Вт/(м °С)

Умовний додатковий термічний опір, який враховує взаємний вплив сусідніх труб при двохтрубному прокладенні

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

$$r_o = \frac{1}{2\pi\lambda_{ep}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h_o}{A}\right)^2}; \quad \frac{m^\circ C}{Bm} \quad [6-5]$$

де A - відстань між осями труб, м

Питомі втрати подаючого і зворотнього трубопроводів при двохтрубному прокладанні

$$q_1 = \frac{(t_1 - t_{ep}) \cdot r_2 - (t_2 - t_{ep}) \cdot r_o}{r_1 \cdot r_2 - r_o^2}; \quad \frac{Bm}{m} \quad [6-6]$$

$$q_2 = \frac{(t_2 - t_{ep}) \cdot r_1 - (t_1 - t_{ep}) \cdot r_o}{r_1 \cdot r_2 - r_o^2}; \quad \frac{Bm}{m} \quad [6-7]$$

де t_1, t_2 - температури теплоносія в подаючому і зворотньому трубопроводах, $^\circ C$

t_{ep} - температура ґрунту на глибині залягання осі трубопроводу, $^\circ C$

r_1 і r_2 - термічні опори (ізоляція і ґрунт) подаючого і зворотнього трубопроводу, м $^\circ C/Bm$

Термічний опір конструкцій попередньоізольованих труб

табл.6.1

d_y	d_3	D_3	$S_{PE \min}$	D_{BH}	r_{PE}	r_{i3}	r_k
мм	мм	мм	мм	мм	м $^\circ C/Bm$	м $^\circ C/Bm$	м $^\circ C/Bm$
25	32	90	2,2	85,6	0,01855	4,476970	4,496
32	38	110	2,5	105,0	0,01721	4,624503	4,642
40	45	110	2,5	105,0	0,01721	3,855205	3,872
50	57	125	2,5	120,0	0,01510	3,387204	3,402
65	76	140	3,0	134,0	0,01621	2,580334	2,597
80	89	160	3,0	154,0	0,01414	2,494839	2,509
100	108	200	3,2	193,6	0,01203	2,655666	2,668
100	114	200	3,2	193,6	0,01203	2,409661	2,422
125	133	225	3,5	218,0	0,01169	2,248364	2,260
150	159	250	3,9	242,2	0,01173	1,914911	1,927
200	219	315	4,9	305,2	0,01169	1,510125	1,522
250	273	400	6,3	387,4	0,01184	1,592436	1,604
300	325	450	7,0	436,0	0,01169	1,336868	1,349
350	377	500	7,8	484,4	0,01173	1,140530	1,152
400	426	560	8,8	542,4	0,01182	1,099118	1,111
450	478	630	9,8	610,4	0,01169	1,112492	1,124
500	530	710	11,1	687,8	0,01175	1,185826	1,198
600	630	800	12,5	775,0	0,01175	0,942502	0,954
700	720	900	13,0	874,0	0,01127	0,876714	0,888
800	820	1000	13,5	969,0	0,01165	0,759669	0,771
900	920	1100	14,0	1072			
1000	1020	1200	15,0	1170			

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

В табл. 6.1. наведені термічні опори конструкцій попередньоізольованих труб при показниках:

$$\lambda_{iz} = 0.035 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C} \quad \text{і} \quad \lambda_{пе} = 0,43 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}.$$

Для довідки в табл. 6.2. наведені результати розрахунків втрат тепла для попередньоізольованих труб системи при наступних умовах:

- * теплопровідність ізоляції зі спіненого пінополіуретану $\lambda_{iz} = 0,035 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$:
- * теплопровідність поліетилену високої густини $\lambda_{пе} = 0,43 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$
- * теплопровідність ґрунту (сухого) $\lambda_{gp} = 1,5 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$
- * середньорічна температура ґрунту на глибині залягання трубопроводу $t_{gp} = +5 \text{ } ^\circ\text{C}$
- * розрахункові середньорічні температури в тепловій мережі

$t_1 = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$
 $t_2 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$
- * глибина залягання трубопроводів із розрахунку відстані від поверхні землі до верху ізоляції більше 700 мм.

Для $d_y = 25 \div 400$	$h_o = 1 \text{ м}$
$d_y = 450 \div 600$	$h_o = 1,1 \text{ м}$
$d_y = 700$	$h_o = 1,2 \text{ м}$
$d_y = 800$	$h_o = 1,3 \text{ м}$
$d_y = 900$	$h_o = 1,4 \text{ м}$
$d_y = 1000$	$h_o = 1,5 \text{ м}$

Примітка:

Глибина залягання для розрахунків була прийнята саме такою, щоб була можливість порівняти отримані тепловтрати із нормами [4]. При визначенні тепловтрат на глибині залягання до верху труби 700 мм і менше необхідно замість температури ґрунту враховувати середньорічну або середню за опалювальний період температуру зовнішнього повітря.

**Втрати тепла
попередньоізольованими трубами**

табл.6.2

d_y	d_3	D_3	r	r_o	q_1	q_2
мм	мм	мм	м °C/Вт	м °C/Вт	Вт/м	Вт/м
25	32	90	4,90	0,06	17,24	8,97
32	38	110	5,02	0,06	16,81	8,75
40	45	110	4,25	0,06	19,84	10,29
50	57	125	3,77	0,06	22,36	11,57
65	76	140	2,95	0,06	28,48	14,63
80	89	160	2,85	0,06	29,49	15,13
100	108	200	2,99	0,07	28,16	14,46
100	114	200	2,74	0,07	30,66	15,70
125	133	225	2,56	0,07	32,71	16,70
150	159	250	2,22	0,07	37,70	19,13
200	219	315	1,79	0,07	46,57	23,33
250	273	400	1,85	0,07	45,14	22,61
300	325	450	1,58	0,07	52,61	26,05
350	377	500	1,37	0,08	60,39	29,52
400	426	560	1,32	0,08	62,74	30,49
450	478	630	1,33	0,09	62,09	29,90
500	530	710	1,39	0,09	59,41	28,86
600	630	800	1,13	0,09	72,44	34,00
700	720	900	1,06	0,10	76,80	35,25
800	820	1000	0,93	0,11	86,78	38,34
900	920	1100				
1000	1020	1200				

Враховуючи вищевикладене, проєктант повинен перевірити достатність товщини теплової ізоляції для конкретних умов проєктування згідно із [4].

7. НАВАНТАЖЕННЯ НА БЕЗКАНАЛЬНІ ТРУБОПРОВОДИ

Навантаження на трубопровід можна поділити на основні і додаткові.

Основним навантаженням є внутрішній тиск. До додаткових навантажень відносяться:

- * навантаження, які виникають при компенсації теплових видовжень (тертя між трубою і ґрунтом з урахуванням тиску власної ваги оточуючого ґрунту і тиску ґрунту від тимчасового навантаження наземного транспорту);
- * тиск власної ваги трубопроводу;
- * сили пружної деформації, які виникають при компенсації теплових видовжень гнучкими компенсаторами і при самокомпенсації, або реакція сильфонного компенсатора.

В даному розділі наведені основні поняття, які необхідні при визначенні додаткових навантажень , оскільки всі труби згідно розділу 4 перевірені на основні навантаження і відповідають сортаменту труб для теплових мереж при розрахункових параметрах.

7.1. Тиск власної ваги оточуючого ґрунту.

Нормативний тиск ґрунту визначається згідно [3].

Вертикальний тиск

$$P_v = C_v \cdot \gamma_n \cdot h; \quad \kappa H / \text{м}^2 (\text{тс} / \text{м}^2) \quad [7-1]$$

Горизонтальний (боковий) тиск

$$P_h = \gamma_n \cdot h_o \cdot \tau_n; \quad \kappa H / \text{м}^2 (\text{тс} / \text{м}^2) \quad [7-2]$$

де γ_n - нормативна питома вага ґрунту, $\kappa H / \text{м}^3 (\text{тс} / \text{м}^3)$

h - висота засипки від верху дорожнього покриття, підшви рейок або рівня землі до верху труби, м

h_o - те ж, до осі трубопроводу, м

C_v - коефіцієнт вертикального тиску, який при ґрунтових (нескальних) основах, дорівнює одиниці;

τ_n - коефіцієнт нормативного бокового тиску ґрунту засипки, який визначається по формулі:

$$\tau_n = \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_n}{2} \right); \quad [7-3]$$

де φ_n - нормативний кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

Значення γ_n , φ_n залежать від конкретних умов прокладення і приймаються для кожного проекту окремо згідно із вихідними даними. Всі подальші результати, що наведені в таблицях і розрахунках виконані для умов $\gamma_n = 17.7 \frac{\kappa H}{\text{м}^3}$, $\varphi_n = 30^\circ$.

При інших умовах необхідний перерахунок.

При наявності дорожнього покриття необхідно враховувати тиск від конструкції дорожнього покриття.

Враховуючи, що

$$h_o = h + \frac{D_{mp}}{2}, \quad \text{м} \quad [7-4]$$

Формула [7-2] приймає вигляд

$$P_h = \gamma_n \cdot \left(h + \frac{D_{mp}}{2} \right) \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_n}{2} \right); \quad \kappa H / \text{м}^2 (\text{тс} / \text{м}^2) \quad [7-5]$$

Нормативний тиск власної ваги оточуючого ґрунту, який рівномірно розподілений по поверхні трубопроводу, можна визначити по формулі:

$$P_{сер}^{cp} = \gamma_f \cdot \left(\frac{P_v + P_h}{2} \right); \quad \kappa H / \text{м}^2 (\text{тс} / \text{м}^2) \quad [7-6]$$

де γ_f - коефіцієнт надійності по навантаженню, який згідно [3] дорівнює 1,3.

7.2. Тиск власної ваги трубопроводу.

Тиск власної ваги трубопроводу визначається по формулі:

$$P_{mp} = \frac{g_{mp}}{\pi \cdot D_{mp}}; \quad \kappa H / m^2 (mc / m^2) \quad [7-7]$$

де g_{mp} - вага попередньоізолюваної труби з водою, кН/м

7.3. Тиск ґрунту від наземного транспорту.

Навантаження від наземного транспорту відносяться до тимчасових. Визначення цих навантажень виконується у відповідності із [3]. Оскільки прокладання теплотрас під залізничними коліями і автомобільними дорогами зустрічається не часто, методика визначення навантаження від тиску ґрунту від наземного транспорту $P_{сер}^{mc}$ в даній роботі не приведена. Проектант може визначити це навантаження користуючись літературою [3] і з допомогою [10] , [14].

7.4. Сумарні (еквівалентні) навантаження.

Сумарне (еквівалентне) навантаження, яке діє на трубопровід, що укладений в ґрунт можна визначити по формулі.

$$P = P_{сер}^{ep} + P_{сер}^{mc} + P_{mp}; \quad \kappa H / m^2 (mc / m^2) \quad [7-8]$$

або без впливу наземного транспорту

$$P = P_{сер}^{ep} + P_{mp}; \quad \kappa H / m^2 (mc / m^2) \quad [7-9]$$

8. СИЛА ТЕРТЯ МІЖ ГРУНТОМ І ТРУБОПРОВОДОМ.

Переміщення попередньоізолюваної труби в ґрунті, внаслідок температурних видовжень при зміні температури теплоносія, призводить до виникнення сили тертя між оточуючим ґрунтом і зовнішньою поверхнею трубопроводу, що дорівнює

$$F_{mp}^L = \pi \cdot D_{mp} \cdot P \cdot L \cdot \mu; \quad \kappa H (mc) \quad [8-1.]$$

де L - довжина ділянки, м

μ - коефіцієнт тертя між засипкою і захисною оболонкою.

Звичайно, коефіцієнт μ для тертя між поліетиленовою оболонкою і ґрунтом коливається в межах від 0,2 до 0,5. При подальших розрахунках прийнятий коефіцієнт тертя між поліетиленовою оболонкою і піщаною засипкою $\mu = 0,4$. При перерахунку для 1 п.м. трубопроводу формула [8-1] приймає вигляд

$$F_{mp} = \pi \cdot D_{mp} \cdot P \cdot \mu; \quad \frac{\kappa H}{m} \left(\frac{mc}{m} \right) \quad [8-2]$$

В табл.8.1 наведені сили тертя на 1 п.м. трубопроводів системи «ЕР» на глибинах залягання h 0,7 м, 1 м; 1,2 м, 1,4 м від поверхні землі до верху захисної оболонки попередньоізолюваної труби.

Сила тертя між ґрунтом і трубопроводом

табл.8.1.

d_y	d_3	D_3	F_{mp}			
			h=0.7м	h=1.0м	h=1.2м	h=1.4м
мм	мм	мм	$\frac{\kappa H}{M}$			
25	32	90	1,25	1,77	2,11	2,46
32	38	110	1,55	2,19	2,62	3,05
40	45	110	1,55	2,20	2,63	3,06
50	57	125	1,78	2,51	3,00	3,48
65	76	140	2,01	2,83	3,37	3,92
80	89	160	2,31	3,24	3,87	4,49
100	108	200	2,91	4,09	4,87	5,65
100	114	200	2,92	4,09	4,88	5,65
125	133	225	3,31	4,63	5,51	6,38
150	159	250	3,72	5,19	6,16	7,14
200	219	315	4,83	6,68	7,91	9,13
250	273	400	6,29	8,63	10,19	11,75
300	325	450	7,24	9,88	11,63	13,39
350	377	500	8,23	11,16	13,11	15,06
400	426	560	9,31	12,59	14,78	16,96
450	478	630	10,67	14,36	16,82	19,27
500	530	710	12,25	16,40	19,18	21,95
600	630	800	14,31	18,99	22,11	25,24
700	720	900	16,58	21,85	25,36	28,87
800	820	1000	19,06	24,92	28,82	32,72

Наведені глибини залягання є оптимальними для безканальної прокладки. Максимальна допустима глибина залягання вираховується для кожного трубопроводу із умови неперевикнення тиску на поверхню ізоляції більше 0,3 МПа.

9. НАПРУЖЕННЯ В ПРОВІДНІЙ СТАЛІВІЙ ТРУБІ

За основу визначення розрахункових напружень, які діють в попередньо--ізольованих трубах, застосовується методика згідно [8].

9.1. Напруження від внутрішнього тиску.

Середнє осьове напруження від внутрішнього тиску

$$\sigma_{pz} = \frac{P_p \cdot D_{вн}^2}{4(D_{вн} + s) \cdot s \cdot \varphi_w}; \quad \text{МПа} \quad [9-1]$$

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Середнє окружне напруження від внутрішнього тиску

$$\sigma_{\varphi} = \frac{P_p \cdot D_{вн}}{2s\varphi_w} \quad \text{МПа} \quad [9-2]$$

Враховуючи, що для труб, як для тонкостінних циліндричних оболонок, співвідношення між товщиною стінки і діаметром досить мале:

$$\sigma_{pz} = \frac{P_p \cdot D_{вн}}{4 \cdot s \cdot \varphi_w} \quad \text{МПа} \quad [9-3]$$

В цих формулах

$D_{вн}$ - внутрішній діаметр провідної труби, м (мм)

s - номінальна товщина стінки, м (мм)

P_p - робочий тиск, МПа

φ_w - коефіцієнт міцності зварного шва.

Як видно із формул [9-2] і [9-3]

$$\sigma_{pz} = 0.5 \cdot \sigma_{\varphi} \quad \text{МПа} \quad [9-4]$$

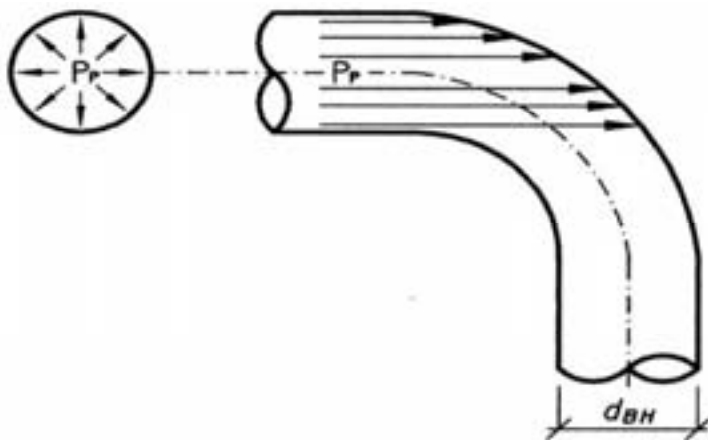
Однак слід відзначити, що напруження σ_{pz} виникають тільки на ділянках, де присутні зміни напрямку траси (кути повороту, гнучкі компенсатори). У випадку трас із застосуванням осьових компенсаторів або на безкомпенсаційних прямих ділянках траси $\sigma_{pz} = 0$.

Крім того, окружні напруження згідно із теорією Губера викликають осьові напруження рівні по величині :

$$\sigma_{nz} = \nu \cdot \sigma_{\varphi} \quad \text{МПа} \quad [9-5]$$

де $\nu = 0,3$ - коефіцієнт Пуассона (для сталі)

σ_{nz} - приведені осьові напруження від окружного напруження, МПа



Мал. 9.1. Дія тиску середовища, що транспортується, на стінки провідної труби.

Середнє радіальне напруження від дії внутрішнього тиску

$$\sigma_r = -\frac{P_p}{2}; \quad \text{МПа} \quad [9-6]$$

9.2. Напруження від осьової сили.

Середнє осьове напруження від осьової сили

$$\sigma_{zz} = \frac{F_z}{A_i \cdot \varphi_w}; \quad \text{МПа} \quad [9-7]$$

де F_z - осьове зусилля від вагових навантажень, або від дії вагових навантажень і сили самокомпенсації, H .

A_i - площа поперечного січення стінки труби при номінальній товщині стінки труби, мм^2 .

φ_w - коефіцієнт міцності зварного з'єднання.

9.3. Сумарне осьове напруження.

Сумарне середнє осьове напруження від дії внутрішнього тиску, осьової сили і згинаючого моменту визначається по формулі

$$\sigma_z = \sigma_{pz} \pm \sigma_{zz} \pm 0.8\sigma_\theta; \quad \text{МПа} \quad [9-8]$$

Знак (+) в формулі відноситься до напружень розтягнення, а знак (-) — до напружень стиснення.

σ_θ - середнє осьове напруження від згинаючого моменту, МПа ;

$$\sigma_\theta = \frac{M_\theta}{\varphi_{\theta w} \cdot W}; \quad \text{МПа} \quad [9-9]$$

де M_θ - згинаючий момент, $H \cdot \text{мм}$

$\varphi_{\theta w}$ - коефіцієнт міцності поперечного зварного з'єднання при згині.

W - момент опору поперечного січення провідної сталеві труби.

9.4. Визначення допустимих осьових напружень.

Для розрахункового січення труби вираховується три головних нормальних напруження σ_1 ; σ_2 ; σ_3 , які являють собою алгебраїчну суму діючих в одному напрямку напружень від прикладених до розрахункового січення навантажень.

Моменти кручення присутні тільки в трьохмірних трубопроводах, а в двохмірних (площинних) трубопроводах, до яких відносяться трубопроводи безканальної прокладки, $\tau = 0$.

При відсутності моменту кручення

$$\sigma_1 = \sigma_\varphi; \sigma_2 = \sigma_z; \sigma_3 = \sigma_r, \text{ якщо } \sigma_\varphi > \sigma_z > \sigma_r$$

$$\text{або } \sigma_1 = \sigma_z; \sigma_2 = \sigma_\varphi; \sigma_3 = \sigma_r, \text{ якщо } \sigma_z > \sigma_\varphi > \sigma_r$$

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Для виконання умови $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ індекси при позначенні головних напружень приймаються після визначення числових значень напружень σ_φ, σ_z .

Метою даного розділу є визначення допустимого осьового напруження в безканальному трубопроводі при нагріві останнього від температури монтажу до максимальної робочої температури. Найнебезпечнішим в цьому випадку буде січення трубопроводу, що найбільш віддалене від вільного кінця труби. Напруження в цьому січенні не повинні перевищувати допустимі.

Еквівалентне напруження від дії внутрішнього тиску і вагових навантажень повинно задовільняти вимозі

$$\sigma_{eq} \leq 1.1[\sigma]; \quad \text{МПа} \quad [9 - 10]$$

При наповненні трубопроводу теплоносієм і тепловому розширенні труби в ґрунті в стінці труби виникають напруження стиску внаслідок опору ґрунту. Одночасно внутрішній тиск в трубі викликає напруження розтягу, які протилежні по знаку. Може виникнути ситуація, коли на працюючому трубопроводі з максимальною температурою падає тиск і в трубопроводі залишаються тільки напруження стиску, які в цьому випадку досягають свого максимального значення. Саме для такого випадку і визначається допустиме стискує напруження в трубі.

При $P_p=0$, враховуючи що згинаючі моменти від вагових навантажень відсутні

- * $\sigma_\varphi = 0;$
- * $\sigma_{pz} = 0; \quad \sigma_\theta = 0; \quad \sigma_z = -\sigma_{zz}$
- * $\sigma_r = 0$

Тоді

$$\sigma_1 = | \sigma_z |;$$

$$\sigma_{eq} = | \sigma_z | \leq 1.1[\sigma];$$

Звідки

$$\left| \frac{F_z}{A_i \cdot \varphi_w} \right| \leq 1.1[\sigma]$$

враховуючи, що для стиску $\varphi_w = 1$

$$\frac{F}{A_i} \leq 1.1[\sigma]$$

Підсумовуючи вищевикладене можна зробити висновок, що допустиме осьове напруження стиску при $t=150^\circ\text{C}$ складає:

- для труб із Ст.3 $[\sigma_z] \leq 1.1 \cdot 123 \leq 135 \text{ МПа}$
- для труб із Ст.10 $[\sigma_z] \leq 1.1 \cdot 125 \leq 137 \text{ МПа}$
- для труб із Ст.20 $[\sigma_z] \leq 1.1 \cdot 143 \leq 157 \text{ МПа}$

Для подальших розрахунків прийнято

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

- для Ст.3 $[\sigma_z] = 135 \text{ МПа}$
- для Ст.10 $[\sigma_z] = 137 \text{ МПа}$
- для Ст.20 $[\sigma_z] = 157 \text{ МПа}$

В даному випадку діючі сили стиску F_z дорівнюють силі тертя між ґрунтом і розрахунковою ділянкою трубопроводу:

$$F_z = F_{тр}^L, \quad H \quad [9 - 11]$$

де $F_{тр}^L$ - сила тертя по формулі [8 - 1], H



Мал. 9.4. Сила тертя між ґрунтом і захисною оболонкою попередньоізоляованого трубопроводу.

