

Механический расчет

Задание №9

Определение расстояний между неподвижными опорами

Неподвижные опоры фиксируют отдельные точки трубопровода, делят его на независимые в отношении температурных удлинений участки и воспринимают усилия, возникающие в трубопроводах при различных схемах и способах компенсации тепловых удлинений.

Расстояние между неподвижными опорами по компенсирующей способности сальниковых компенсаторов определяют по формуле:

$$L = \frac{\alpha_{расч}}{\alpha(t - t_{н.о.})}, м$$

$\alpha_{расч}$ - расчетная компенсирующая способность сальникового компенсатора в мм. Расчетную компенсирующую способность сальниковых компенсаторов принимают меньше α_{max} (Приложение 6) на величину Z , которая учитывает недостающую точность изготовления компенсаторов и возможную податливость неподвижных опор. Значение величины Z принимают равной $40 \div 50$ мм для односторонних и 100 мм – для двухсторонних компенсаторов.

$$\alpha_{расч} = \alpha_{max} - Z$$

t - расчетная температура теплоносителя в °С;

$t_{н.о.}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления в °С;

α - коэффициент линейного расширения трубной стали в мм/м °С (Приложение 7).

Пример

Исходные данные:

Диаметр трубы - 300 мм

Расчетная температура теплоносителя 150 °С

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления - 26 °С

Решение

$$\alpha_{max} = 300 \text{ мм} \text{ (Прил.6)}$$

$$Z=30 \text{ мм}$$

$$\alpha=1.25 \cdot 10^{-2} \text{ мм/м}^\circ\text{C} \text{ (Прил. 7)}$$

$$L = \frac{300 - 30}{1.25 \cdot 10^{-2} \cdot (150 + 26)} = 122.7, \text{ м.}$$

Определение расстояний между подвижными опорами

Максимальный пролет между подвижными опорами на прямом участке трубопровода из условия прочности трубы определяют по формуле:

$$l_{max} = \sqrt{\frac{12 \cdot \sigma_9^D \cdot W^p \cdot \varphi_1}{0.8 \cdot q_9}}, \text{ м}$$

σ_9^D - допустимое эквивалентное напряжение для весовой и ветровой нагрузок, кгс/мм²;

$$\sigma_9^D = \eta_1 \cdot \sigma_{дон}$$

η_1 - коэффициент зависящий от типа компенсаторов (Прил. 8)

$\sigma_{дон}$ - допустимое напряжение от внутреннего давления, кгс/мм² (Прил. 9)

W^p - момент сопротивления поперечного сечения трубы при расчетной толщине стенки трубы, см³ (Приложение 9)

0.8 - коэффициент пластичности

q_9 - эквивалентная весовая нагрузка, кгс/м.

Эквивалентную весовую нагрузку при подземной прокладке трубопроводов принимаем равной расчетному весу трубопровода в рабочем или холодном состоянии ($q_9 = q$, кгс/м). q - вес 1м трубопровода: вес трубы $q_{тр}$, воды $q_{в}$ (Приложение 10), изоляционной конструкции $q_{из}$.

Пролет между подвижными опорами при сальниковых компенсаторах определяют расчетом по растягивающим и по сжимающим напряжениям. Коэффициент $\varphi_1=1$.

Решение

$$\sigma_s^D = 1.095 \cdot 11.2 = 12.3 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\eta_1 = 1.095$$

$$\sigma_{дон} = 11.2$$

$$W^p = 616 \text{ см}^3$$

$$q_{тр} = 62.54 \text{ кгс}$$

$$q_B = 74.99 \text{ кгс}$$

$$q_{из} = 29 \text{ кгс}$$

$$q_s = q = 62.54 + 74.99 + 29 = 166.5 \text{ кгс}$$

а) расчет по сжимающим напряжениям

$$\varphi_1 = 1$$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{12 \cdot 12.3 \cdot 616 \cdot 1}{0.8 \cdot 166.5}} = 26.1, \text{ м}$$

б) расчет по растягивающим напряжениям

$$\varphi_1 = 0.95$$

$$l_{\max} = \sqrt{\frac{12 \cdot 12.3 \cdot 616 \cdot 0.95}{0.8 \cdot 166.5}} = 25.4, \text{ м}$$

за расчетный принимаем пролет с $l_{\max} = 25.4 \text{ м}$.