На підставі вищесказаного розраховані максимальні довжини тертя трубопроводів $L_{тр} = L_{тр}^{\max}$ - відстані від вільного кінця труби до січення, в якому осьові напруження досягають допустимих. Користуючись цими довжинами можна попередньо визначити необхідну конфігурацію траси таким чином, щоб уникнути необхідності влаштування проміжних нерухомих опор.

Але слід підкреслити, що кожна теплотраса в кінцевому варіанті має бути перевірена на виконання умов міцності з урахуванням всіх діючих факторів напружень.

Значення $L_{тр}^{\max}$ для довідки наведені в табл. 9.4.1.

Максимальні довжини тертя трубопроводів $L_{\text{тр}}^{\text{max}}$ на глибині залягання

$$h=0.7 \div 1.4 \text{ м.}$$

Таблиця 9.4.1.(початок)

Ду	Дз	Дтр	h		$L_{\text{тр}}^{\text{max}}$				h		$L_{\text{тр}}^{\text{max}}$			
			М		СТ 3	СТ 10	СТ 20	М			СТ 3	СТ 10	СТ 20	М
ММ	ММ	ММ			М	М	М	М			М	М	М	М
25	32	90	0,70		25	25	29	1,00		18	18	21		
32	38	110			24	25	28			17	17	20		
40	45	110			29	29	34			21	21	24		
50	57	125			45	45	52			32	32	37		
65	76	140			54	54	62			38	39	44		
80	89	160			55	56	64			39	40	45		
100	108	200			61	61	70			43	44	50		
100	114	200			64	65	74			46	46	53		
125	133	225			66	67	77			47	48	55		
150	159	250			79	80	92			57	58	66		
200	219	315	0,70		112	114	130			81	82	94		
250	273	400			125	127	146			91	93	106		
300	325	450			148	151	173			109	110	127		
350	377	500			171	173	198			126	128	146		
400	426	560			134	135	155			99	100	115		
450	478	630			131	133	152			97	99	113		
500	530	710			127	129	147			95	96	110		
600	630	800			147	150	171			111	113	129		
700	720	900			146	148	169			111	112	129		
800	820	1000			162	165	189			124	126	144		

Таблиця 9.4.1.(закінчення)

Ду	Дз	Дтр	h	$L_{гр}^{max}$			h	$L_{гр}^{max}$			$L_{гр}^{max}$		
				СТ 3	СТ 10	СТ 20		СТ 3	СТ 10	СТ 20	СТ 3	СТ 10	СТ 20
мм	мм	мм	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м
25	32	90	1,20	15	15	17	1,40	13	13	15	13	13	15
32	38	110		14	15	17		12	13	14	12	13	14
40	45	110		17	17	20		15	15	17	15	15	17
50	57	125		26	27	31		23	23	26	23	23	26
65	76	140		32	32	37		27	28	32	27	28	32
80	89	160		33	33	38		28	29	33	28	29	33
100	108	200		36	37	42		31	32	36	31	32	36
100	114	200		38	39	45		33	33	38	33	33	38
125	133	225		40	40	46		34	35	40	34	35	40
150	159	250		48	49	56		41	42	48	41	42	48
200	219	315	1,20	69	70	80	1,40	59	60	69	59	60	69
250	273	400		77	79	90		67	68	78	67	68	78
300	325	450		92	94	107		80	81	93	80	81	93
350	377	500		107	109	125		93	95	108	93	95	108
400	426	560		84	85	98		73	74	85	73	74	85
450	478	630		83	84	97		72	74	84	72	74	84
500	530	710		81	82	94		71	72	82	71	72	82
600	630	800		95	97	111		84	85	97	84	85	97
700	720	900		95	97	111		84	85	97	84	85	97
800	820	1000		107	109	125		95	96	110	95	96	110

9.5. Напруження від тертя.

Попередньоізолювана труба внаслідок адгезії теплоізоляції до поверхні провідної сталеві і захисної поліетиленової труби відноситься до труб із монолітними оболонками. При температурних видовженнях труби в ґрунті сила тертя між ґрунтом і трубою виникає на зовнішній поверхні захисної оболонки, що викликає напруження в стінці провідної сталеві труби

$$\sigma_{mp} = \frac{F_{mp} \cdot L_i}{A_i} \quad \text{МПа} \quad [9-12]$$

де L_i - довжина ділянки від нерухомого пункту до «i»-січення, яке розраховується, м

A_i - площа січення стінки труби в «i»-січенні, мм²

F_{mp} - сила тертя для 1 п.м. труби по формулі [8 – 2], Н/м

9.6. Напруження від реакції компенсаторів.

Компенсація теплових видовжень трубопроводів здійснюється за рахунок самокомпенсації («Г», «Z» - подібні ділянки), гнучких компенсаторів («П» і «S» - подібні компенсатори) і осьових (сильфонних) компенсаторів. Сили пружної деформації викликають в січенні стінки труби додаткові напруження

$$\sigma_{\kappa} = \frac{F_{\kappa}}{A_i} \quad \text{МПа} \quad [9-13]$$

де F_{κ} - сила пружної деформації гнучкого компенсатора, або реакція осьового компенсатора, Н.

Визначення сил пружної деформації по відповідних формулах і номограмах не становить для проєктанта ніякої складності. Вплив осьового компенсатора на трубопровід визначається по формулі :

$$F_{\kappa} = P_p \cdot A_{\kappa} + \Delta l_i \cdot C_q; \quad \text{Н} \quad [9-14]$$

де P_p - робочий тиск в трубі, МПа

A_{κ} - ефективна площа сильфона, мм².

Δl_i - видовження розрахункової ділянки, мм.

C_q - коефіцієнт осьової жорсткості компенсатора, Н/мм;



Мал. 9.6. Вплив сильфонного компенсатора на трубопровід

9.7. Напруження від росту температури.

Якщо в трубопроводі, який укладений в ґрунт і підданий нагріву, відсутня компенсація температурних деформацій, то в стінці труби виникають напруження:

$$\sigma_t = \alpha \cdot E \cdot \Delta t; \quad \text{МПа} \quad [9 - 15]$$

де α - коефіцієнт лінійного видовження середній при нагріві від 0° до максимальної температури теплоносія)

E - модуль поздовжньої пружності (при максимальній температурі теплоносія)

$\Delta t = t_1 - t_{\text{монт}}$ - різниця температур між максимальною температурою теплоносія і температурою трубопроводу при монтажних роботах.

Модулі пружності і коефіцієнт лінійного розширення для трубних сталей марок Ст.3, 10, 20 наведені в табл. 9.7.

**Модуль пружності і коефіцієнт лінійного розширення
для трубних сталей марок Ст.3, 10, 20.**

Таблиця 9.7

Температура стілки труби, t $^\circ\text{C}$	Модуль пружності E Па	Коефіцієнт лінійного розширення α $^\circ\text{C}^{-1}$	$E \cdot \alpha$ $\text{МПа} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
20	$20,11 \times 10^{10}$	$1,18 \times 10^{-5}$	2,37
75	$19,52 \times 10^{10}$	$1,20 \times 10^{-5}$	2,34
100	$19,38 \times 10^{10}$	$1,22 \times 10^{-5}$	2,36
125	$19,13 \times 10^{10}$	$1,24 \times 10^{-5}$	2,37
150	$18,93 \times 10^{10}$	$1,25 \times 10^{-5}$	2,37

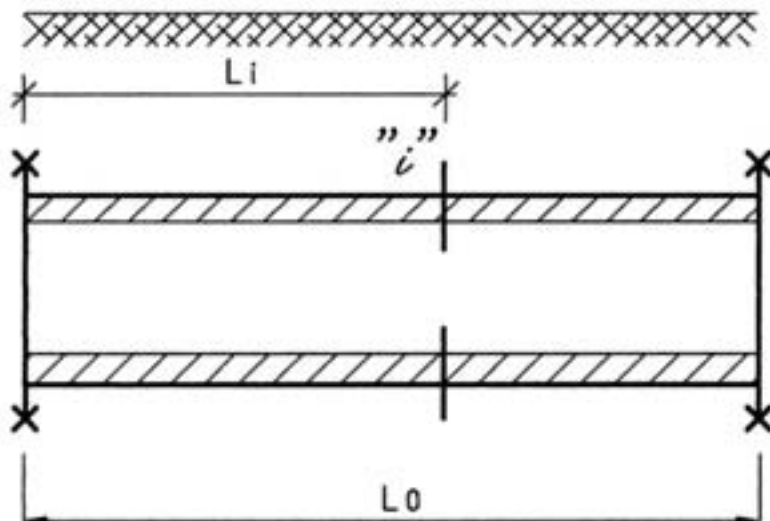
10. РОЗРАХУНКИ ПОПЕРЕДНЬОІЗОЛЬОВАНИХ ТРУБОПРОВОДІВ.

Базуючись на інформаціях, які були викладені в попередніх розділах, можна окреслити загальні принципи розрахунку витривалості попередньоізольованих теплових мереж.

Приступаючи до розрахунку проєктант має керуватися однією засадою - сумарне напруження, яке виникає в стінці провідної труби, завжди має бути меншим, ніж допустиме нормативне напруження.

Розгляд проблеми розрахунку попередньоізольованих трубопроводів можна почати від наступного прикладу.

Ділянка трубопроводу довжиною L_o затиснута між двома нерухомими опорами (див. мал. 10.1)



Мал. 10.1. Теплопровід між двома нерухомими опорами.

Наповнення трубопроводу теплоносієм з температурою t_1 , що відрізняється від початкової температури труби t_0 під тиском P_p викликає в січєнні « i » на відстані від нерухомої опори L_i , м осьові напруження розширення

$$\sigma_z = \alpha \cdot E \cdot \Delta t - \nu \cdot \sigma_\varphi; \quad \text{МПа} \quad [10-1]$$

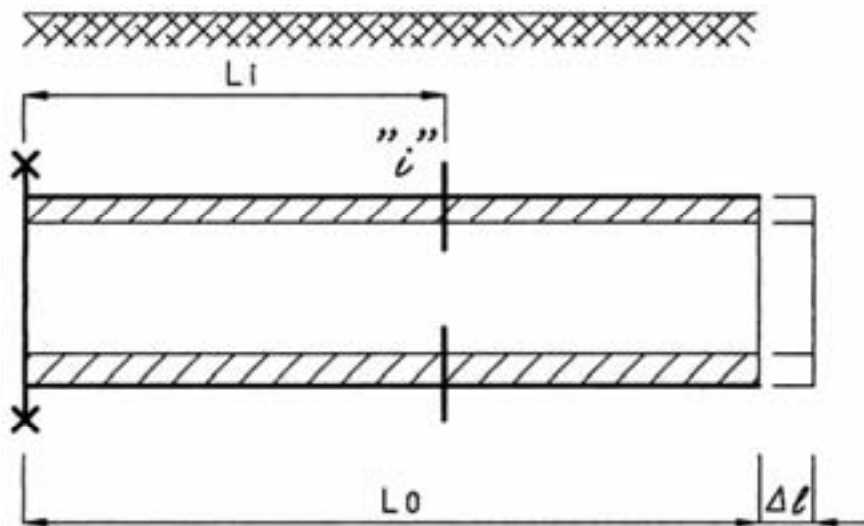
де $\Delta t = t_1 - t_0$

В ситуації, коли один із кінців звільнити від нерухомої опори (див. мал. 10.2) замість напружень в матеріалі труби виникає деформація

$$i_{zt} = \frac{\sigma_z}{E} = \frac{E \cdot \alpha \cdot \Delta t - \nu \cdot \sigma_\varphi}{E}; \quad [10-2]$$

яка викликає переміщення вільного кінця на величину

$$\Delta l_i = L_i \cdot i_{zt} = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta t; \quad \text{м} \quad [10-3]$$

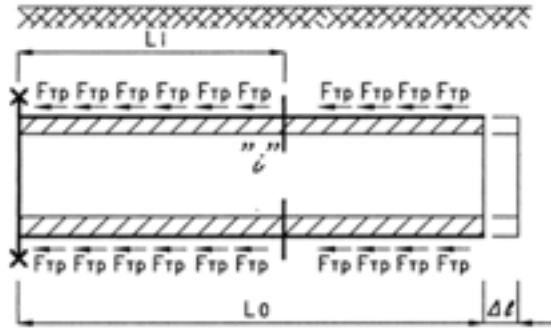


Мал. 10.2. Теплове видовження трубопроводу з одним вільним кінцем.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Якщо додатково помістити трубопровід в ґрунт (див. мал. 10.3), який впливає на зовнішню оболонку (що передається на провідну трубу) рівномірно розкладеною силою F_{mp} , це викличе додаткові напруження від тертя

$$\sigma_z^{mp} = -\frac{F_{mp} \cdot L_i}{A_i}; \quad \text{МПа} \quad [10-4]$$



Мал. 10.3. Теплове видовження трубопроводу в ґрунті з одним вільним кінцем.

З урахуванням дії тиску (якщо, наприклад, на вільному кінці знаходиться коліно) отримаємо осьові напруження стиску

$$\sigma_z = -\left(\frac{F_{mp} \cdot L_i}{A_i} - 0,5 \cdot \sigma_\varphi \right) \quad \text{МПа} \quad [10-5]$$

Ці напруження призводять до деформації

$$i_{zf} = \frac{1}{E} \left(\frac{F_{mp} \cdot L_i}{A_i} - 0,5 \cdot \sigma_\varphi \right) \quad [10-6]$$

які з деформаціями по формулі [10-2] викликають відносну деформацію

$$i_z = i_{zt} + i_{zf}; \quad [10-7]$$

і переміщення вільного кінця

$$\Delta l_i = i_z \cdot L_i; \quad \text{м} \quad [10-8]$$

Це переміщення буде виступати до того моменту, поки не настане рівновага

$$|i_{zt}| = |i_{zf}| \quad [10-9]$$

в пункті $L_i = L_{mp}$. В цьому пункті виникне рівновага напружень

$$\left| \frac{F_{mp} \cdot L_{mp}}{A_i} - 0,5 \cdot \sigma_\varphi \right| = |E \cdot \alpha \cdot \Delta t - \nu \cdot \sigma_\varphi| \quad [10-10]$$

звідки

$$L_{mp} = \frac{A_i}{F_{mp}} \left[E \cdot \alpha \cdot \Delta t + (0,5 - \nu) \cdot \sigma_\varphi \right]; \quad \text{м} \quad [10-11]$$

або без впливу дії тиску.

$$\left| \frac{F_{mp} \cdot L_{mp}}{A_i} \right| = |E \cdot \alpha \cdot \Delta t| \quad [10-12]$$

$$L_{mp} = \frac{A_i \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta t}{F_{mp}}; \quad M \quad [10-13]$$

Довжина L_{mp} визначає граничну відстань від вільного кінця труби до пункту, де відсутнє переміщення труби. Такий пункт називається натуральною або умовною нерухомою опорою. Як видно у формулах [10–12] і [10–13] відсутні напруження від тиску в трубопроводі і максимальне напруження може досягти $\sigma_{\max} = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$. Це викликано тим, що в аварійній ситуації може впасти тиск в мережі, а температура деякий час утримається на досягнутому рівні.

В такому випадку напруження в трубі при рекомендованій температурі монтажу $t_{\text{монт}} = t_o = 10^\circ C$ при рості до $t_1 = 150^\circ C$ з формули [9–15]

$$\sigma = 2,37 \cdot (150 - 10) = 332 \quad \text{МПа}$$

що перевищує допустиме.

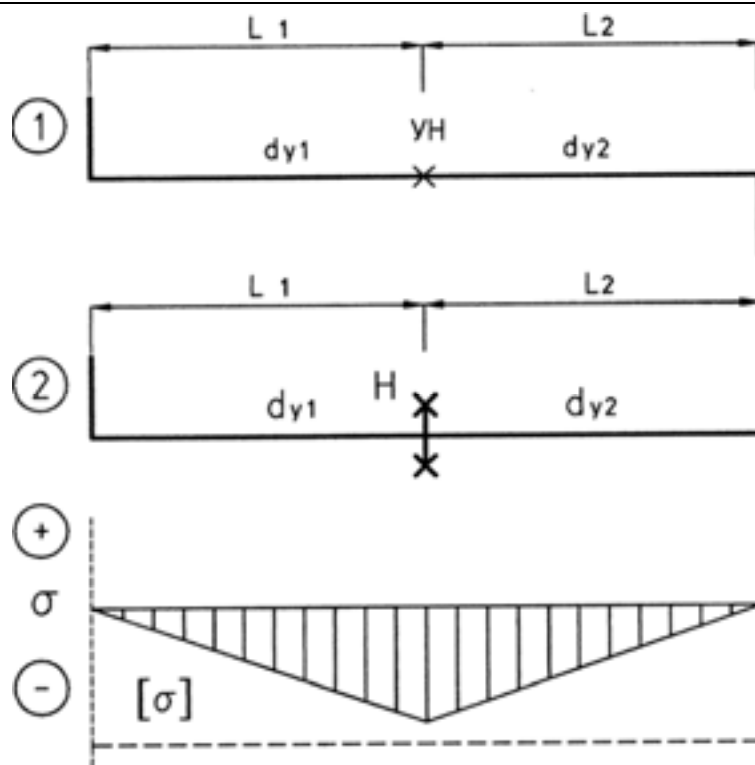
Тому основною проблемою при проектуванні тепломереж із попередньоізольованих труб є правильний вибір геометрії траси і розташування компенсуючих елементів таким чином, щоб не існувало таких пунктів на трасі, де напруження, яке виникає в стінці труби, перевищувало б допустиме.

Можна відзначити три способи досягнення цієї умови. При розгляді цих способів слід зазначити, що тут і в подальших поясненнях під терміном “вільний кінець трубопроводу” мається на увазі компенсуючий елемент трубопроводу.

Перший спосіб полягає в тому, що геометрія тепломережі має бути запроектована таким чином, щоб відстані від вільного кінця до умовної або дійсної нерухомої опори (“УН” або «Н») не перевищувала величини $L_{\max}$, яка робить неможливим виникнення напружень більших за допустимі.

$$\sigma_{n(yn)} \leq [\sigma]$$

Причому дійсні нерухомі опори (Н) застосовуємо тільки тоді, коли на розрахунковій ділянці змінюється діаметр трубопроводу для захисту труби меншого діаметру.



Мал. 10.4. Осьові напруження між компенсаційними колінами, які не перевищують допустимі напруження.

$$1 \quad D_{y1} = D_{y2}$$

$$2 \quad D_{y1} \neq D_{y2}$$

З кожної сторони нерухомої опори відстані L_1 і L_2 забезпечують виконання умови

$$L_1 \leq L_{\max_1} \leq \frac{A_1 \cdot [\sigma_z]}{F_{mp1}} - \frac{F_{k1}}{F_{mp1}}; \quad \text{м} \quad [10-14]$$

$$L_2 \leq L_{\max_2} \leq \frac{A_2 \cdot [\sigma_z]}{F_{mp2}} - \frac{F_{k2}}{F_{mp2}}; \quad \text{м} \quad [10-15]$$

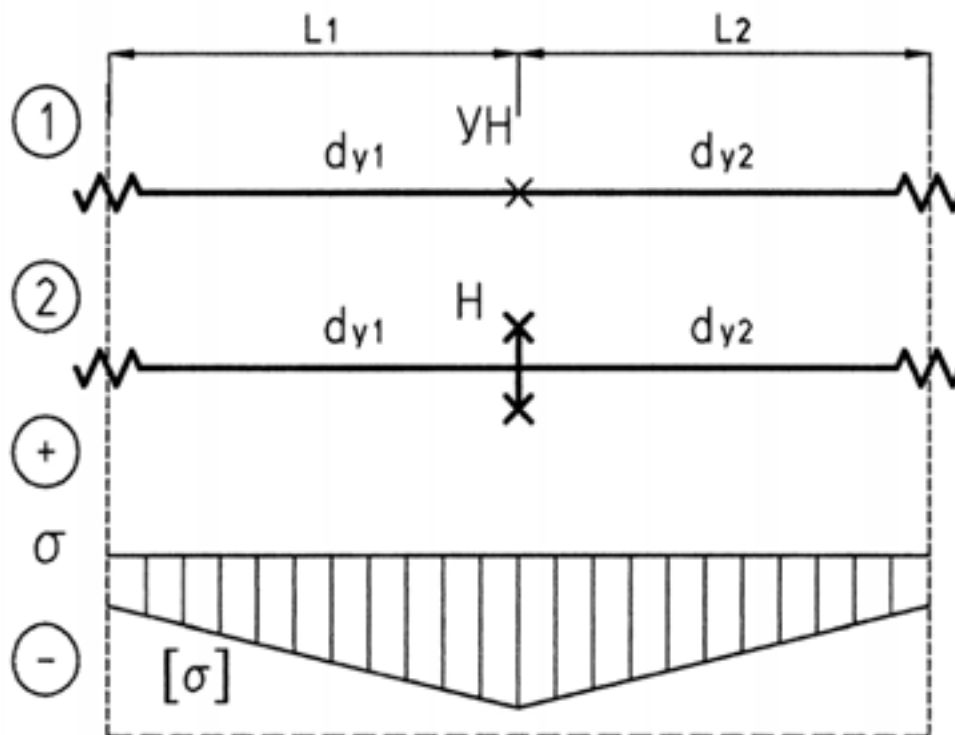
де F_{k1} і F_{k2} - сили пружної деформації ділянки самокомпенсації.

Якщо замість гнучкої компенсації на вільних кінцях замонтувати осьові (сильфонні) компенсатори (постійно працюючі), в рівняннях [10-14] [10-15] $F_{k1,2}$ - по формулі [9-14], а рівняння можна представити у вигляді :

$$L_1 \leq L_{\max_1} \leq L_{mp1}^{\max} - \frac{F_{k1}}{F_{mp1}}; \quad \text{м} \quad [10-16]$$

$$L_2 \leq L_{\max_2} \leq L_{\max}^{\max} - \frac{F_{k_2}}{F_{mp_2}}; \quad m \quad [10-17]$$

В цих формулах і надалі $L_{\max}$ - максимальна відстань від вільного кінця до нерухомої опори з урахуванням сил тертя і реакції компенсуючого елемента.



Мал. 10.5. Осьові напруження між сильфонними компенсаторами, які не перевищують допустимі напруження.

1. $D_{y1} = D_{y2}$
2. $D_{y1} \neq D_{y2}$

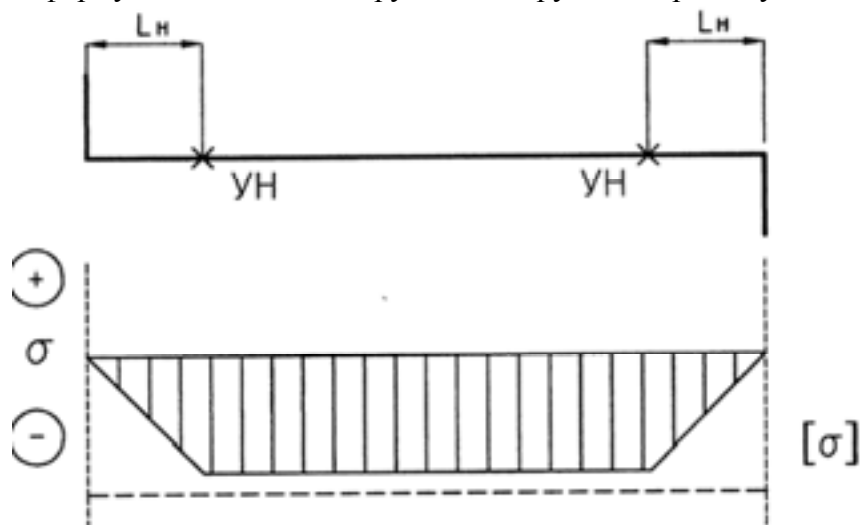
Другим способом є запроектування мережі так, щоб осьові напруження від приросту температури в умовних нерухомих опорах і на ділянках між ними незалежно від відстані до вільного кінця не перевищували допустимі

$$\sigma_z = E \cdot \alpha \cdot \Delta t \leq [\sigma_z] \quad [10-18]$$

Цього можна досягти наступними засобами. Перший - це вибрати такий матеріал труби, щоб напруження при розрахунковій різниці температур не перевищували б допустимих. Другий - це виконання попереднього підігріву труби під час монтажних робіт. На мал. 10.6 показаний розклад напружень в трубі між двома компенсаційними колінами на ділянках між кутами

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

повороту і умовними нерухомими опорами, де відбувається видовження і осьові напруження зростають від $\sigma_z = 0$ до $\sigma_z = E \cdot \alpha \cdot \Delta t$ в пунктах «УН». Між нерухомими опорами ділянка трубопроводу “затиснута” силами тертя між ґрунтом і трубою і напруження підпорядковані умові формули [10 – 18]. Напруження в трубі не перевищують допустимі.

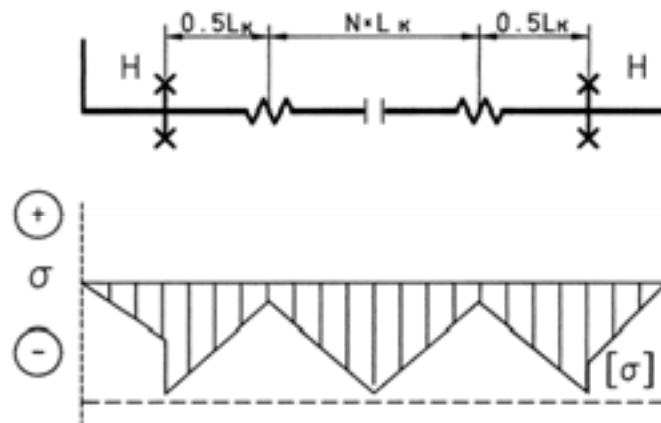


Мал. 10.6. Нерухома ділянка довільної довжини між двома компенсаційними колінами.

Метод попереднього підігріву труби оснований на тому, що при монтажних роботах труба попередньо підігривається до температури підігріву t_n . При цьому при якійсь певній різниці температур є можливість видовження вільних кінців труби ($\sigma_z = 0$). Після цього виконується один із можливих засобів закріплення труби і засипка труби. Температура t_n має бути підібрана таким чином, щоб при нагріві трубопроводу від t_n до максимальної робочої температури напруження стискування, а при охолодженні труби від t_n до мінімальної можливої температури (а це буде температура ґрунту на осі залягання труби в разі зупинки тепломережі) напруження розтягу не перевищуватиме допустимих. Більш детально питання попереднього підігріву розглянуто в подальших розділах.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Третій спосіб застосовується на прямих ділянках траси великої довжини і полягає в застосуванні різних видів осьових (в нашому випадку сильфонних) компенсаторів.



Мал. 10.7. Застосування ланцюга із сильфонних компенсаторів на прямій ділянці довільної довжини.

На мал. 10.7 показаний розклад напружень на одному із варіантів такої прокладки, Причому максимальна довжина ділянки між двома сусідніми компенсаторами

$$L_k^{\max} \leq 2 \left(\frac{A_i \cdot [\sigma_z]}{F_{mp_i}} - \frac{F_{k_i}}{F_{mp_i}} \right) \leq 2 \left(L_{mp_i}^{\max} - \frac{F_{k_i}}{F_{mp_i}} \right); \quad M \quad [10-19]$$

де F_{k_i} - по формулі [9-14]; H .

F_{mp_i} - по формулі [8-2]; H / m

Слід додати, що реально величина $L_{\max}^k$ обмежується компенсуючою здатністю підбраного компенсатора.

11. МЕТОДИ ПРОКЛАДКИ ПОПЕРЕДНЬОІЗОЛЬОВАНИХ ТРУБ.

По принципу компенсації теплових видовжень можна вирізнити такі методи безканальної прокладки трубопроводів:

- * безкомпенсаційний метод (метод 1)
- * прокладка із радіальною (гнучкою) компенсацією (метод 2)
- * прокладка із осьовою компенсацією (метод 3)

Методи 1 і 2 можуть застосовуватися як із так і без попереднього підігріву трубопроводів. Метод 3 застосовується тільки без попереднього підігріву.

11.1. Попередній підігрів трубопроводів при монтажі.

Оскільки механічний розтяг для конструкції попередньоізольованих трубопроводів виконати дуже важко (хоча це і робиться), в практиці застосовується так званий термічний розтяг - попередній підігрів трубопроводів. Зустрічається його інша назва - прехітінг (з англ. «preheating»). Теорія цього методу полягає в тому, що трубопровід перед його засипкою нагрівається до середньої температури між температурою монтажу і максимальною робочою температурою теплоносія. Температура попереднього підігріву визначається по формулі

$$t_n = t_{\text{монт}} + \frac{t_{\text{max}} - t_{\text{монт}}}{2}; \quad ^\circ\text{C} \quad [11-1]$$

де t_{max} - максимальна розрахункова температура теплоносія, $^\circ\text{C}$

$t_{\text{монт}}$ - температура монтажу трубопровода, $^\circ\text{C}$

В зарубіжній нормативній і довідковій літературі приведені розрахунки при максимальній температурі теплоносія 130°C і температурі монтажу трубопроводів 10°C . В цьому випадку

$$t_n = 10 + \frac{130 - 10}{2} = 70^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_1 = 130 - 70 = 60^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = 70 - 10 = 60^\circ\text{C}$$

де Δt_1 - різниця температур між максимальною температурою теплоносія і температурою підігріву,

Δt_2 - різниця температур між температурою підігріву і температурою монтажу трубопроводу.

Ці величини розраховані при допустимому осьовому напруженні $\sigma_d = 150 \text{ МПа}$ і отримали у деяких фірм індекс Δt_{60} або $\Delta 60$. Оскільки при розрахунках теплотрас (без врахування дії тиску в трубі при напруженнях стиску) осьові напруження приймаються рівними допустимим нормативним напруженням, то

виходячи із формули [9 – 15]

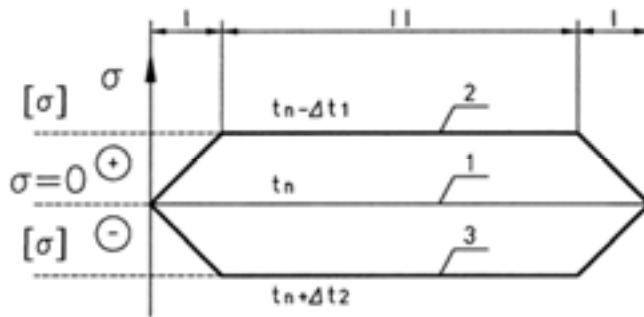
$$\Delta t_{1,2} = \frac{[\sigma_z]}{E \cdot \alpha}; \quad ^\circ\text{C} \quad [11-2]$$

для сталі ВстЗсп(3-5) і ст.10 при $t_{\text{max}} = 130^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{1,2} \approx 59^\circ\text{C}$$

для сталі 20 при $t_{\text{max}} = 130^\circ\text{C}$

$$\Delta t_{1,2} \approx 67^\circ\text{C}$$



Мал. 11.1. Напруження в трубопроводі з попереднім підігрівом.

На малюнку 11.1. показано розподіл напружень в прямому трубопроводі при застосуванні попереднього підігріву. В стані 1 незасипаний трубопровід підігрітий до температури t_n , напруження в цьому трубопроводі відсутні. Після засипки трубопроводу при нагріві трубопроводу на Δt_1 в ньому виникають напруження стиску, а при охолодженні на Δt_2 - напруження розтягу. В зонах I від кінців труби присутні теплові видовження, в зоні II теплові видовження унеможливорює сила тертя між трубопроводом і ґрунтом - труба «защемлена» і максимальні напруження виникають на ділянці труби в цій зоні.

Попередній термічний розтяг теоретично має певні позитивні переваги, але дуже трудомісткий, вимагає високої точності проведення замірів температур і практично в наших умовах його застосування пов'язано з великими проблемами.

Крім того, теоретичні розрахунки не враховують реальних умов прокладання (температура монтажу може коливатися на протязі періоду монтажу, температура ґрунту під час аварійної зупинки мережі може бути меншою від температури монтажу і т.ін.) В деякій технічній літературі величину Δt рекомендується приймати рівною 50°C і навіть 45°C . Для температурних графіків вищих від 130/70 температурний натяг взагалі не застосовується.

Попередній підігрів можна здійснити при допомозі:

- * водяної пари
- * електроенергії
- * води

Для перших двох методів потрібне спеціальне пересувне обладнання (парогенератор або електрогенератор). Попередній підігрів водою рекомендується (і найчастіше це робиться), коли трубопровід під'єднується до діючої мережі і попередній підігрів здійснюється мережевою водою.

Враховуючи все, що викладено в цьому розділі, проєктант має сам вирішити чи застосовувати метод попереднього підігріву для кожного конкретного випадку. Якщо таке рішення прийнято, необхідно детально прорахувати всі варіанти виникнення напружень стиску і розтягу для конкретних умов проєктування.

В подальшому за допустиму зміну температури при виконанні попереднього підігріву приймається $\pm \Delta t = 60^\circ\text{C}$

11.2. Безкомпенсаційний метод (метод 1).

Безкомпенсаційний метод полягає в тому, що довгі прямі ділянки трубопроводів прокладають без застосування компенсуючих елементів. Температурні деформації на таких ділянках відсутні, а напруження, які виникають в трубі, відповідають формулі [9 – 15]. Цілком

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

очевидно, що навіть для зовнішніх трубопроводів централізованого гарячого водопостачання, для яких згідно із п. 7.6 г [1] розрахункова температура теплоносія дорівнює 75°C , застосування безкомпенсаційного методу без додаткових заходів є проблематичним.

Одним із засобів зменшення цього напруження може стати попередній підігрів трубопроводу перед його засипкою до певної температури попереднього підігріву t_n (її ще називають «стаціонарною температурою» або «температурою стабілізації») по формулі [11–1]. Головне при цьому, щоб напруження, які виникають при зміні температури $t_n + \Delta t_1$, і $t_n - \Delta t_2$, не перевищували допустимих. Більш доцільним для розрахунків попереднього підігріву є застосування замість формули [11–1] наступної формули

$$t_n = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2}; \quad ^{\circ}\text{C} \quad [11-3]$$

де $t_{\min}$ - мінімально можлива температура трубопроводу.

За мінімальноможливу температуру слід прийняти мінімальну розрахункову температуру ґрунту для кожного конкретного регіону (якщо вона менша за температуру монтажу), або температуру монтажу. Для трубопроводів, в яких різниця $t_{\max} - t_{\min} > 120^{\circ}\text{C}$, попередній підігрів не застосовується.

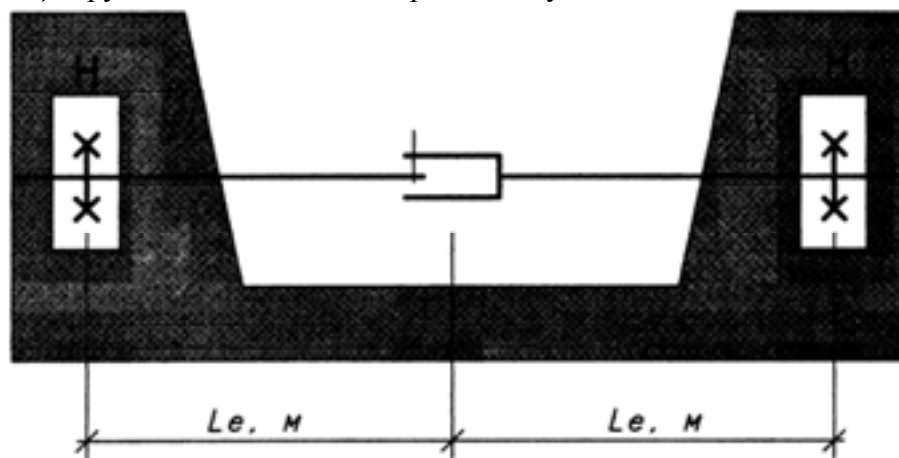
Для укладення трубопроводів безкомпенсаційним методом необхідно передбачити заходи, які мають усталізувати напруження розтягу в трубопроводі після підігріву до температури стабілізації перед його засипкою. Існує три основних способи, щоб забезпечити цю вимогу:

- 1). застосування «разових» компенсаторів;
- 2). бетонування фізичних нерухомих опор, коли трубопровід знаходиться в стані видовження;
- 3). засипка трубопроводу ґрунтом, коли трубопровід знаходиться в стані видовження.

11.2.1. Застосування «разових» компенсаторів.

Слід зауважити, що найкращим є застосування «разових» компенсаторів на теплових мережах, які працюють на протязі цілого року, а також для трубопроводів з постійною температурою. «Разові» компенсатори бувають двох типів: зварні (Е-компенсатори) або затріскові (стартові). Обов'язковим є застосування на кінцях розрахункової ділянки фізичних нерухомих опор. Крім того зауважимо, що застосування Е-компенсаторів можливе тільки з попереднім підігрівом, а застосування затріскових компенсаторів попереднього підігріву труби не вимагає.

Принцип роботи Е-компенсатора наступний. Температура труби дорівнює $t_{\text{монт}}$. Нерухомі опори забетоновані перед підігрівом і засипані добре утрамбованим піском і ґрунтом (див. мал. 11.2.1). Труба засипана піском, крім місця установлення Е-компенсатора.



РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Мал. 11.2.1. Трубопровід з Е- компенсатором перед підігрівом.

Під час підігріву температура труби піднімається до t_n , що контролюється необхідним розрахунковим видовженням:

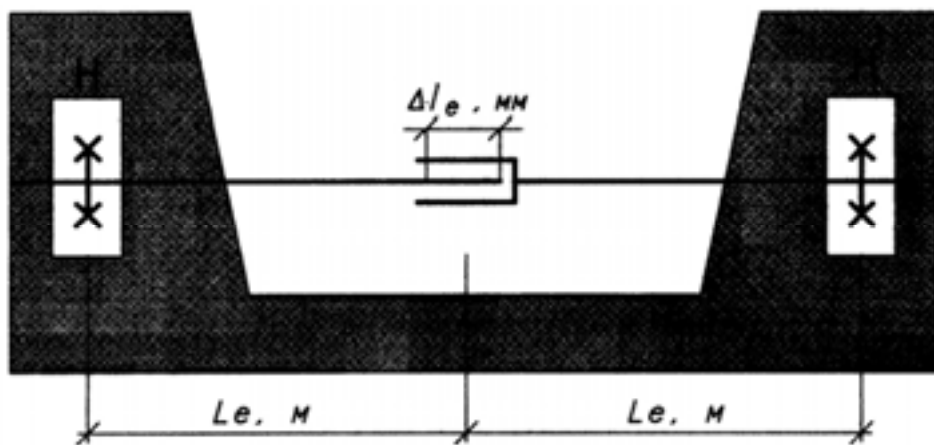
$$\Delta l_e = \alpha \cdot L_e \cdot (t_n - t_{\text{монт}}) \cdot 1000; \quad \text{мм} \quad [11 - 4]$$

При досягненні розрахункового видовження Δl_e Е- компенсатор в цьому стані зварюється.

Розрахункове видовження можна визначити більш точно, якщо рахувати за допомогою формули:

$$\Delta l_e = 2 \cdot L_e \left[\alpha \cdot (t_n - t_{\text{монт}}) - \frac{F_{\text{мр}} \cdot L_e}{2 A_i \cdot E} - 0,3 \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}}}{s_i \cdot E} \right] \cdot 1000; \quad \text{мм} \quad [11 - 5]$$

Отриману величину Δl_e слід порівняти із компенсаційною здатністю компенсатора, який застосовується. Як видно із формули [11 – 4] вона не враховує умови прокладення (силу тертя на засипаних ділянках і вплив тиску, якщо підігрів здійснюється шляхом заповнення теплоносієм). Але цілком допустимо нею користуватися, особливо при попередніх розрахунках. В цьому випадку компенсатори будуть вибрані з певним запасом.



Мал. 11.2.2. Трубопровід з Е-компенсатором після підігріву.

Після зварювання температура в трубопроводі зменшується, компенсатор ізолюється і засипається.

Затрісковий компенсатор монтується на тепломережі вже в заізольованому вигляді. Після закінчення монтажних робіт траса повністю засипається. Конструкція компенсатора виконана таким чином, що під час прогріву траси сприймає розрахункове видовження Δl_e . При досягненні температури стабілізації t_c , яка умовно відповідає t_n , компенсатор самофіксується (затріскується).

«Разові» компенсатори спрацьовують тільки в одному напрямку і тільки один раз. В подальшому ділянка з такими компенсаторами веде себе як суцільна пряма труба і всі зміни температури сприймаються тільки як зміни напруження в трубі. При рості температури вище $t_n(t_c)$ присутні напруження стиску, при падінні температури нижче $t_n(t_c)$ - напруження розтягу.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Проектуючи теплову мережу з «разовими» компенсаторами, необхідно правильно визначити температуру підігріву t_n або температуру стабілізації t_c , а також правильно підібрати і розташувати компенсатори по трасі.

Основою підбору і розташування компенсаторів цього типу є дотримання умови, щоб напруження стиску і напруження розтягу не перевищували :

при підвищенні температури:

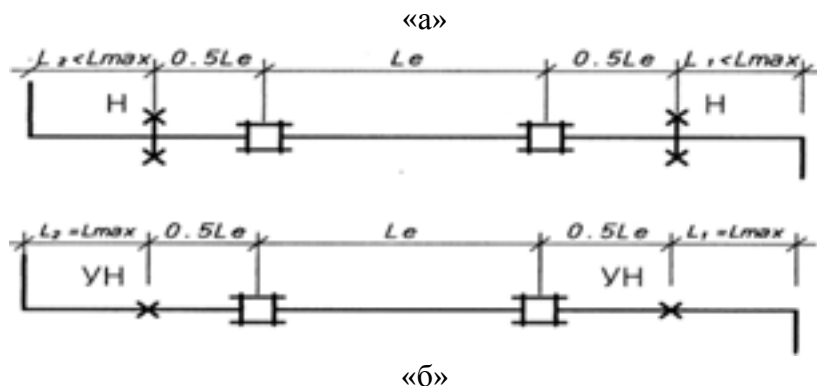
$$\sigma_z = - \left[\frac{F_{mpi} \cdot L_i}{A_i} + \alpha \cdot E \cdot (t_{\max} - t_n) - \nu \cdot \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}}}{S_i} \right] \leq [\sigma_z] \quad \text{МПа} \quad [11-6]$$

при падінні температури:

$$\sigma_z = - \left[\alpha \cdot E \cdot (t_{\min} - t_n) - \nu \cdot \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}}}{S_i} \right] \leq [\sigma_z] \quad \text{МПа} \quad [11-7]$$

Додатково можливо трубопроводи обгорнути поліетиленовою плівкою, що дає можливість зменшити коефіцієнт тертя між ґрунтом і трубою.

На довгих ділянках можлива комбінація ланцюга із сильфонних компенсаторів і ділянок самокомпенсації. При застосуванні декількох «разових» компенсаторів влаштування проміжних фізичних нерухомих опор необов'язкове. Застосування нерухомих (фізичних) опор між кутом повороту і «разовим» компенсатором необхідне у випадках передбачених мал. 11.2.3.а. У випадках мал. 11.2.3.б. влаштування фізичних нерухомих опор не обов'язкове, оскільки сили тертя утворюють між коліном і компенсатором умовну нерухому опору. Необхідною умовою в цьому випадку є те, щоб трубопровід перед нагрівом був засипаний крім кутів повороту і місця встановлення компенсатора. Розрахункове видовження вільних кінців ділянки визначити по формулі [11 – 5].



Мал.11.2.3 Застосування послідовного ряду «разових» компенсаторів в комбінації із самокомпенсацією.

В системі «ЕР» застосовуються «разові» компенсатори датської фірми «Belman» з характеристикою згідно із табл. 11.2.1.