Выбор габаритов П-образного компенсатора.

Величина теплового удлинения трубопровода определяют по формуле, мм

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot (t_1 - t_2),$$

где α – коэффициент линейного расширения углеродистых трубных сталей, мм/м·°C (табл. 1);

l – длина рассматриваемого участка трубопровода, м;

t_1 – максимальная температура стенки трубы, принимаемая равной максимальной температуре теплоносителя, °C;

t_2 – минимальная температура стенки трубы, принимаемая расчетной температуре наружного воздуха для отопления, $^{\circ}\text{C}$, ($t_2 = t_0$).

Таблица 1– Коэффициенты линейного расширения трубных сталей α и модуль упругости E

Температура стенки трубы, $^{\circ}\text{C}$	$\alpha \cdot 10^{-2}$, мм / м $^{\circ}\text{C}$	$E \cdot 10^{-6}$, $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$	Температура стенки трубы, $^{\circ}\text{C}$	$\alpha \cdot 10^{-2}$, мм / м $^{\circ}\text{C}$	$E \cdot 10^{-6}$, $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$
20	1,18	2,05	150	1,25	1,93
75	1,20	1,99	175	1,27	1,915
100	1,22	1,975	200	1,28	1,875
125	1,24	1,95	225	1,30	1,847

При определении расчетного теплового удлинения компенсатора учитывают его предварительную растяжку в размере 50% от полного теплового удлинения компенсируемого участка трубопровода. Конструктивно можно принять компенсатор, у которого отношение прямых участков для спинки и вылета равно 0,5.

Пример

Определить вылет П-образного компенсатора с гнутыми гладкими отводами и силу упругой деформации при следующих данных:

$D_y = 200$ мм,

Расстояние между неподвижными опорами = 100м,

Максимальная температура теплоносителя = 150 $^{\circ}\text{C}$,

Расчётная температура наружного воздуха = - 20 $^{\circ}\text{C}$

Тепловое удлинение определяем по формуле (3.1)

$$\Delta l = 1,25 \cdot 10^{-2} \cdot 100 \cdot (150 + 20) = 212,5 \text{ мм.}$$

Расчётное тепловое удлинение с учётом предварительной растяжки в размере 50% составит

$$\Delta l_{\text{расч}} = 0,5 \cdot 212,5 = 106 \text{ мм.}$$

При спинке компенсатора, равной половине вылета компенсатора, т.е. при

$l_3 = 0,5 l_2$ и $\Delta l_{\text{расч}} = 106$ мм, по номограмме находим вылет компенсатора $H=3,7$ м (значит, $B=1,85$ м) и силу упругой деформации $P_k = 0,63$ т·с.

Определение установочной и монтажной длины сальникового компенсатора.

Расчетную компенсирующую способность сальниковых компенсаторов принимают меньше указанной в табл. 2 на величину Z , которая учитывает возможное смещение неподвижных опор и неточность изготовления. Значение величины Z принимают равной $40 \div 50$ мм для односторонних и 100 мм – для двухсторонних компенсаторов.

При определении габаритов камер в случае неполного использования компенсирующей способности компенсатора установочную его длину $L_{\text{уст}}$ находят по формуле

$$L_{\text{уст}} = A - Z - (L_{\text{расч}} - \Delta l),$$

где $L_{\text{расч}}$ – расчетная компенсирующая способность компенсатора, мм.

Монтажная длина сальникового компенсатора L_m определяется с учетом температуры наружного воздуха при монтаже трубопроводов по формуле

$$L_m = L_{\text{уст}} - 0,0125(t_m - t_o)l,$$

где t_m – температура наружного воздуха, при которой производится монтаж трубопровода, °С.

Таблица 2 – Основные характеристики сальниковых компенсаторов

D_y , мм	D_H , мм	Наружный диаметр расточки стакана $D_{сн}$, мм	Площадь сечения стакана $F_{сн}$, см ²	Длина сальниковой набивки, l_c , мм	Наружный диаметр корпуса $D_{кн}$, мм	Длина компенсатора $\backslash A$, мм	Наибольшая компенсирующая способность l_k , мм	Масса, кг
100	108	104	85	65	133	820/1620	250/2 x 250	20,5/41,6
125	133	128	129	65	159	863/1620		25,4/49,9

150	159	154	186	75	194	990/1900		43,8/86,4
200	219	212	353	120	273	1160/2160		92/177
250	273	265	552	120	325	1210/2160	300/2 x 300	125,9/243
300	325	318	794	120	377	1170/2160		158/305
350	377	370	1075	120	426	1175/2160		167/318
400	426	418	1372	120	478	1360/2560	400/2 x 400	212/405

Примечание. В числителе указаны размеры для одностороннего компенсатора, в знаменателе – для двустороннего.