Характеристики разових компенсаторів типу OSM

Табл.11.2.1

Ду <i>мм</i>	Коефіцієнт осьової жорсткості $C_q, \frac{H}{мм}$	Ефективна площа сильфона $A_k, мм^2$	Компенсаційна здатність Δl_e <i>мм</i>
32	71	2393	50
40	75	2942	50
50	84	4208	50
65	137	5958	70
80	151	8028	70
100	158	13540	80
125	146	19806	80
150	219	27172	100
200	268	46996	120
250	391	70215	120
300	450	96762	140
350	485	114608	140
400	469	164748	140
450	536	190890	150
500	586	251607	150
600	677	330810	150
700	735	441786	150
800	782	572803	150

Примітки:

1. Компенсатори розраховані на Р_y 16.

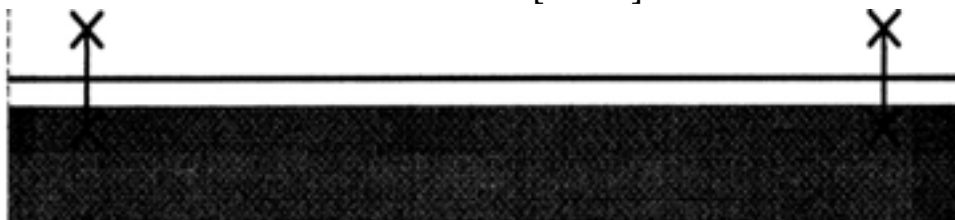
2. Коефіцієнт осьової жорсткості - це осьове зусилля при переміщенні сильфона на ±1мм.

11.2.2.Бетонування фізичних нерухомих опор, коли трубопровід знаходиться в стані видовження.

Цей спосіб застосовується тільки з попереднім підігрівом труби при монтажних роботах. Можна визначити п'ять етапів проведення робіт цим способом.

І етап - трубопровід змонтований, випробований, нерухомі опори не забетоновані;

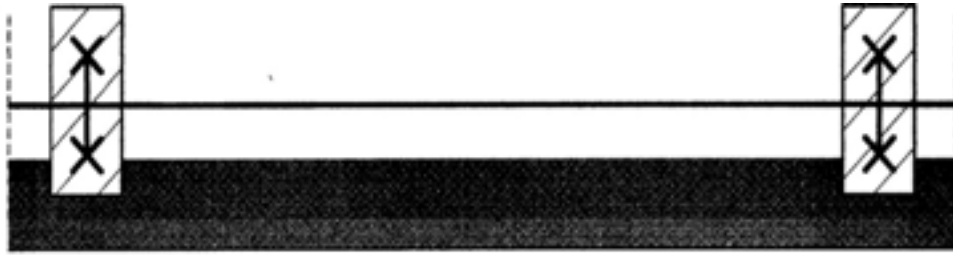
ІІ етап - трубопровід нагрівається до температури t_n з перевіркою видовження, або до досягнення розрахункового видовження по формулі [11 – 4];



Мал. 11.2.4. І і ІІ етапи

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

III етап - після досягнення необхідної температури або видовження бетонуються нерухомі опори;



Мал. 11.2.5. III етап

IV етап - після витримання бетону до досягнення розрахункової міцності пазухи в районі нерухомих опор засипаються піском і трамбуються

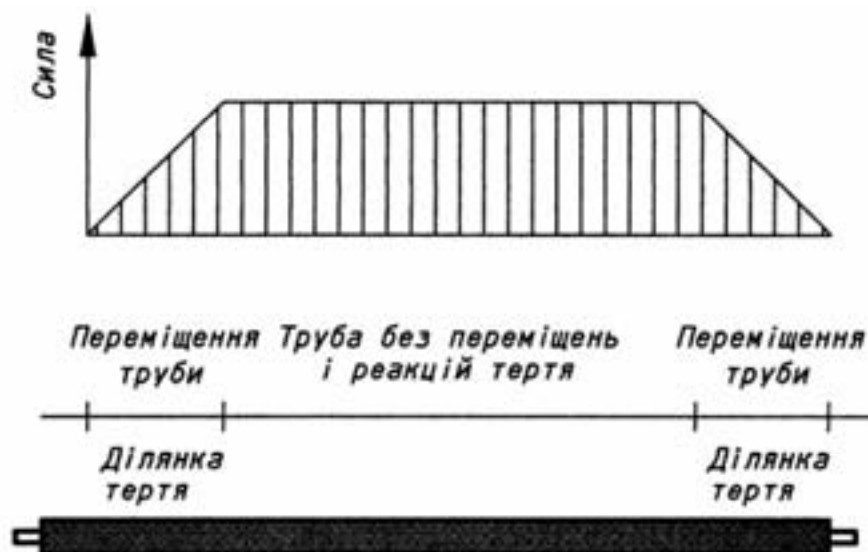
V етап - засипається вся розрахункова ділянка трубопроводу.



Мал. 11.2.6. IV і V етапи

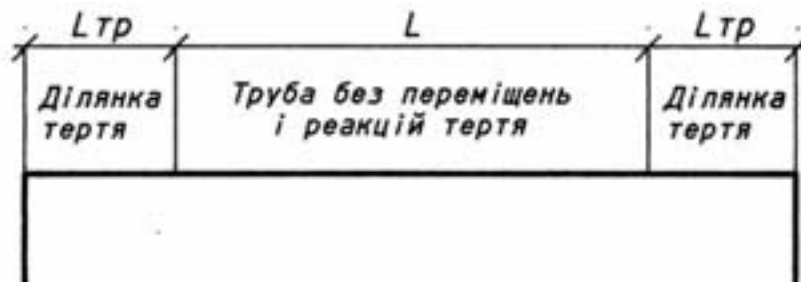
11.2.3. Засипка трубопровода ґрунтом, коли трубопровід знаходиться в стані видовження.

Цей спосіб застосовується також тільки з попереднім підігрівом. Якщо в попередньому розділі трубопровід утримується в стані напруження за допомогою нерухомих опор, то в даному випадку - силами тертя між ґрунтом і трубою. Застосування нерухомих опор не потрібно, але очевидною є наявність вільних кінців будь-якого типу.



Мал. 11.2.7. Унерухомлення трубопроводу силами тертя.

Після монтажу трубопровід нагрівається до необхідної температури, або до досягнення необхідного видовження.



Мал. 11.2.8. Трубопровід в стані після виконання попереднього підігріву.

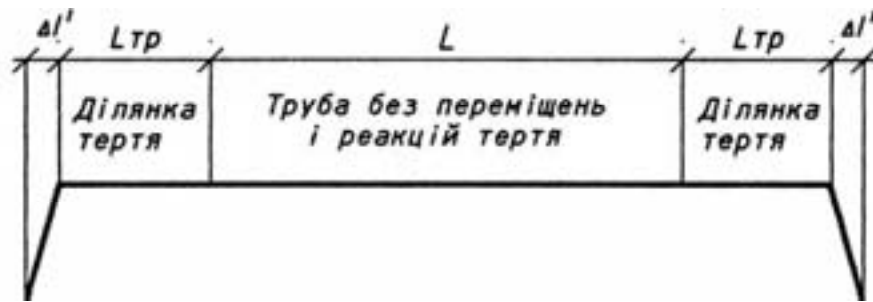
Переміщення любого вільного кінця визначається по формулі:

$$\Delta l = \alpha \cdot (t_n - t_{\text{монт}}) \cdot (0.5 \cdot L + L_{\text{тр}}); \quad M \quad [11 - 8]$$

Як видно у формулі [11 – 8] відсутній вплив тертя між трубою і дном траншеї при переміщенні труби під час нагріву, що дещо впливає на відмінність дійсного видовження віді розрахункового. Тому у формулу можна ввести поправку на редукцію видовження – коефіцієнт редукції 0.7 ÷ 0.8.

Необхідно утримувати трубопровід у нагрітому стані до повного засипання і трамбування ґрунту. Тільки після цього можна знизити температуру.

Після остигання вільні кінці трубопроводу скорочуються на величину $\Delta l'$



Мал. 11.2.9. Попередньопідігрітий трубопровід,
засипаний ґрунтом після охолодження.

Розрахункове скорочення можна визначити по формулі:

$$\Delta l' = \alpha \cdot L_{\text{тр}} \cdot (t_n - t_{\text{монт}}) - \frac{F_{\text{тр}} \cdot L_{\text{тр}}^2}{2 A_i \cdot E}; \quad \text{м} \quad [11 - 9]$$

11.3. Прокладка із радіальною (гнучкою) компенсацією (метод 2).

Гнучка компенсація - найбільш розповсюджений і популярний метод компенсації теплових видовжень серед проєктантів. В повній мірі властивості гнучкої компенсації використовуються і при безканальній прокладці попередньоізольованих трубопроводів. Кожний проєктант прекрасно орієнтується в «Г», «Z» і «П»-подібних ділянках компенсації. Тому в даному розділі обумовлені тільки відмінності і особливості, що притаманні безканальній прокладці. Компенсуюча здатність елементів має бути підібрана на основі величини приведенного (зредукованого) переміщення вільного кінця трубопроводу. Приведене переміщення крім чистого теплового видовження враховує коректування величини видовження і опору ґрунту при видовженні (скороченні) труби. Оскільки основою проведення розрахунків на компенсацію є визначення компенсаційних плечей в межах допустимого компенсаційного напруження, яке враховує вплив тиску при робочій температурі, то коректування за рахунок тиску можна не враховувати. В подальшому для розрахунків ділянок самокомпенсації і з «П»-подібними компенсаторами застосовується допустиме компенсаційне напруження при усереднених умовах розрахунку

$$\text{при } P_p = 1,6 \text{ МПа і } t_{\max} = 150^\circ \text{C} \quad -$$

$$[\sigma_s] = 80 \text{ МПа}$$

У зв'язку з цим для визначення всіх видовжень трубопроводів використовуємо спрощену формулу:

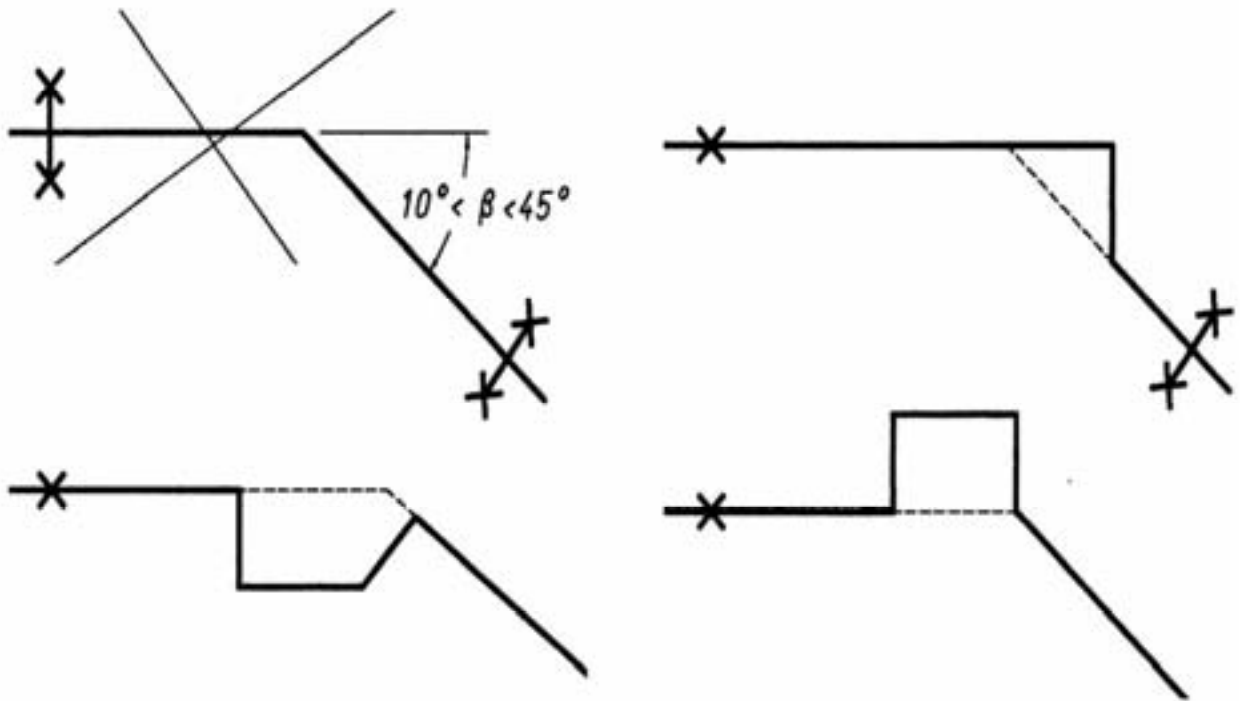
$$\Delta L_i = L_i \cdot \left[\alpha \cdot (t_{\max} - t_{\text{монт}}) - \frac{F_{\text{мпі}} \cdot L_i}{2 A_i \cdot E} \right] \cdot 1000; \quad \text{мм} \quad [11 - 10]$$

Визначення переміщення має дуже велике значення. Умови виконання робіт, розміщення труб в траншеї накладають певні обмеження на максимальну величину переміщення труби внаслідок температурних деформацій і зумовлюють необхідність влаштування компенсаційних зон, які роблять можливим вільне переміщення колін. Враховуючи взаємне розміщення трубопроводів в січenni траншеї, відмінність температур теплоносіїв, що транспортуються, можливість нерівномірності нагріву подаючого і зворотнього трубопроводів, накладається обмеження переміщення одного коліна самокомпенсації в межах компенсаційної зони до 100мм. У випадках, коли це переміщення необхідно збільшити, допускається більша величина переміщення при умові влаштування компенсаційної зони із традиційної канальної прокладки з відповідним врахуванням необхідної відстані між трубопроводами на прямих ділянках і дотримання мінімальних відстаней між трубами і стінками лоткових елементів, як для безканальної прокладки.

Прокладку із радіальною (гнучкою) компенсацією для безканальних трубопроводів можна поділити на два типи: типова і нетипова. Це пов'язано з тим, що кути менше 45° рахуються некомпенсуючими (мова йдеться про кут відхилення осі трубопроводу від прямої лінії).

Для всіх видів радіальної компенсації необхідно дотримуватися наступних обмежень:

1 - при прокладці трубопроводів не застосовувати коліна (відводи) з кутами в межах від 10° до 45° в якості компенсаційних. У випадку необхідності - належить виконати заміну прокладки на цій ділянці із застосуванням нетипової компенсації із метою недопущення таких кутів .

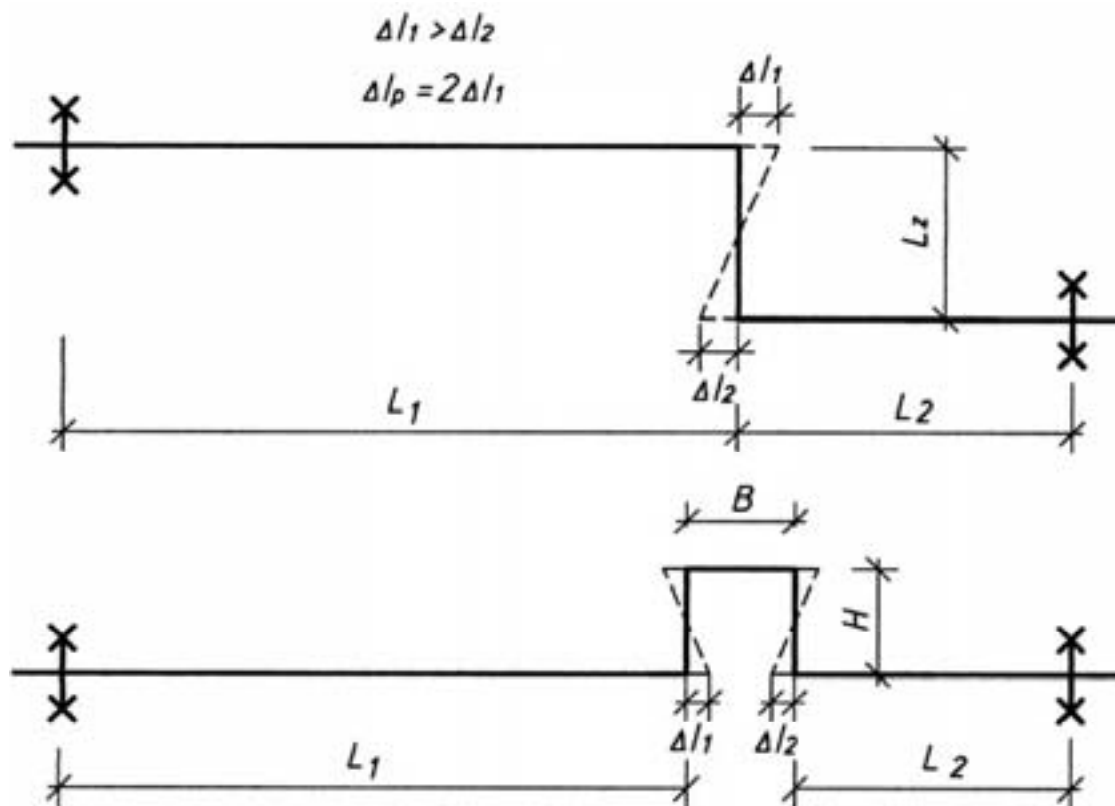


Мал.11.3.1. Приклади застосування нетипової компенсації
в місцях кутів від 10° до 45° .

2 - у випадку застосування колін з кутами $\geq 45^\circ < 90^\circ$ переміщення визначаються по формулі [11 – 10].

3 - відстань від дійсної (фізичної) або умовної опори до компенсаційного коліна мають бути прораховані із умов дотримання компенсації, але не можуть перевищувати $L_{\max}$.

4 - у випадку застосування несиметричних ділянок компенсації («Z», «П», нетипова) необхідно визначити переміщення ділянок, які знаходяться по обидві сторони компенсуючого елемента. Для визначення розміру компенсуючого плеча приймається подвійна величина переміщення кінця довшої із ділянок.



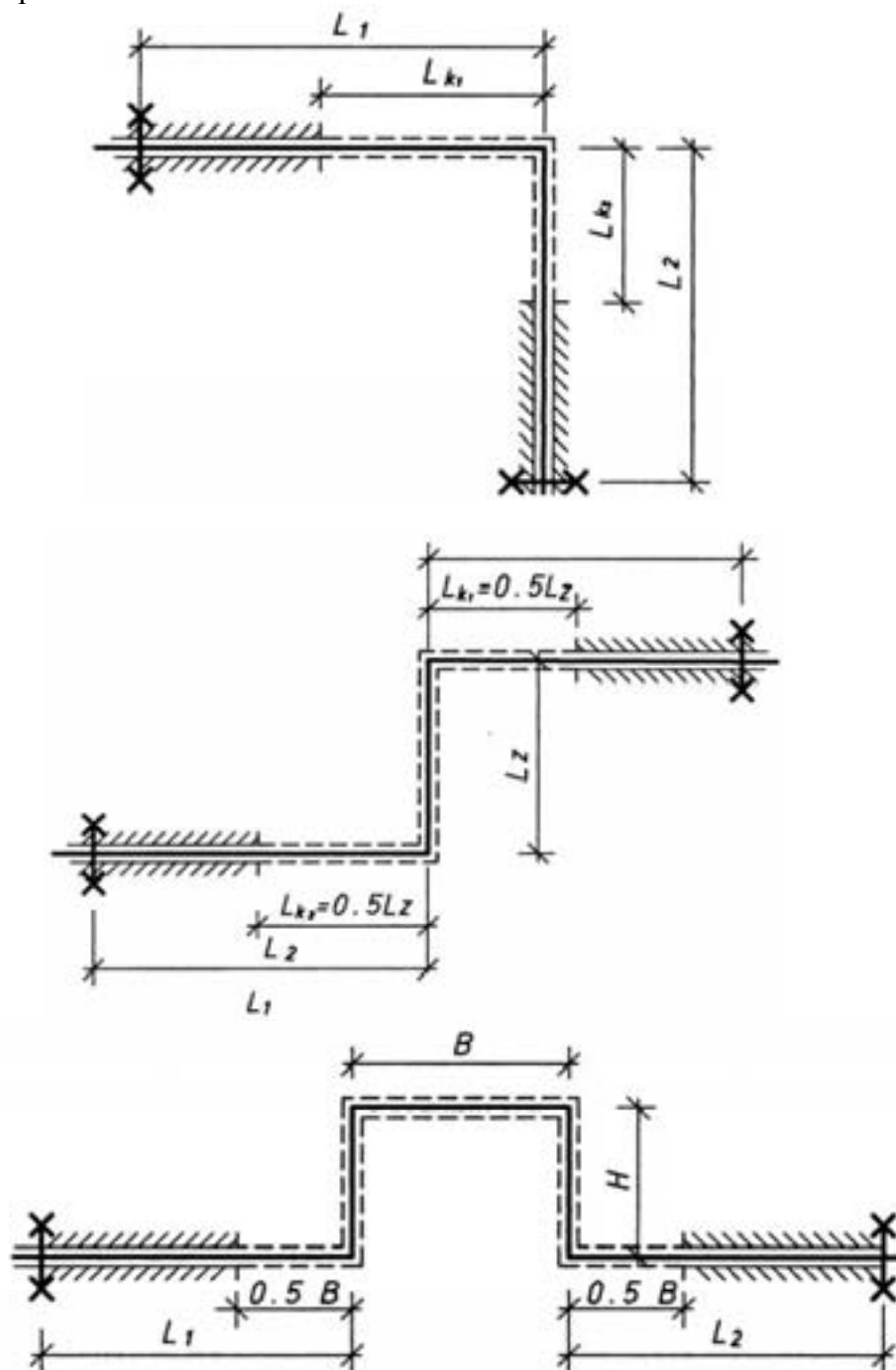
Мал. 11.3.2. Несиметричні компенсатори.

5 - зміну напрямку траси на кут менше 10° трактувати як пряму трубу, а таку зміну виконувати шляхом підрізки кінців окремих елементів при зварюванні стиків. Кут зміни на кожному стику не може перевищувати 3° .

Слід уникати змін напрямку траси поблизу нерухомих опор і сильфонних компенсаторів.

11.3.1. Компенсаційні зони.

З метою можливості переміщення компенсуючих колін і сприйняття згину труб на ділянках гнучкої компенсації необхідно виконувати так звані «компенсаційні зони» із еластичних матеріалів.



Мал. 11.3.3. Габарити компенсаційних зон для різних способів прокладки із радіальною (гнучкою) компенсацією.

Для виконання компенсаційних зон можна застосовувати:

* для $D_{тр} \leq 315$ мм загальнодоступні мінераловатні плити «М75» до «М100» товщиною 50÷60мм з обгорткою зовні поліетиленовою плівкою (заклейка стиків клейкою стрічкою) або руберойдом (з просмоленням стиків).

* плити або скорлупи із спіненого поліуретану, або поліетилену товщиною 40÷60мм (для всіх діаметрів).

Приймається, що один шар мінеральної вати, плити або скорлупи товщиною 50÷60мм із спінених полімерів сприймає 30мм переміщення компенсаційного плеча.

В місцях виконання компенсаційних зон необхідно виконати розширення траншеї. Розміщення компенсаційних подушок і розширення траншеї представлені в частині «Виконання» по монтажу трубопроводів.

Для довідки в табл.11.3.2. надані рекомендації по влаштуванню одно-і багат шарових компенсаційних зон при розрахунковому видовженні $\Delta l_z \leq 90$ мм по матеріалах PRIM SA LUBLIN. Для $\Delta l_z \leq 10$ мм влаштування компенсаційних подушок не потрібне.

Розміри (довжини) компенсаційних зон.

Табл. 11.3.2

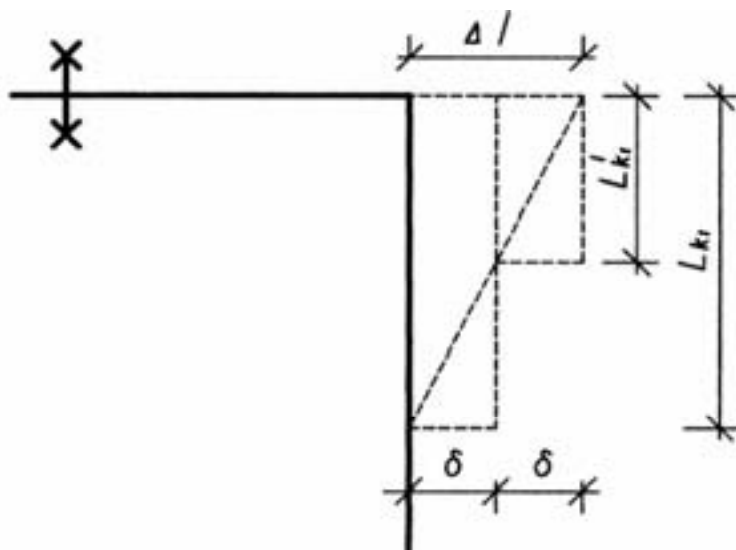
Довжина компенсаційного плеча, м до	Довжина компенсаційної зони (м) в залежності від розрахункового видовження (мм)		
	$\Delta l_z \leq 30$	$30 \leq \Delta l_z \leq 60$	$60 \leq \Delta l_z \leq 90$
1.0	1	1+1	
2.0	2	2+1	
3.0	3	3+2	3+2+2
4.0	4	4+3	4+3+2
5.0	5	5+4	5+4+3
6.0	6	6+5	6+5+4
7.0	7	7+6	7+6+5
8.0	8	8+7	8+7+6
9.0		9+8	9+8+7
10.0			10+9+8
11.0			11+10+9

Визначені згідно нижче наведених розрахунків розміри (довжини) компенсаційних зон необхідно заокруглити в більшу сторону до величини кратної 1м.

Крім того, якщо виникне необхідність застосування інших компенсаційних матеріалів, можна користуватися наступним допущенням. Якщо один шар компенсаційного матеріалу товщиною δ сприймає якусь частину видовження Δl на повній довжині зони компенсації L_{κ_1} , то другий шар повинен мати довжину L_{κ_1}' рівну

$$L_{k_1}' = \frac{\Delta l - \delta}{\Delta l} \cdot L_{k_1}; \quad \mathcal{M} \quad [11-11]$$

і так далі. Кількість шарів залежить від компенсуючої здатності матеріалів. Застосування матеріалів, які вимагають влаштування більше трьох шарів компенсації, не рекомендується.



Мал. 11.3.4. Визначення кількості шарів компенсаційних матеріалів.

11.3.2. Типова компенсація.

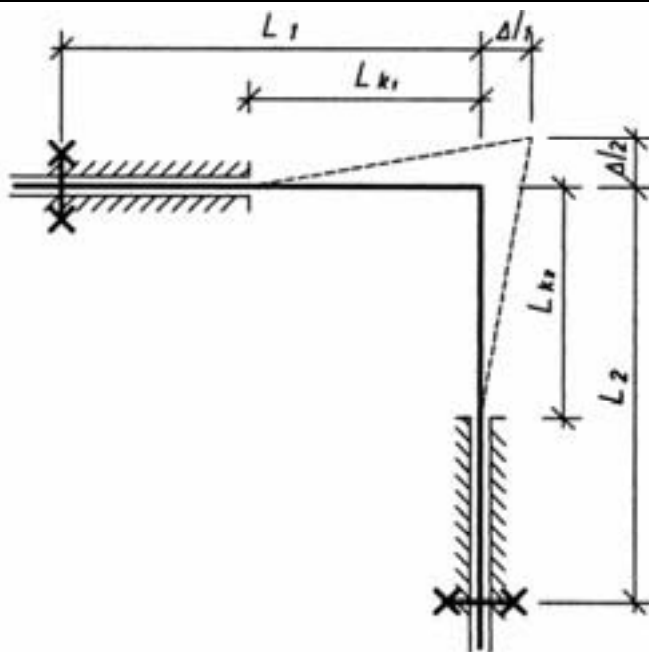
До типових видів радіальної компенсації відносяться «Г», «Z» і «П»-подібні компенсатори. В подальшому на всіх малюнках умовно показані дійсні (фізичні) нерухомі опори. Можливість застосування умовної нерухомої опори залежить від конкретної конфігурації траси і обумовлена обмеженням 3 розділу 11.3 даних «Рекомендацій...».

11.3.2.1. «Г» - подібна компенсація.

«Г» - подібна компенсація рекомендується в межах кутів від 45° до 90°. Визначення необхідних розмірів плечей при «Г» - подібній компенсації може виконуватися по будь-якій відомій довідковій літературі і не становить для проєктанта ніякої складності. Однак можуть виникнути проблеми з визначенням необхідних розмірів компенсаційних зон. На даний період в ВАТ «Енергоресурс» розробляються спеціальні номограми, які допоможуть проєктантові без проблем знаходити розміри компенсаційної зони.

На сьогоднішній день цілком достатньо користуватися наступною методикою:

а). Для компенсаційних кутів 90°



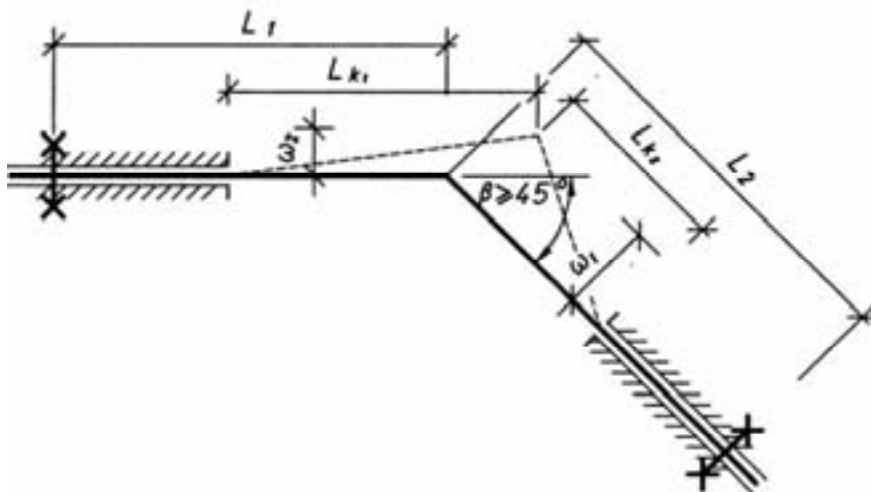
Мал. 11.3.5. Визначення розмірів компенсаційних зон для компенсаційних кутів 90° .

$$L_{k_1} = 1.2 \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot E \cdot D_3 \cdot \Delta l_2}{[\sigma_6]}}; \quad \text{м} \quad [11-12]$$

$$L_{k_2} = 1.2 \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot E \cdot D_3 \cdot \Delta l_1}{[\sigma_6]}}; \quad \text{м} \quad [11-13]$$

де D_3 і $\Delta l_{1,2}$ - зовнішній діаметр провідної труби і видовження, м

б). Для компенсаційних кутів $\beta \geq 45^\circ$



Мал. 11.3.6. Визначення розмірів компенсаційних зон для компенсаційних кутів $\beta \geq 45^\circ$

$$L_{k_1} = 1.2 \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot E \cdot D_3 \cdot \omega_2}{[\sigma_\epsilon]}}; \quad \text{м} \quad [11 - 14]$$

$$L_{k_2} = 1.2 \cdot \sqrt{\frac{1.5 \cdot E \cdot D_3 \cdot \omega_1}{[\sigma_\epsilon]}}; \quad \text{м} \quad [11 - 15]$$

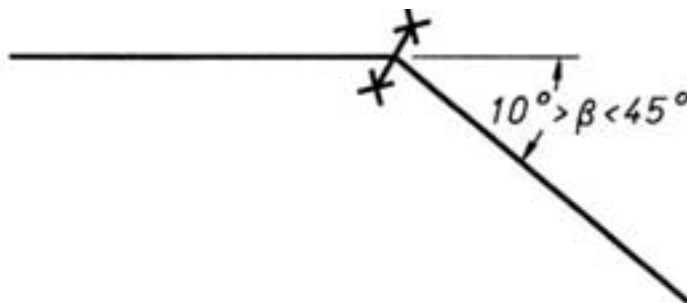
де $\omega_{1,2}$ - приведені довжини переміщень, які визначаються по формулах:

$$\omega_1 = \frac{\Delta l_2}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{\Delta l_1}{\sin \beta}; \quad \text{м} \quad [11 - 16]$$

$$\omega_2 = \frac{\Delta l_2}{\sin \beta} + \frac{\Delta l_1}{\operatorname{tg} \beta}; \quad \text{м} \quad [11 - 17]$$

в). Для кутів $10^\circ < \beta < 45^\circ$.

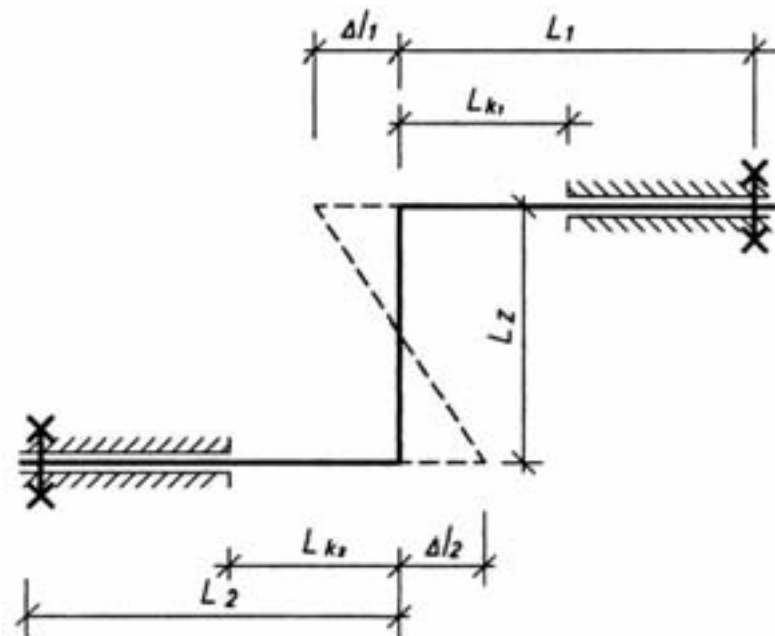
Ще раз звертаємо увагу, що ці кути є некомпенсаційними. Найкращим рішенням є заміна цих кутів нетиповою компенсацією (див. розділ 11.3.3), або забезпечення цих кутів від перевантаження. Це досягається встановленням кутових нерухомих опор в місцях зміни напрямку траси.



Мал. 11.3.7. Влаштування кутової нерухомої опори.

11.3.2.2. «Z» - подібна компенсація.

Визначення компенсуючого плеча L_z так само визначається по всім відомій методиці.



Мал. 11.3.8. Визначення розмірів компенсаційних зон для «Z» - подібних компенсаторів.

Необхідно врахувати обмеження 4 розділу 11.3:

при $L_1 > L_2$ розрахунок ведеться для $2L_1$.

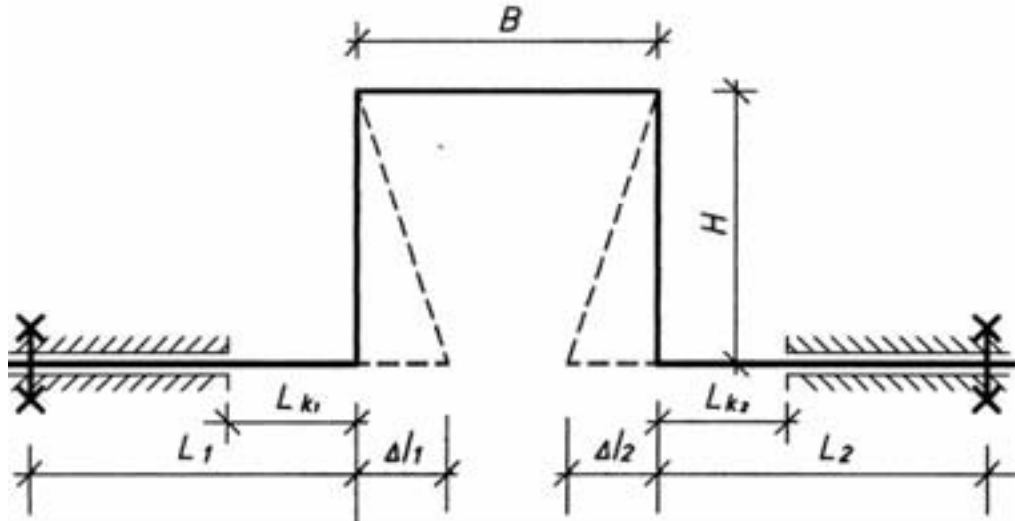
Довжина компенсаційної зони L_{k1} і L_{k2} вибирається однаковою і з допустимим допуском може бути визначена по формулі:

$$L_{k1} = L_{k2} = 0.1 \cdot \sqrt{D_3 \cdot L_z}; \quad m \quad [11 - 18]$$

але повинна бути не меншою $L_k = 0.5 \cdot L_z$.

11.3.2.3. «П»- подібна компенсація.

Визначення розмірів «П» - подібного компенсатора можна виконувати по діючій нормативній літературі.



Мал. 11.3.9. Визначення розмірів компенсаційних зон для «П» - подібних компенсаторів.

Найкраще розташовувати компенсатор по середині розрахункової ділянки.

Необхідно враховувати обмеження 4 розділу 11.3 (аналогічно як розділу 11.3.2.2.) з врахуванням, що співвідношення між прилеглими ділянками повинно бути не більшим ніж 40% до 60% загальної відстані між нерухомими опорами (умовними або фізичними). Найефективнішим є вибір розміру компенсатора із співвідношенням $H = 1B \div 2B$

при $L_1 > L_2$ розрахунок ведеться для $2L_1$.

Всі відомі таблиці і номограми складені з урахуванням скорочення фактичних довжин прилеглих вільних плечей «П» - подібного компенсатора до $4\theta D_y$. Враховуючи умови підземної прокладки рекомендуємо при виборі компенсаторів приймати довжину прилеглих вільних плечей рівною θD_y (без вільних плечей). В цьому випадку компенсуюча здатність компенсатора зменшиться до 80% від визначеної по таблицях або номограмах, а сила пружності збільшиться в 1,7 рази, що створює певний запас по надійності компенсатора.

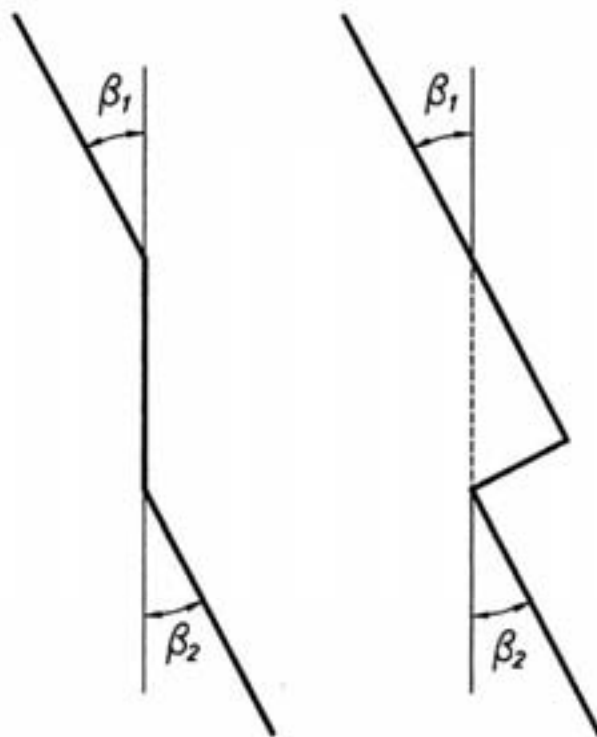
Довжина компенсаційної зони вибирається однаковою і може бути визначена по формулі:

$$L_{k_1} = L_{k_2} = 0.1 \cdot \sqrt{D_3 \cdot H}; \quad m \quad [11 - 19]$$

але повинна бути не меншою $L_k = 0.5 \cdot H$.

11.3.3 Нетипова компенсація.

У випадках, коли необхідно виконати зміну напрямку траси в межах кутів від 10° до 45° застосовується так звана «нетипова» компенсація, яка полягає на заміні некомпенсуючих кутів на штучний компенсатор, який можна обрахувати як типовий. Приклади таких рішень показані нижче:

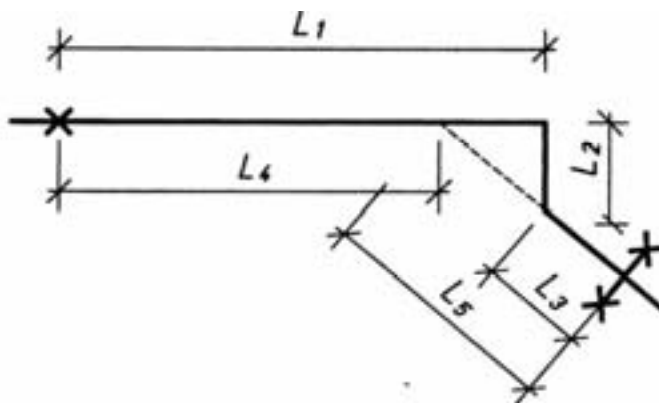


Мал. 11.3.10. Приклад заміни кута повороту від 10° до 45° на типову компенсацію.

У випадку як на мал. 11.3.10. заміна має трактуватися як дві «Г» - подібні ділянки компенсації. При величині цих кутів в межах від 45° до 55° один з них можна замінити на кут 90° або замінити на фізичну нерухому опору.

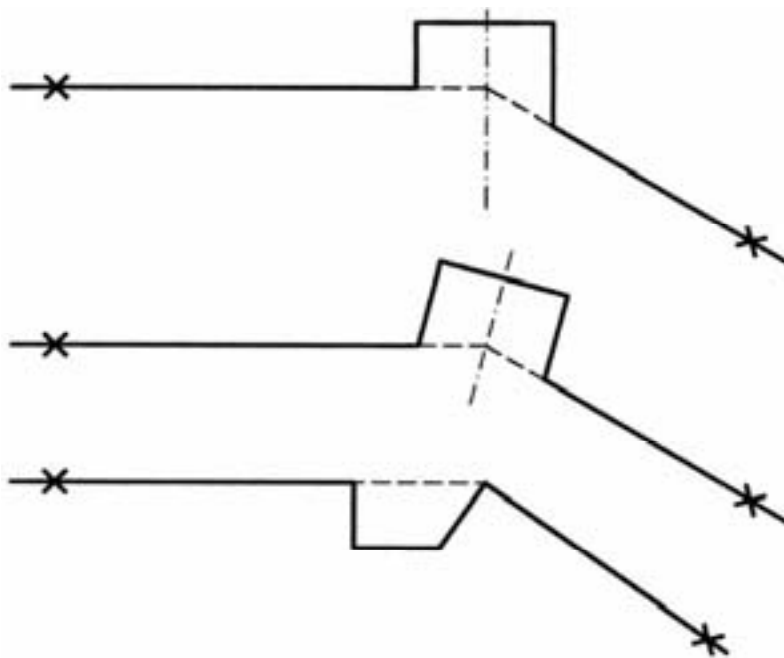
У випадку як на мал. 11.3.11 необхідно, щоб розмір плеча L_2 був дещо більший, ніж вимагає розмір, необхідний для компенсації видовжень ділянки L_1 . Плече L_3 повинно мати довжину від 6 до 12м і має компенсувати переміщення вільного кінця ділянки L_2 . Крім того довжина ділянки L_1 повинна бути не більшою, ніж половина сумарної довжини ділянок $L_4 + L_5$:

$$L_1 \leq \frac{L_4 + L_5}{2}; \quad m \quad [11 - 20]$$



Мал. 11.3.11. Приклад заміни кута повороту від 10° до 45° на дві «Г» - подібні ділянки компенсації.

Влаштування фізичної нерухомої опори в цьому випадку обов'язкове. Найкращим варіантом рішень є влаштування замін як на мал. 11.3.12.



Мал. 11.3.12. Приклади заміни кута повороту від 10° до 45° .

Але у всіх випадках такі заміни треба трактувати тільки як комбінацію «Г» - подібних ділянок компенсації і кожне коротше плече повинно сприймати видовження довшого плеча. Необхідність влаштування фізичних або наявність умовних нерухомих опор залежить від конкретної конфігурації траси. У випадках, коли немає місця для виконання нетипової компенсації, найкращим рішенням є встановлення фізичної кутової нерухомої опори.

11.3.4. Радіальна компенсація в умовах попереднього підігріву.