Пример.

Определить тепловое удлинение участка трубопровода, установочную и монтажную длину одностороннего сальникового компенсатора. Для участка между неподвижными опорами $l = 80$ м, $D_y = 400$ мм, максимальная температура теплоносителя $\tau = 150^\circ\text{C}$, $t_o = -21^\circ\text{C}$, $t_m = +10^\circ\text{C}$.

По табл. 2 находим максимальную длину компенсатора $A = 1360$ мм и наибольшую его компенсирующую способность $l_k = 400$ мм.

Определяем тепловое удлинение участка по формуле (3.1)

$$\Delta l = 1,25 \cdot 10^{-2} \cdot (150 + 21) \cdot 80 = 170 \text{ мм}$$

Расчетная компенсирующая способность компенсатора

$$L_{\text{расч}} = 400 - 40 = 360 \text{ мм.}$$

Установочная длина компенсатора по формуле (3.2)

$$L_{\text{уac}} = 1360 - 40 - (360 - 170) = 1130 \text{ мм}$$

Монтажная длина компенсатора по формуле (3.3)

$$L_m = 1130 - 0,0125 \cdot (10 + 21) \cdot 80 = 1100 \text{ мм}$$

Проверка возможности использования для самокомпенсации угла поворота трассы.

Пример: Проверить возможность использования для самокомпенсации

Г-образного участка трубопровода при следующих данных:

наружный диаметр D_n , см 32,5;

толщина стенки трубы s , мм 8;
 угол поворота, град 120;
 длина большого плеча l_b , м 30
 длина меньшего плеча l_m , м 15;
 максимальная температура теплоносителя, °C 150;
 расчетная температура наружного воздуха t_o , °C -30.

Решаем задачу по формулам (табл. 3) для схемы 2 (рис.1): расчетный угол

$\beta = 120 - 90 = 30^\circ$; соотношение плеч $n = \frac{30}{15} = 2$; расчетная разность температур $\Delta t = 150 - (-30) = 180^\circ\text{C}$. По номограммам (рис. 2 и 3) определяем значение вспомогательных коэффициентов при $n = 2$, $\beta = 30^\circ$,

$C = 6,4$; $A = 21$; $B = 20$.

Определяем значение вспомогательных величин для

$D_n = 32,5\text{ см}$ и $s = 8\text{ мм}$ по таблице 4

$$\frac{\alpha \cdot E \cdot I}{10^7} = 24 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2 / ^\circ\text{C}; \frac{\alpha \cdot E \cdot D_n}{10^7} = 0,078 \text{ кгс} \cdot \text{м} / \text{мм}^\circ\text{C}.$$

Продольно изгибающее компенсационное напряжение в заделке меньшего плеча

$$\sigma_a = 6,4 \cdot 0,078 \cdot \frac{180}{15} = 5,98 \text{ кгс} / \text{мм}^2.$$

Полученное значение σ_a не превышает заданного предела $8 \text{ кгс} / \text{мм}^2$, следовательно, размеры плеч достаточны.

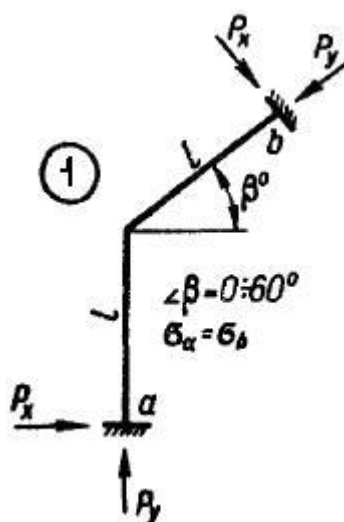
Силы упругой деформации в заделке меньшего плеча составляют

$$p_x = 21 \cdot 24 \cdot \frac{180}{15^2} = 405 \text{ кгс}; p_y = 20 \cdot 24 \cdot \frac{180}{15^2} = 385 \text{ кгс}.$$