Радіальна компенсація застосовується як для трас без попереднього підігріву, так і для трас, виконаних з попереднім підігрівом. Розрахунки на компенсацію для трубопроводів із попереднім підігрівом аналогічні розрахункам для трубопроводів без попереднього підігріву. Єдиною різницею є те, що за початкову температуру при визначенні теплових переміщень Δl (видовжень, або скорочень) труби береться температура попереднього підігріву t_n . Оскільки попередній підігрів виконується при незасипаних вільних кінцях трубопроводів (у випадку радіальної компенсації це як мінімум компенсаційні зони на кутах повороту з невеликим запасом) , то компенсаційні подушки встановлюються після виконання підігріву траси до температури t_n . Компенсаційні подушки необхідно встановлювати з обох сторін труби для сприйняття як видовження, так і скорочення розрахункової ділянки.

11.4. Прокладка із осьюовою компенсацією (метод 3).

Крім гнучкої компенсації при безканальній прокладці широко застосовується осьова компенсація за допомогою так званих осьових компенсаторів. До осьових компенсаторів відносяться сальникові і сильфонні компенсатори. Сальникові компенсатори в системі «ЕР» не застосовуються, хоча не виключається можливість застосування їх при підземній прокладці. Принципи застосування сальникових компенсаторів широко відомі і в даній праці не розглядаються.

Група сильфонних компенсаторів складає абсолютну більшість серед осьових компенсаторів в попередньоізольованих трубопроводах. Сильфонні компенсатори (крім «разових») поставляються в повністю ізольованому вигляді і не вимагають додаткових ізоляційних робіт на монтажній площадці крім ізоляції стиків (як для кожного елемента попередньоізольованої теплотраси). Крім того, сильфонні компенсатори не вимагають влаштування спеціальних теплових камер для обслуговування (як, наприклад, сальникові).

Застосування осьових компенсаторів має багато переваг над гнучкими компенсаторами серед яких:

- * відсутність необхідності зміни напрямків траси;
- * економія у виконанні земляних робіт;
- * економія в елементній базі, в кількості стиків і трудомісткості монтажних у порівнянні з «П» - подібними компенсаторами і т. ін.

Переважно осьові компенсатори є єдиним засобом компенсації при прокладенні теплотраси у стиснених умовах або в межах коридору комунікацій.

Види сильфонних компенсаторів можна поділити на три групи:

- 1 - «вільні» компенсатори, які компенсують теплові видовження в повному діапазоні змін температури теплоносія;
- 2 - «дожимні» компенсатори, які компенсують теплові видовження в обмеженому діапазоні змін температури теплоносія.
- 3 - «разові» компенсатори, які працюють тільки при першому циклі росту температури.

Оскільки «разовий» компенсатор в системі «ЕР» має сильфон - він умовно віднесений до категорії осьових компенсаторів. Після спрацювання такого компенсатора далі ділянка трубопроводу працює як звичайна цільна труба в повному діапазоні змін температури теплоносія. Детально про це сказано в розділі 11.2.1.

11.4.1. «Вільні» сифонні компенсатори.

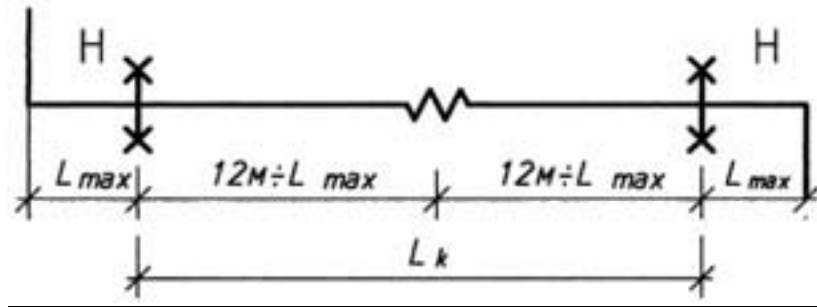
«Вільний» компенсатор є найпростішим і найрозповсюдженішим сифонним компенсатором. Він працює в повному діапазоні температури теплової мережі і сприймає температурні видовження трубопроводів в повному обсязі.

Звичайно компенсатор монтується в середині ділянки трубопроводу, яка компенсується. Прямі ділянки, що прилягають до компенсатора, мають бути не менше 12м, але не більше $L_{\max}$, яка визначається по формулі :

$$L_{\max} = L_{\text{тр}}^{\max} - \frac{F_k}{F_{\text{тр}}}; \quad M \quad [11 - 21]$$

де F_k - реакція сифонного компенсатора по формулі [9 – 14], Н.

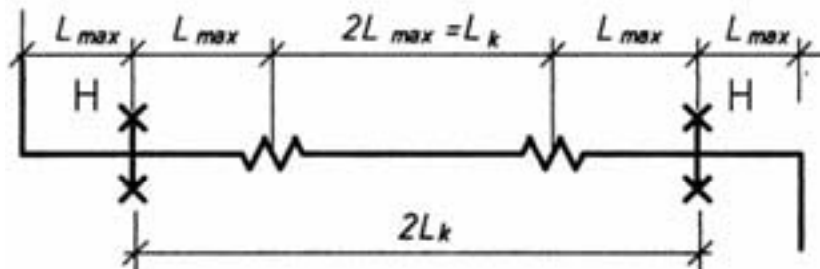
$F_{\text{тр}}$ - питома сила тертя по формулі [8 – 2], Н/м.



Мал. 11.4.1. Влаштування сифонного компенсатора із встановленням фізичних нерухомих опор.

Розрахункові видовження ΔL_k визначаються аналогічно розділу 11.2.1. і порівнюються з компенсаційною здатністю компенсатора, який застосовується.

При встановленні ланцюга компенсаторів відкоректована довжина між двома сусідніми компенсаторами $2L_{\max} = L_k$ в будь-якому випадку не може бути більшою від $2L_{\text{тр}}^{\max}$, або подвійної максимальної довжини тертя.



Мал. 11.4.2. Встановлення ланцюга із двох вільних компенсаторів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Напруження в трубопроводі між двома сусідніми компенсаторами:

$$\sigma_z = - \left(\frac{0.5 \cdot F_{mp_i} \cdot L_k + F_k}{A_i} \right); \quad \text{МПа} \quad [11 - 22]$$

переміщення вільних кінців

$$\Delta l = L_k \cdot \left[\alpha \cdot (t_{\max} - t_{\text{монт}}) - \frac{0.5 \cdot F_{mp_i} \cdot L_k}{2 A_i \cdot E} \right] \cdot 1000; \quad \text{мм} \quad [11 - 23]$$

Влаштування фізичних нерухомих опор між «вільними» сильфонними компенсаторами не потрібне. При переході із осьової компенсації на радіальну, коли сильфонний компенсатор межує з ділянкою самокомпенсації, необхідне встановлення фізичної нерухомої опори (як при умовах на мал. 11.4.1 і 11.4.2). Виникають ситуації, коли від нерухомої опори можна відмовитися, але мають бути виконані наступні умови:

1 - відстань сильфонного компенсатора від зміни напрямку траси (коліна) не може бути менша ніж 12м;

2 - максимальна відстань між сильфонним компенсатором і коліном визначається як $2/3 (L_{\max}^1 + L_{\max}^2)$, але не може бути більшою $4/3 L_{mp}^{\max}$.

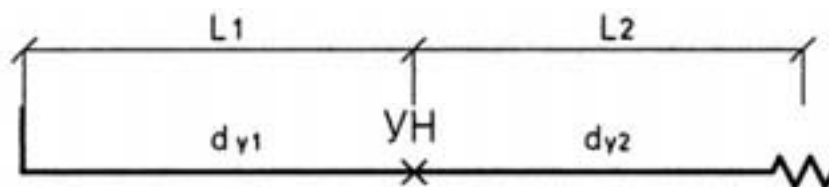
3 - переміщення вільних кінців (див. мал. 11.4.3) визначається по формулах:

- для коліна

$$\Delta l_1 = 0.66 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \left[\alpha \cdot (t_{\max} - t_{\text{монт}}) - \frac{F_{mp1} \cdot L_1}{2 \cdot A_1 \cdot E} + 0.2 \cdot \frac{P_p \cdot D_{\text{вн1}}}{E_{s1}} \right] \cdot 1000; \quad \text{мм} \quad [11 - 24]$$

* для сильфонного компенсатора:

$$\Delta l_2 = 0.66 \cdot (L_1 + L_2) \cdot \left[\alpha \cdot (t_{\max} - t_{\text{монт}}) - \frac{F_{mp2} \cdot L_2}{2 \cdot A_2 \cdot E} \right] \cdot 1000; \quad \text{мм} \quad [11 - 25]$$



Мал. 11.4.3. Комбінація ділянки самокомпенсації і ділянки з осевим компенсатором.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

В системі «ЕР» застосовуються компенсатори датської фірми «Belman» з характеристиками згідно із табл. 11.4.1.

Характеристики «вільних» сильфонних компенсаторів типу LM

Табл.11.4.1

Ду <i>мм</i>	Коефіцієнт осьової жорсткості $C_q, \frac{H}{мм}$	Ефективна площа сильфона $A_k, мм^2$	Компенсаційна здатність Δl_e <i>мм</i>
32	71	2393	100
40	75	2942	100
50	84	4208	100
65	137	5958	100
80	151	8028	100
100	158	13540	125
125	146	19806	125
150	219	27172	125
200	268	46996	125
250	391	70215	125
300	450	96762	125
350	485	114608	125
400	469	164748	125
450	536	190890	125
500	586	251607	125
600	677	330810	125
700	735	441786	125
800	782	572803	125

11.4.2. «Дожимні» сильфонні компенсатори.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

Іноді у випадках, коли проектується теплова мережа, яка працює при якісному графіку регулювання відпуску тепла (особливо з низькотемпературним теплоносієм) більш доцільним є застосування так званих «дожимних» сильфонних компенсаторів (іноді їх називають «мінікомпенсатори»).

Працю такого компенсатора можна поділити на три етапи:

I етап - в діапазоні температур від $t_{\text{монт}}$ до температури термічної стабілізації t_c компенсатор вільно сприймає теплові видовження трубопроводу (працює як «вільний» компенсатор).

II етап - в діапазоні температур вищих від t_c робота ділянки як цільної прямої труби (зміна температури веде до зміни напружень в стінці труби).

III етап - в діапазоні температур нижчих від t_c знову робота компенсатора, як «вільного».

Сильфон компенсатора під час коливання температури в діапазоні температур нижче t_c постійно сприймає зміни довжини ділянки трубопроводу внаслідок температурних деформацій. В той момент, коли температура досягає температури стабілізації сильфон знаходиться у повністю стиснутому стані і захисні патрубки сильфона стикаються між собою і таким чином утворюється конструкція цільної труби.

Напруження в цій ситуації можна визначити по формулі:

$$\sigma_z = -\left(\frac{F_{\text{мпі}} \cdot L_i + F_k}{A_i}\right); \quad \text{МПа} \quad [11 - 26]$$

При досягненні робочої температури теплоносія t_p значення більшого t_c , коли система «труба-компенсатор» починає працювати як цільна труба, з'являються напруження матеріалу від температури. Стан напружень в цій ситуації описує залежність:

$$\sigma_z = -\left[\left(\frac{F_{\text{мпі}} \cdot L_i + F_k}{A_i}\right) - E \cdot \alpha \cdot (t_p - t_c) - \nu \cdot \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}_i}}{S_i}\right]; \quad \text{МПа} \quad [11 - 27]$$

Цілком очевидно, що найбільші напруження виникнуть тоді, коли робоча температура теплоносія досягне максимальної можливої. Тому критерієм розміщення «дожимних» компенсаторів по трасі є дотримання засади не перевищення допустимих осьових напружень в трубі при досягненні максимальної температури теплоносія.

Підбір «дожимного» компенсатора виконується по тих же принципах як і разового, але без урахування напружень, які виникають під час повного охолодження системи. Натомість необхідно врахувати реакцію компенсатора, викликану робочим тиском теплоносія.

Переміщення вільного кінця (компенсаційна здатність) компенсатора, розташованого по середині між сусідніми компенсаторами вираховується по формулі:

$$\Delta l_o = L_o \cdot \left[\alpha \cdot (t_c - t_{\text{max}}) - \frac{0.5 \cdot F_{\text{мп}_1} + F_k}{2 \cdot A_1 \cdot E} - 0.3 \cdot \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}_1}}{S_i} \right]; \quad \text{мм} \quad [11 - 28]$$

Підбір «дожимних» компенсаторів можна виконати методом послідовних наближень. Величину t_c треба вибирати таким чином, щоб вона приблизно дорівнювала температурі, яка підтримується в тепломережі найбільший час за період роботи на протязі сезону.

Існують різні думки відносно спільної роботи ділянок з «дожимними» компенсаторами і ділянок самокомпенсації. З погляду на деякі некорисні явища, які можуть виникнути, рекомендуємо ділянки з дожимними компенсаторами і ділянки самокомпенсації розділяти фізичними нерухомими опорами.

**Характеристики «дожимних» сильфонних
компенсаторів типу
PLM**

Табл.11.4.2

Ду <i>мм</i>	Коефіцієнт осьової жорсткості $C_q, \frac{H}{мм}$	Ефективна площа сильфона $A_{\kappa}, мм^2$	Компенсаційна здатність Δl_e <i>мм</i>
32	71	2393	30
40	75	2942	30
50	84	4208	30
65	137	5958	30
80	151	8028	30
100	158	13540	40
125	146	19806	40
150	219	27172	40
200	268	46996	50
250	391	70215	50
300	450	96762	50
350	485	114608	50
400	469	164748	50
450	536	190890	50
500	586	251607	50
600	677	330810	50
700	735	441786	50
800	782	572803	50

11.5. Рекомендовані методи прокладки.

Підсумовуючи все висвітлене в попередніх розділах, що стосується принципів проектування попередньоізольованих безканальних трубопроводів теплових мереж, можна дати деякі рекомендації щодо використання засобів зменшення напружень, які виникають в провідній трубі. Табл.11.5. вміщає такі рекомендації, але необхідно підкреслити, що кінцеве рішення належить **тільки до проектанта**. При прийнятті такого рішення проектант має керуватися конкретними умовами місця будівництва, технічними даними, параметрами тепломережі і т. ін.

Рекомендації по зменшенню напружень в трубопроводах

Таблиця

11.5

Методи зменшення напружень.	Умови роботи тепломережі							
	Температура					3 постійною температурою	Підроблені території	Високий рівень ґрунтових вод
	Опалення			ГВ				
	150°C	130°C	115°C	до 75°C	до 60°C			
Компенсація радіальна	+	+	+	+	+	+	+	+
Попередній підігрів	-	+	+	+	+	+	-	-
Компенсатор «разовий»	-	+	+	+	-	+	-	-
Компенсатор «дожимний»	+	+	+	+	-	+	-	+
Компенсатор «вільний»	+	+	+	+	-	+	-	+

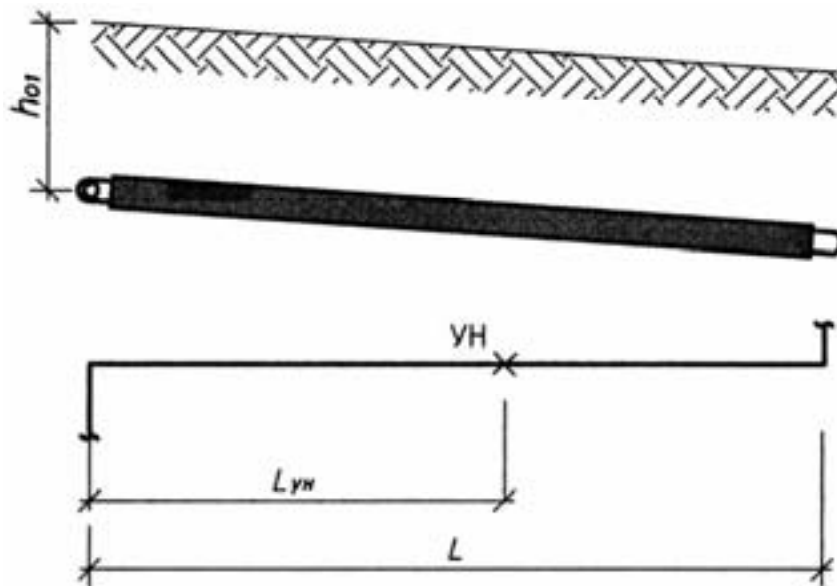
12. Нерухомі опори.**12.1 Умовна нерухома опора.**

Визначення умовної нерухомої опори полягає в правильному знайденні місця між двома вільними кінцями ділянки, в якому відсутнє переміщення труби під впливом зміни температури. Умовна нерухома опора на прямій ділянці трубопроводу утворюється в такому місці, де настає рівновага сил тертя між ґрунтом і трубою і сил від впливу температури. Найпростіше визначити місце утворення умовної нерухомої опори, коли ділянка укладена паралельно до рівня землі. В цьому випадку умовна нерухома опора буде знаходитися посередині між вільними кінцями ділянки. Очевидно, що умовою є однорідність ґрунту засипки всієї ділянки. У випадку (див. мал. 12.1.1), коли по всій довжині ділянки ґрунт є однорідним, глибина залягання вільних кінців є різною, а зміна рельєфу є лінійною, відстань від вільного кінця з більшою глибиною залягання до умовної нерухомої опори можна визначити по формулі:

$$L_{y.n} = \frac{2h_{\theta_1} - \sqrt{2(h_{\theta_1}^2 + h_{\theta_2}^2)}}{2(h_{\theta_1} - h_{\theta_2})} \cdot L; \quad \text{м} \quad [12 - 1]$$

де h_{θ_1} - більше заглиблення трубопроводу до осі труби, м

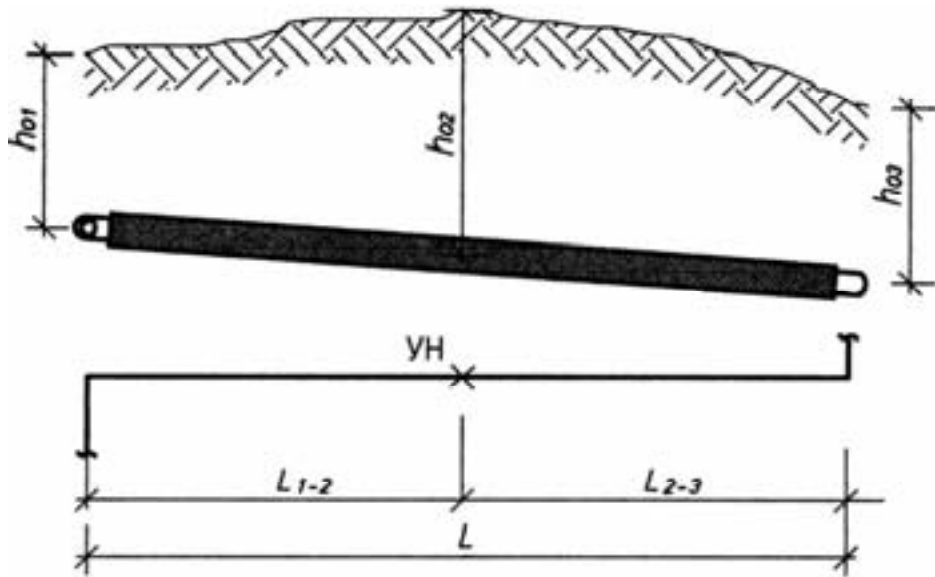
h_{θ_2} - менше заглиблення трубопроводу до осі труби, м



Мал. 12.1.1. Визначення місця знаходження умовної нерухомої опори при лінійній зміні рельєфу землі.

Цілком очевидно, що знайдена відстань не може перевищувати $L_{\max}$.

При нелінійній зміні рельєфу (див. мал. 12.1.2) місце знаходження умовної нерухомої опори можна з достатньою точністю визначити при допомозі середньої величини глибини залягання трубопроводу.



Мал. 12.1.2. Визначення середньої глибини залягання трубопроводу.

Середню глибину залягання можна визначити по формулі:

$$h_{0_{\text{ср}}} = \frac{0.5 \cdot (h_{0_1} + h_{0_2}) \cdot L_{1-2} + 0.5 \cdot (h_{0_2} + h_{0_3}) \cdot L_{2-3}}{L}; \quad \text{м} \quad [12 - 2]$$

В цьому випадку можна приймати L_{max} як для середньої глибини залягання трубопроводу.

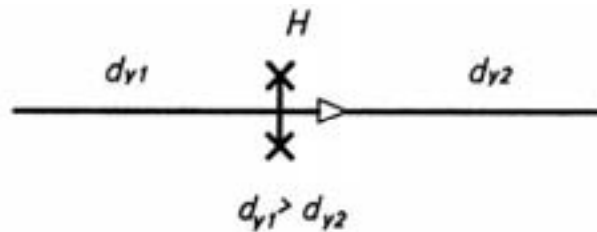
У випадках, коли відстань між вільними кінцями перевищує $2L_{\text{max}}$, застосування умовних опор недопустиме. В цьому випадку необхідно змінити геометрію мережі або застосувати прокладку з фізичними (дійсними) нерухомими опорами.

12.2. Фізичні (дійсні) нерухомі опори.

Однією із переваг безканальної прокладки є можливість вилучення фізичних нерухомих опор у порівнянні з аналогічною конфігурацією траси при каналній прокладці. Як відомо, нерухома опора обмежує три ступені свободи труби. В трубопроводі, що укладений в ґрунт, два ступені свободи обмежуються ґрунтом. Ґрунт сам «слідкує» за розподілом компенсаційних ділянок шляхом утворення «умовних» нерухомих опор, які фактично є місцем зрівноваження сил, що діють на трубопровід.

Існують такі випадки, коли неможливо обійтись без фізичної нерухомої опори. Різні фірми-виробники по-різному вимагають застосування таких опор в залежності від конкретних умов. В системі «ЕР» діють такі вимоги, щодо влаштування фізичних нерухомих опор:

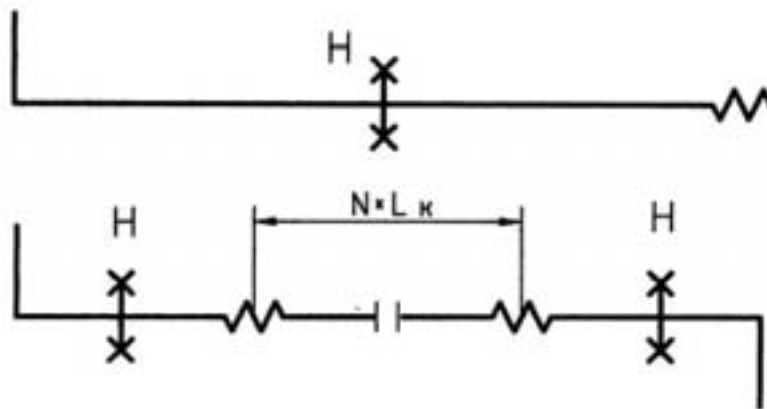
- 1). при виконанні кута повороту траси на кут від 10° до 45° (див. мал. 11.3.7).
- 2). при переході діаметрів на прямих ділянках з метою захисту ділянки з меншим діаметром труби.



Мал. 12.2.1. Застосування нерухомої опори з метою захисту ділянки з меншим діаметром труби.

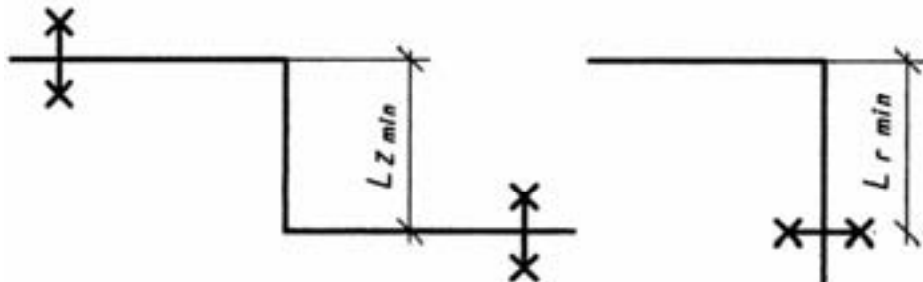
В цьому випадку при різниці діаметрів більше ніж на один типорозмір необхідність встановлення нерухомої опори перевіряється розрахунком. При різниці діаметрів на один типорозмір звичайно влаштування нерухомої опори не застосовується, але рекомендуємо перевіряти такі ситуації розрахунком при конкретних умовах.

3). захист трубопроводів при комбінації осьової і радіальної компенсації (див. розділ 11).



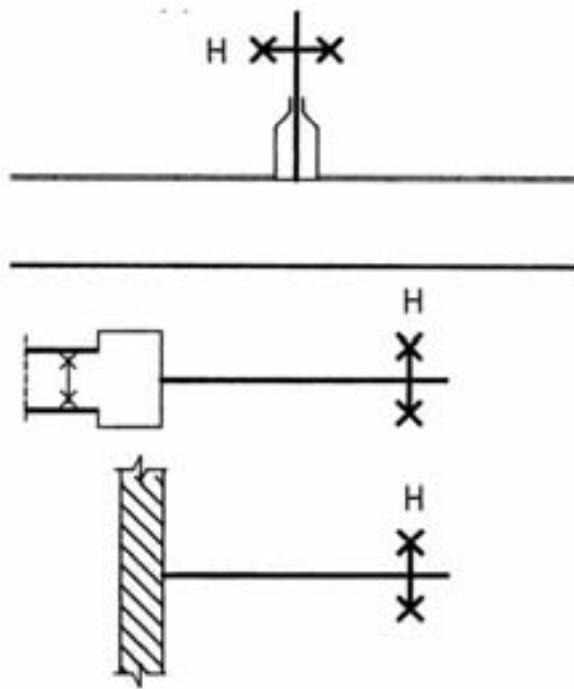
Мал.12.2.2. Захист трубопроводів при комбінації осьової і радіальної компенсації.

4). захист малих компенсаційних плечей при радіальній компенсації.



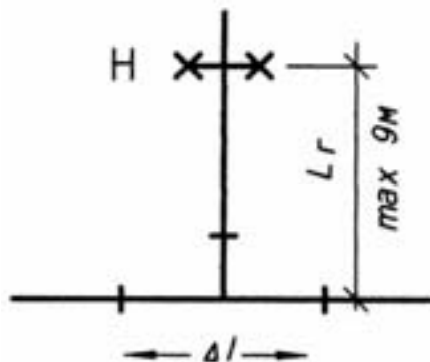
Мал. 12.2.3. Захист малих компенсаційних плечей.

5). захист трубопроводів традиційної канальної прокладки при комбінації із безканальною (детальніше див. розділ 13.5).



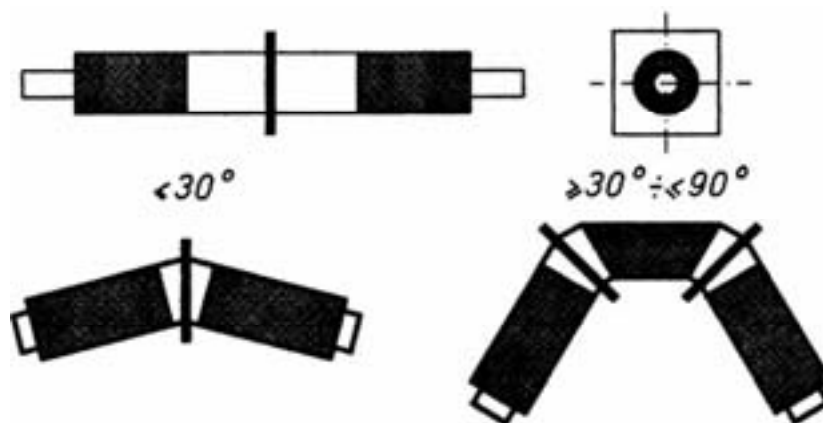
Мал.12.2.4. Захист трубопроводів традиційної канальної прокладки.

б). на відгалуженні від основного теплопроводу виконаному при допомозі «трійника прямого або кутового».



Мал.12.2.5. Відгалуження при допомозі «трійника прямого» або «трійника кутового».

Фізична нерухома опора являє собою спеціальний елемент заводського виготовлення (див. мал.12.2.6), який бетонується при монтажних роботах.



Мал. 12.2.6. Пряма і кутова нерухома опора.

Розміри бетонного блоку і його армування розраховуються проектантом-будівельником на підставі сили, що діє на нерухоми опору, ґрунтових умов і інших факторів, що залежать від конкретних умов прокладення. Було б помилкою давати конкретні виміри таких блоків в даній роботі (що роблять деякі фірми). Основним для проектанта-теплотехніка є правильне визначення сил, які діють на нерухоми опори. Це буде основою при розробці бетонного блоку для конкретних умов. Звичайно фірми-виробники попередньоізолюваних трубопроводів дають розміри бетонних блоків, які розраховані на сприйняття максимальної сили, обумовленої допустимим напруженням в сталевій трубі в місці влаштування нерухомої опори $[\sigma_z]$. Це

виникає з того, що така конструкція може сприйняти зусилля від ділянки довжиною L_{max} при якійсь розрахунковій питомій вазі ґрунту. При практичному проектуванні таке співвідношення є рідкісним. Сили, які діють на нерухоми опори зазвичай є меншими від максимальних і застосування блоків з максимальними розрахунковими параметрами приводить до перевитрати бетону і арматури і часто не відповідає конкретним умовам.

В табл. 12.2.1. для прикладу наведені найбільш розповсюджені випадки влаштування фізичних нерухомих опор з формулами для визначення діючих сил. При складанні таблиці враховані наступні обмеження:

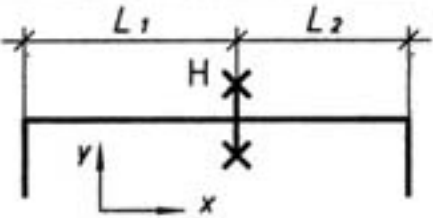
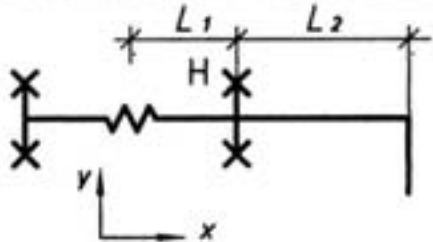
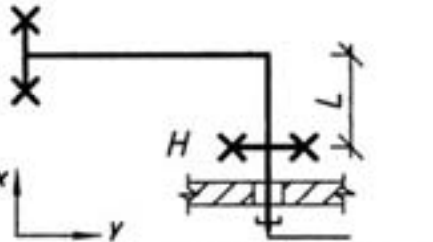
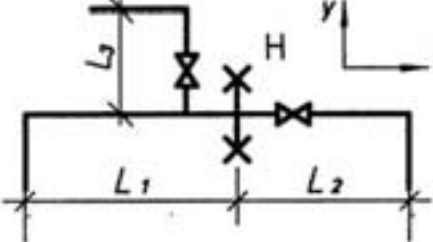
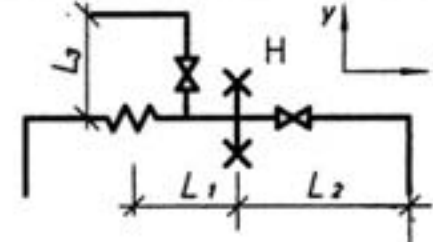
- * трубопровід по обидві сторони опори знаходиться у однакових ґрунтових умовах;
- * довжини ділянок по обидві сторони опори відповідають засадам формування геометрії траси із попередньоізолюваних трубопроводів і не перевищують L_{max} .

Приклади 4 і 5 є правильними для променевих схем. Для кільцевих схем сили тертя з обох сторін сумуються. Слід також відзначити, що нерухома опора заводського виготовлення (елемент теплової мережі) в системі «ЕР» розрахована на умови сприйняття сили в межах $[\sigma_z]$ від довжини ділянки, яка не перевищує L_{mp}^{max} табл. 9.4.1.

У випадку, коли сила F_x перевищує силу, яку може витримати опора заводського виготовлення, слід змінити проектне рішення по конфігурації трубопроводу.

**Приклади вирахування сил, які діють на
нерухомі опори.**

Таблиця 12.2.1.

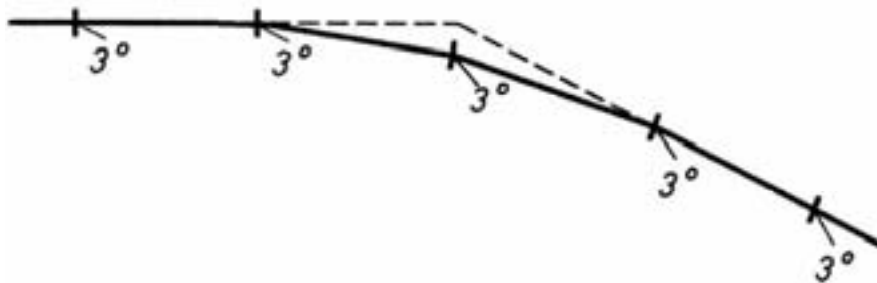
	Геометрія трубопроводу	Складові сил
1		$F_x = F_{Tp1} \times L_1 - 0.7 (F_{Tp2} \times L_2)$ $F_x = 0.7 (F_{Tp1} \times L_1) - F_{Tp2} \times L_2$ $F_y = 0$
2		$F_x = F_K + F_{Tp1} \times L_1 - 0.7 (F_{Tp2} \times L_2)$ $F_x = 0.7 (F_K + F_{Tp1} \times L_1) - F_{Tp2} \times L_2$ $F_y = 0$
3		$F_x = F_{Tp} \times L$ $F_y = 0$
4		$F_x = F_{Tp1} \times L_1$ $F_x = F_{Tp2} \times L_2$ $F_y = F_{Tp3} \times L_3$
5		$F_x = F_K + F_{Tp1} \times L_1$ $F_x = F_{Tp2} \times L_2$ $F_y = F_{Tp3} \times L_3$

13. Поради по проектуванню.

Правильне запроектування теплової мережі не обмежується тільки вибором компенсаційних елементів, вибору і розташуванню нерухомих опор, компенсаційних зон і т. д. При виконанні проектних робіт необхідно передбачити всі фактори, які впливають на безаварійну роботу теплової мережі і прийняти рішення, яке допоможе змініалізувати вплив цих факторів. Крім того, необхідно передбачити захист інших типів прокладки і внутрішніх систем від впливу навантажень із сторони безканальних трубопроводів. Деякі поради цього розділу допоможуть проектантові прийняти рішення, що зменшать можливість аварійності теплової мережі.

13.1 Зміни напрямку траси.

Як вже зазначалося у вищевикладених розділах, існують обмеження у застосуванні кутів зміни напрямку траси. Але досить часто виникають такі ситуації, коли необхідно виконати таку зміну і не існує ніякої можливості для виконання нетипової компенсації або влаштування кутової нерухомої опори (наприклад, якщо теплотраса знаходиться в середині існуючого коридору комунікацій). Для кутів повороту $\beta < 10^\circ$ це вирішується просто шляхом застосування підрізок країв труб на зварних стиках (як на мал. 13.1.1).



Мал.13.1.1. Застосування підрізок країв труб на зварних стиках.

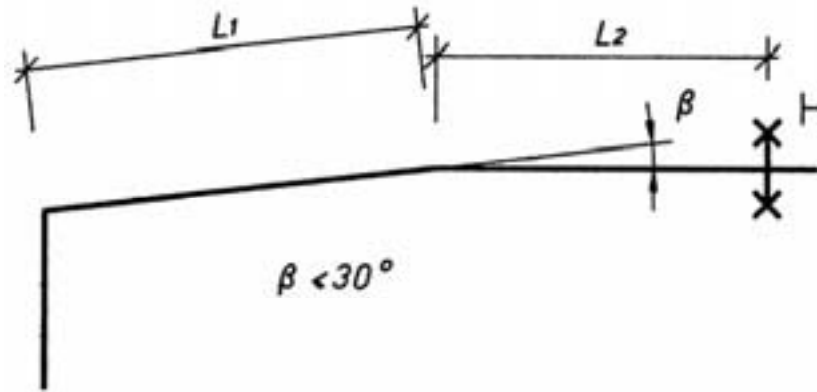
Максимальні кути підрізок вказані в табл. 11.3.1.

В цьому випадку ця ділянка трактується як пряма труба.

Коли виникає необхідність зміни кута напрямку траси на кут 15° або 30° , допускається (але не бажано) виконувати такі зміни тільки у випадках, коли немає іншого виходу, а необхідні заходи приведуть до великих матеріальних затрат (перенос існуючого коридору комунікацій, демонтаж і заміна без необхідності існуючих комунікацій і т. д.). При цьому слід застосувати тільки коліна заводського виготовлення з кутами 15° та 30° і причому необхідно врахувати, що в розрахунках ця ділянка має трактуватися як пряма із зменшеною довжиною тертя:

$$L'_{тр}^{max} = L_{тр}^{max} \cdot (1 - \sin \beta); \quad m \quad [13 - 1]$$

де $L_{тр}^{max}$ визначається для ділянки $L_1 + L_2$



Мал.13.1.2. Приклад визначення максимальної приведеної довжини тертя у випадках зміни кута повороту траси $15^\circ \div 30^\circ$.

Кути від 30° до 45° не застосовувати без нерухомої кутової опори або без нетипової компенсації ні в якому випадку.

13.2. Відгалуження трубопроводів.

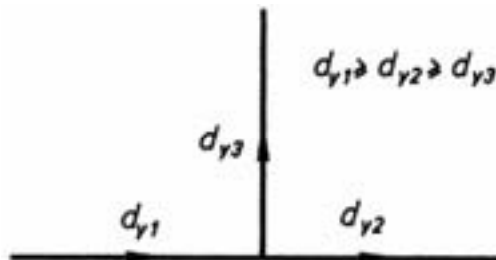
Важливу роль для безаварійності роботи теплопроводів відіграє правильне запроектування відгалужень, яке має враховувати як безпеку основного трубопроводу так і трубопроводу відгалуження.

В безканальних теплових мережах для виконання відгалужень застосовуються трійники заводського виготовлення трьох типів:

- * трійник прямий;
- * трійник кутовий;
- * трійник паралельний.

При проектуванні відгалужень безканальних трубопроводів необхідно дотримуватися наступних принципів:

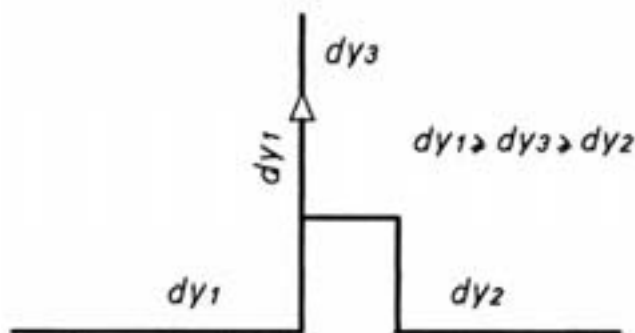
1). діаметр відгалуження не може бути більшим основного трубопроводу (початку і продовження).



Мал. 13.2.1.

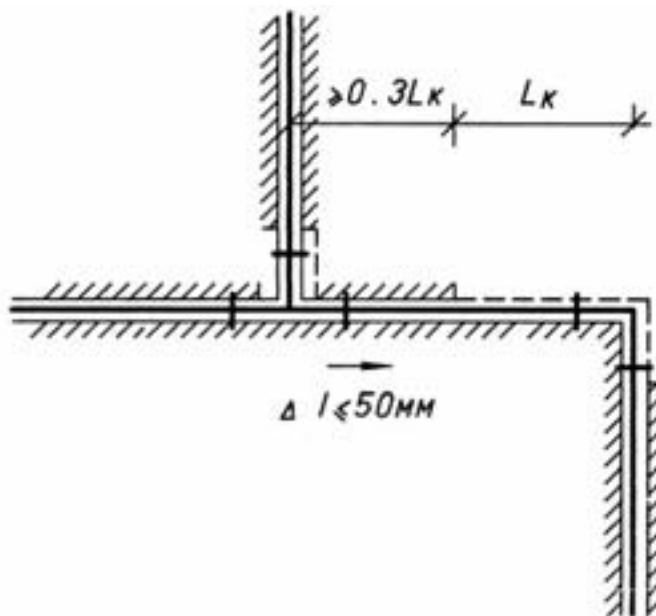
РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

2). якщо необхідно виконати відгалуження $D_{y1} \geq D_{y3} \geq D_{y2}$, його слід виконати, як на мал. 13.2.2. з урахуванням вимоги п. 3,4.



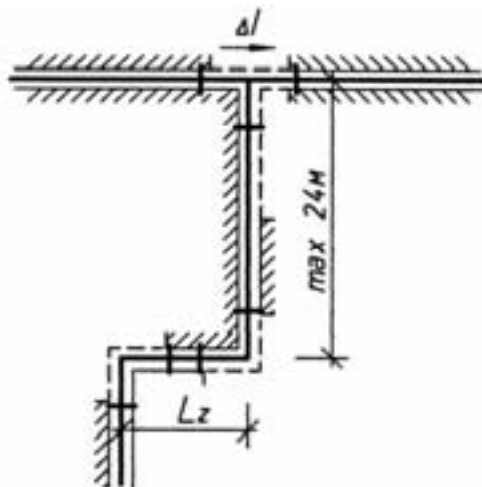
Мал. 13.2.2.

3). відгалуження не може бути виконано ближче ніж 0,3 довжини компенсаційної зони рахуючи від кінця компенсаційної зони. Причому видовження основного трубопроводу в місці відгалуження не повинно перевищувати 50мм.



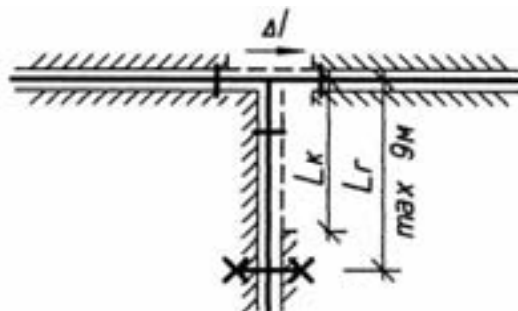
Мал. 13.2.3.

4). при виконанні відгалуження із застосуванням прямого або кутового трійника, таке відгалуження має розглядатися як «Z»-подібна ділянка компенсації як на мал. 13.2.5. з виконанням всіх вимог як для «Z»-подібної компенсації.



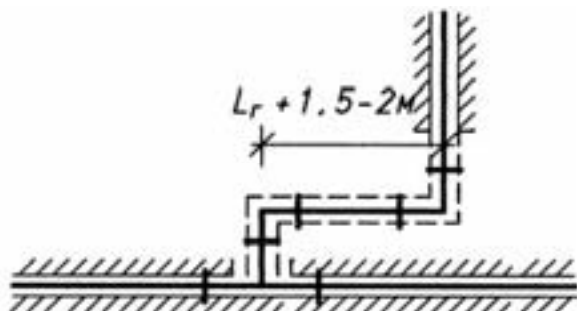
Мал. 13.2.4. Відгалуження із застосуванням прямого або кутового трійника

У разі неможливості виконання цієї умови, обов'язкове влаштування фізичної нерухомої опори як на мал. 13.2.5. з обов'язковим влаштуванням компенсаційних зон. Причому довжина компенсаційної зони визначається як для «Г»-подібної компенсації з подвійним видовженням ($2\Delta l$).



Мал.13.2.5.

5). при використанні відгалуження із застосуванням трійника паралельного, таке відгалуження має розглядатися як «Г»-подібна ділянка компенсації. Причому компенсаційне плече приймається із запасом 1.5÷2м.



Мал. 13.2.6.