Таблица 3 Формулы для определения сил упругой деформации p_x и p_y , кгс, и изгибающих компенсационных напряжений σ , кгс/мм²

Схема расчетного участка	Расчетные формулы
1	$p_x = A \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l^2} ; p_y = B \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l^2} ; \sigma_a = C \frac{\alpha \cdot E \cdot D_H \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l} .$
2	$p_x^1 = A^1 \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2} ; p_y^1 = B^1 \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2} ; p_x = A \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2} ;$ $p_y = B \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2} ; \sigma_a = C \frac{\alpha \cdot E \cdot D_H \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l_M} .$
3	$p_x = A \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l^2} ; p_y = B \frac{\alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l^2} ; \sigma_a = C_a \frac{\alpha \cdot E \cdot D_H \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l} ;$ $\sigma_c = C_c \frac{\alpha \cdot E \cdot D_H \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l} ; \sigma_d = C_d \frac{\alpha \cdot E \cdot D_H \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l} ;$ $\sigma_b = C_b \frac{\alpha \cdot E \cdot D_H \cdot \Delta t}{10^7 \cdot l} .$

Примечание. Индексами а, b, с и d обозначены точки на схеме, для которых определяются изгибающие компенсационные напряжения σ и коэффициенты А, В, С. R – радиус оси гнутой трубы.



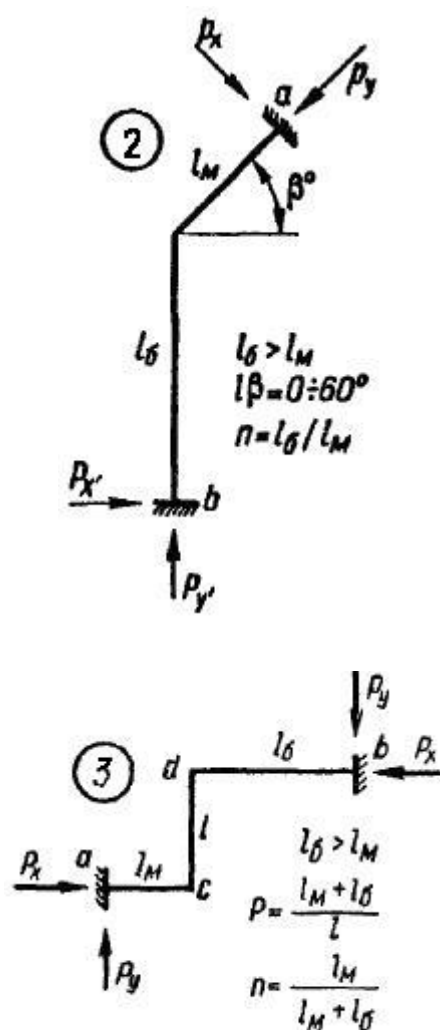


Рис. 1. Схемы 1, 2, 3 расчётных участков трубопроводов

Таблица 4 Вспомогательные величины для нахождения p_x p_y и σ

D_H , см	s , мм	R , м	$\frac{\alpha \cdot E \cdot I}{10^7}$, кгс·м ² /°С	$\frac{\alpha \cdot E \cdot D}{10^7}$, кгс·м/мм·°С	$\frac{\alpha \cdot E \cdot I}{10^7 \cdot R^2}$, кгс /°С	$\frac{\alpha \cdot E \cdot D_H}{10^7 \cdot R}$, кгс /мм·°С
3,2	2,5	0,15	0,0061	0,00768	0,271	0,0512
3,8	2,5	0,15	0,0106	0,00912	0,46	0,0608
4,5	2,5	0,2	0,0181	0,0108	0,454	0,054
5,7	3,5	0,2	0,0506	0,0137	1,27	0,0685
7,6	3,5	0,35	0,126	0,0182	1,03	0,0521
8,9	3,5	0,35	0,206	0,0214	1,69	0,0611
10,8	4	0,5	0,425	0,0259	1,7	0,0518
13,3	4	0,5	0,809	0,0319	3,24	0,0633