В доповнення до вищевикладеного належить додатково прийняти до відома наступне:

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

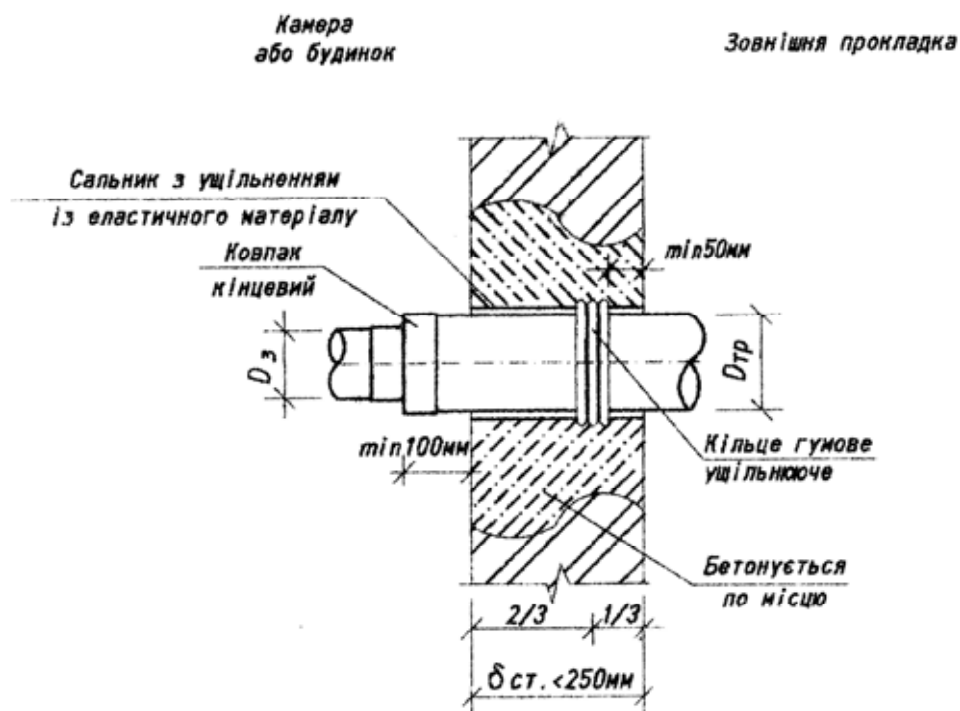
- * при виконанні попереднього підігріву компенсаційні подушки встановлюються по обидві сторони відгалуження;
- * при проектуванні слід виконувати відгалуження максимально наближеними до умовних або фізичних нерухомих опор.

13.3. Перехід трубопроводів через стіни.

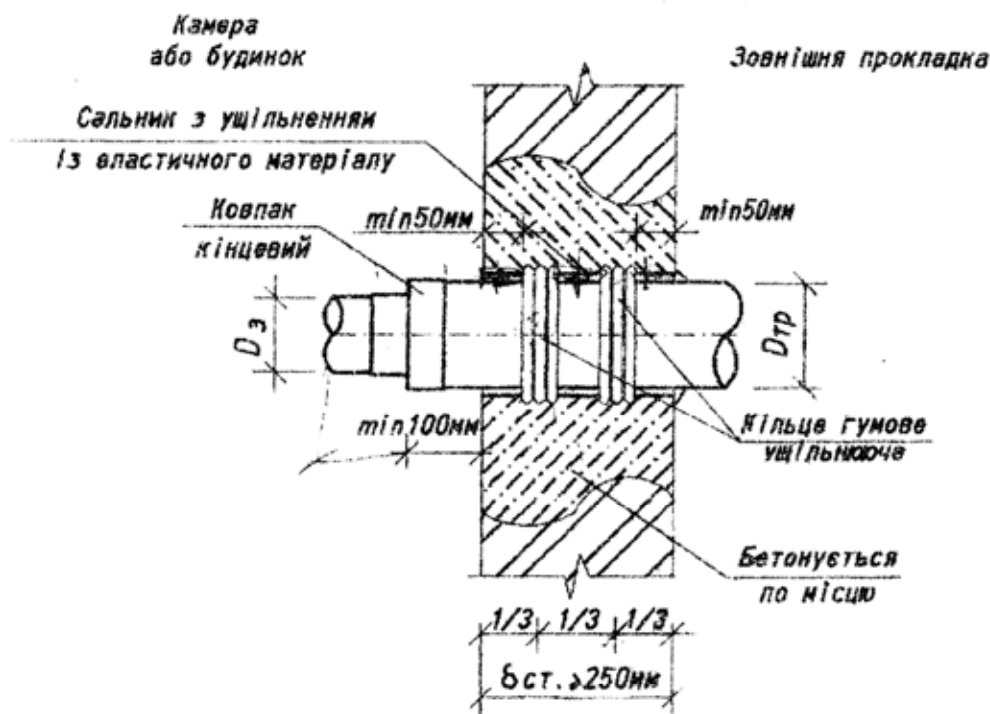
При перетині трубопроводами будівельних конструкцій (фундаменти будинків, стіни теплових камер і т.д.) необхідно виконати ущільнення таких проходів. Ущільнення виконується трьох типів:

- * ущільнення за допомогою гумових кілець.
- * ущільнення за допомогою адаптера.
- * ущільнення за допомогою нажимного сальника.

Ущільнення за допомогою гумових кілець (див. мал.13.3.1) найпростіше і виконується у всіх випадках, коли присутнє тільки осьове переміщення трубопроводу (що досягається правильним визначенням конфігурації траси).

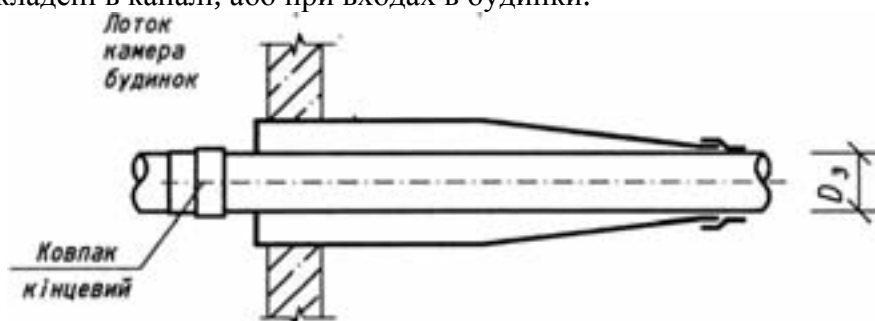


Мал. 13.3.1. Перехід через будівельні конструкції за допомогою гумових кілець при $\delta_{ст} < 250 \text{ мм}$



Мал. 13.3.2. Перехід через будівельні конструкції за допомогою гумових кілець при $\delta_{ст} > 250 \text{ мм}$

Ущільнення за допомогою адаптерів виконується у тих випадках, коли при перетині стін присутні невеликі переміщення труби в горизонтальній площині. В основному такі адаптери застосовуються для малих діаметрів трубопроводів при відгалуженнях від існуючих теплових мереж, які прокладені в каналі, або при входах в будинки.



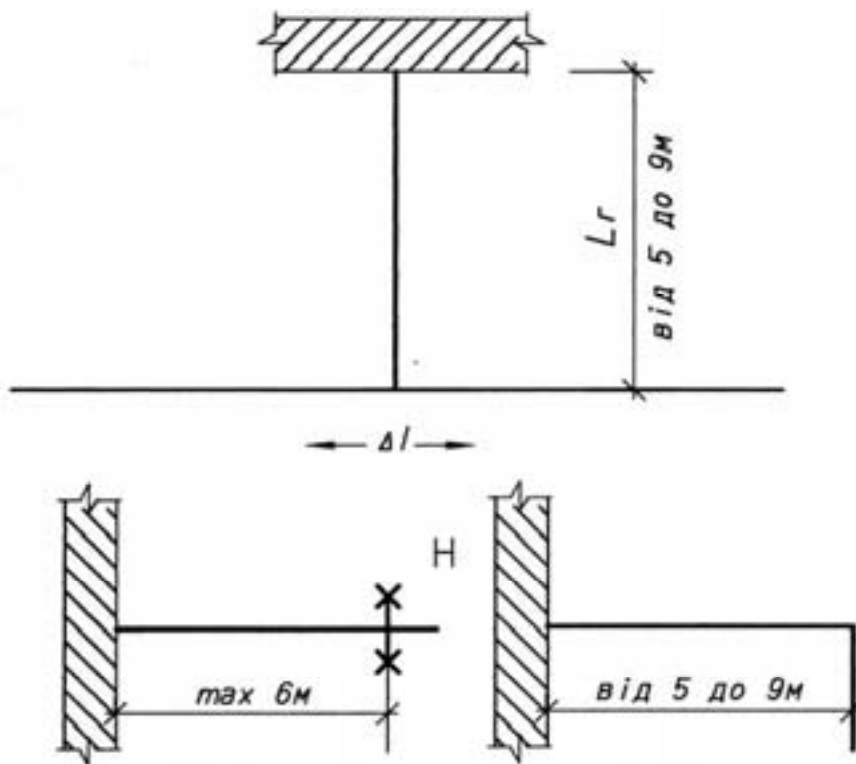
Мал.13.3.3. Перехід через будівельні конструкції за допомогою адаптерів.

Ущільнення при допомозі нажимного сальника застосовується при наявності ґрунтових вод.

При вході в канали, камери і підвали в разі приєднання до трубопроводів без пінополіуретанової ізоляції обов'язкове застосування термоусадкових кінцевих ковпаків на кінцях попередньоізольованих труб для захисту пінополіуретанової ізоляції від зволоження.

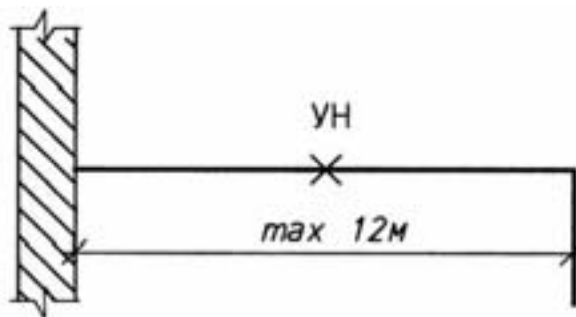
13.4. Приєднання до внутрішніх систем будинків.

Приєднання попередньоізованих трубопроводів до внутрішніх систем будинків можна виконувати одним із наступних методів.



Мал. 13.4.1. Варіанти приєднання трубопроводів до внутрішніх систем будинків.

Якщо відома компенсуюча здатність внутрішньої системи, то допускається виконувати під'єднання по мал. 13.4.2., але в цьому випадку необхідно перевірити можливість внутрішньої системи до сприйняття теплових видовжень і напружень від зовнішньої мережі.



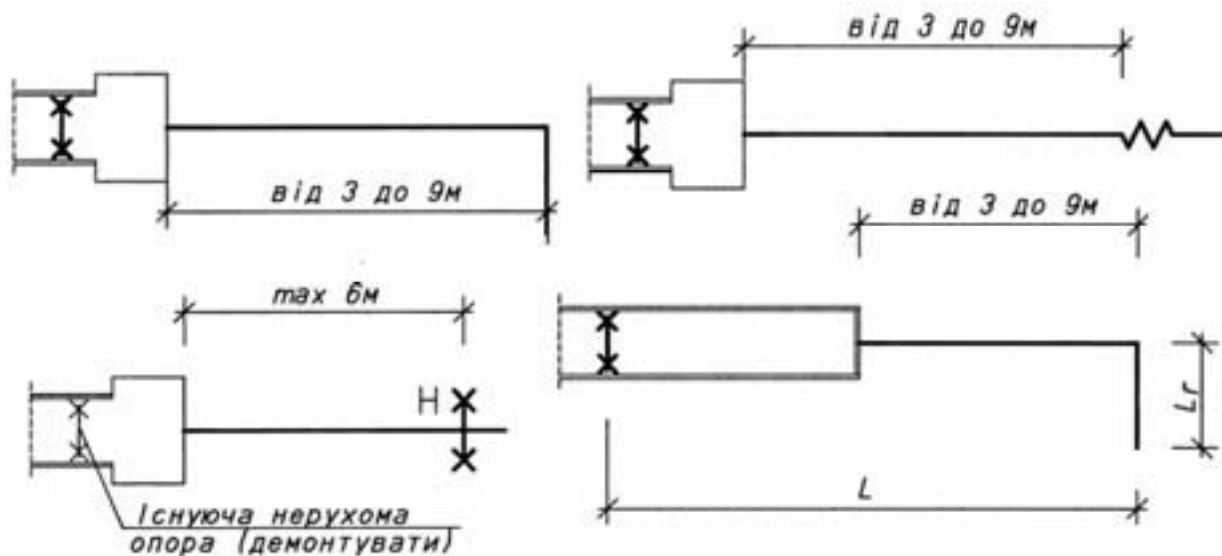
Мал. 13.4.2. Варіант під'єднання трубопроводів, коли відома компенсуюча здатність внутрішньої системи.

При всіх варіантах плечі компенсації, компенсаційні зони, під'єднання трійниками і т.д. мають відповідати всім вимогам, які були надані в попередніх розділах.

13.5. Приєднання до каналъних трубопроводів.

Приєднання безканалъних трубопроводів до існуючих трубопроводів каналъної прокладки найчастіше зустрічається в практиці проектування при реконструкції існуючих теплових мереж. Нижче наведені деякі схеми поєднання двох систем.

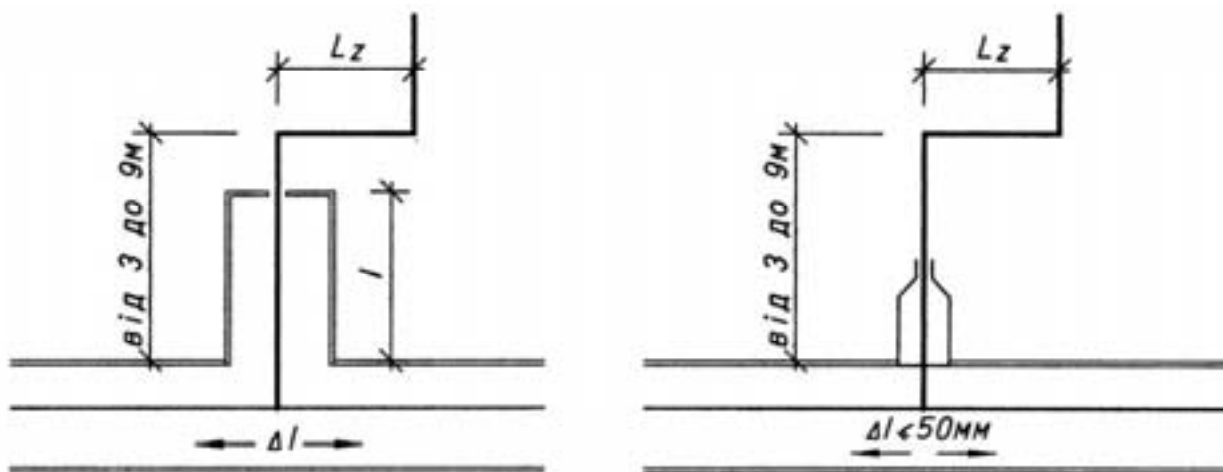
При під'єднанні безканалъної прокладки до каналъної на прямих ділянках головним є те, щоб не передавати навантаження від безканалъних трубопроводів на каналъні. Це досягається основними способами, які представлені на мал. 13.5.1.



Мал.13.5.1 Варіанти поєднання трубопроводів каналъної і безканалъної прокладки.

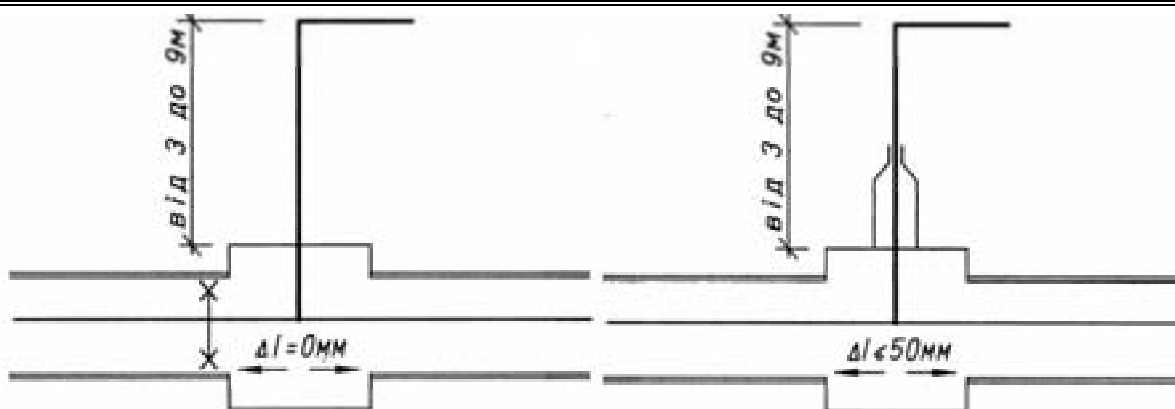
РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПРОЕКТУВАННЮ

При відгалуженні безканального трубопроводу від канального (як на мал.13.5.2.) для діаметрів попередньоізольованих труб до $Dy=100$ застосовується адаптер, а для діаметрів $Dy=125\div 200$ — компенсаційна ніша із лоткових елементів. Причому необхідна довжина компенсаційної ніші l визначається виходячи із дотримання допустимого напруження в трубопроводі на згин. Оскільки відгалуження такого діаметру без влаштування теплових камер на існуючих каналних теплових мережах зустрічається нечасто, більш детально визначення довжини компенсаційної ніші можна виконати по [11].



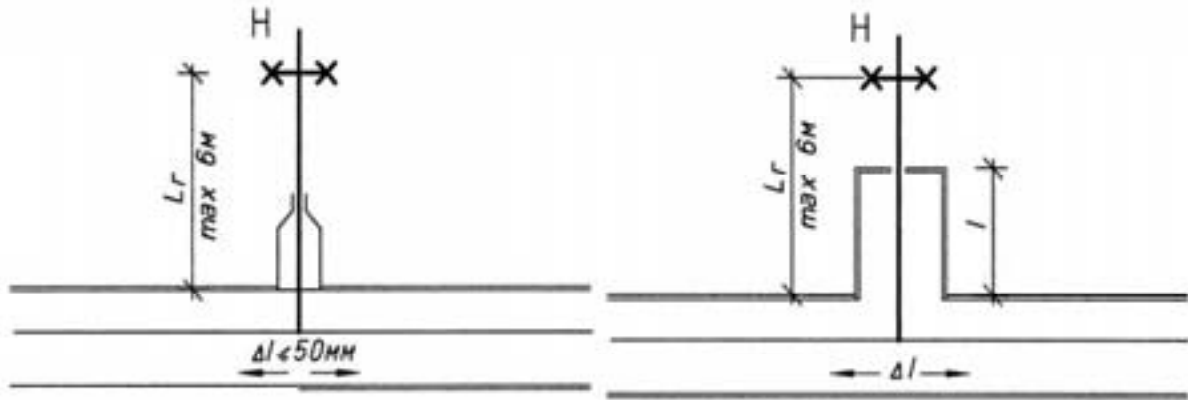
Мал.13.5.2. Варіанти поєднання трубопроводів канальної і безканальної прокладки.

Відгалуження від теплових камер виконується з дотриманням тих самих засад, що і від трубопроводів в лотках. Приклади таких відгалужень показані на мал. 13.5.3.



Мал.13.5.3. Відгалуження від теплових камер

Принципи компенсації і влаштування компенсаційних зон мають відповідати вищевикладеним. Розвантаження трубопроводів канальної прокладки від впливу безканальних трубопроводів при відгалуженнях краще виконувати за допомогою самокомпенсуючих ділянок. Застосування осьових компенсаторів у цих випадках не рекомендується, хоча і допускається в залежності від діаметрів трубопроводів і сили реакції компенсаторів, що має бути перевірене розрахунком. Застосування фізичних нерухомих опор допускається при влаштуванні нерухомої опори тільки на безканальному трубопроводі. Довжина L_r має компенсувати переміщення Δl точки врізки безканального трубопроводу в канальний. Причому для сприйняття переміщень може застосовуватися як адаптер, так і компенсаційна ніша із лоткових елементів.



Мал. 13.5.4. Влаштування нерухомих опор при відгалуженнях від канальнопрокладеного трубопроводу

Використана і рекомендована література.

1. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети / Госстрой СССР. — М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1987.
2. СНиП 3.05.03-85. Тепловые сети / Госстрой СССР. — М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
3. СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» . Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.
4. СНиП 2.04.14-88.Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Госстрой СССР.— 1989.
5. СНиП II-3-79**. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. — М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
6. ГСТУ 34-204-88-002-98. Труби для теплових мереж з тепловою ізоляцією з пінополіуретану і захисною оболонкою з поліетилену. Загальні технічні умови. Міністерство енергетики України, Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України., м. Львів, 1998.
7. ГОСТ 21.605-82* Сети тепловые. Рабочие чертежи.
Государственный комитет СССР по делам строительства, М.
8. ОСТ 108.031.08-85 — ОСТ 108.031.10-85 Котлы стационарные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность.
Министерство энергетического машиностроения, М., 1987г.
9. ДНАОП-0.00-1.11-98 Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари і гарячої води. Держнаглядохоронпраці від 08.09.98 р., №177., К., 1998р.
10. Справочник по проектированию электрических станций и сетей. (СПЭ №181т)
часть «Тепловые сети», раздел IX, том II. Бесканальная прокладка.
МСЭС - СССР, Теплопроект ., 1959.
11. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям., М. Энергоатомиздат, 1985.
12. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. Под ред. инж. А.А. Николаева. Издательство литературы по строительству, -М, 1965.
13. Е.Я. Соколов Теплофикация и тепловые сети., Энергоиздат., -М 1982.
14. В.П. Витальев. Бесканальные прокладки тепловых сетей. «Энергия». М., 1971.

15. Указания по проектированию и строительству тепловых сетей бесканальным способом прокладки с изоляцией из битумоперлита (РСН176-70). -К.: Будівельник,1970.
16. Бесканальные теплопроводы. Расчет и проектирование. Справочник Р.М.Сазонов, В.С. Еременко, Л.Т. Шкелев и др. - К: Будівельник,1985.
17. Warunki techniczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji sieci ciepłowniczych z rur i elementow preizolowanych. COBRTI «INSTAL». Warszawa, 1996.
18. Preizolowane sieci ciplne. System PRIM SA LUBLIN. Projektowanie.
19. FINPOL ROHR Ltd. Rury preizolowane. Poradnik projektanta., Warszawa, 1995.
20. PAN - ISOVIT - GmbH Speyer. Katalog systemu rur preizolowanych dla ciepłownictwa.
21. System ZPU MIEDZYRZECZ preizolowanych rur dla podziemnych sieci ciepłowniczych.
22. POWERPIPE. The cfc-free system. Desingn information.
23. STAR PIPE. Poradnik projektanta.
24. Системы фирмы «LØGSTØR RØR». Каталог.
25. Sieci preizolowane systemu RAFAKO - EKO.