15,9	4,5	0,6	1.56	0,0382	4,35	0,0636
19,4	5	0,7	3.18	0,0466	6,5	0,0665
21,9	6	0,85	5.47	0,0526	7,57	0,0618
27,3	7	1	12,4	0,0655	12,4	0,0655
32,5	8	1,2	24,0	0,078	16,7	0,065
37,7	9	1,5	42,3	0,0905	18,8	0,0604
42,6	9	1,7	61,6	0.102	21,3	0,0601

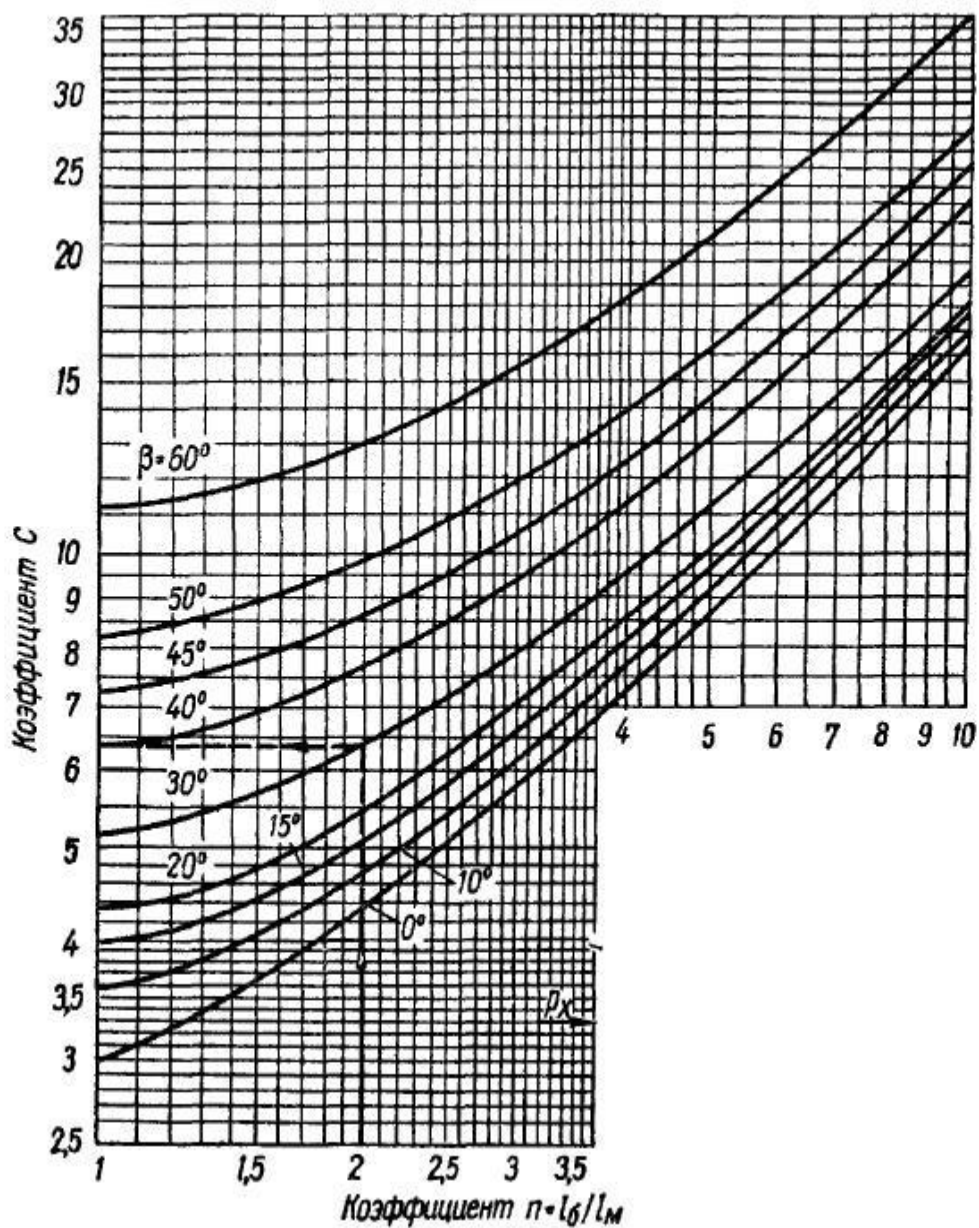


Рис. 2. Номограмма для определения коэффициента C в расчёте Г-образного участка трубопровода с углом поворота больше 90° без учета гибкости отвода

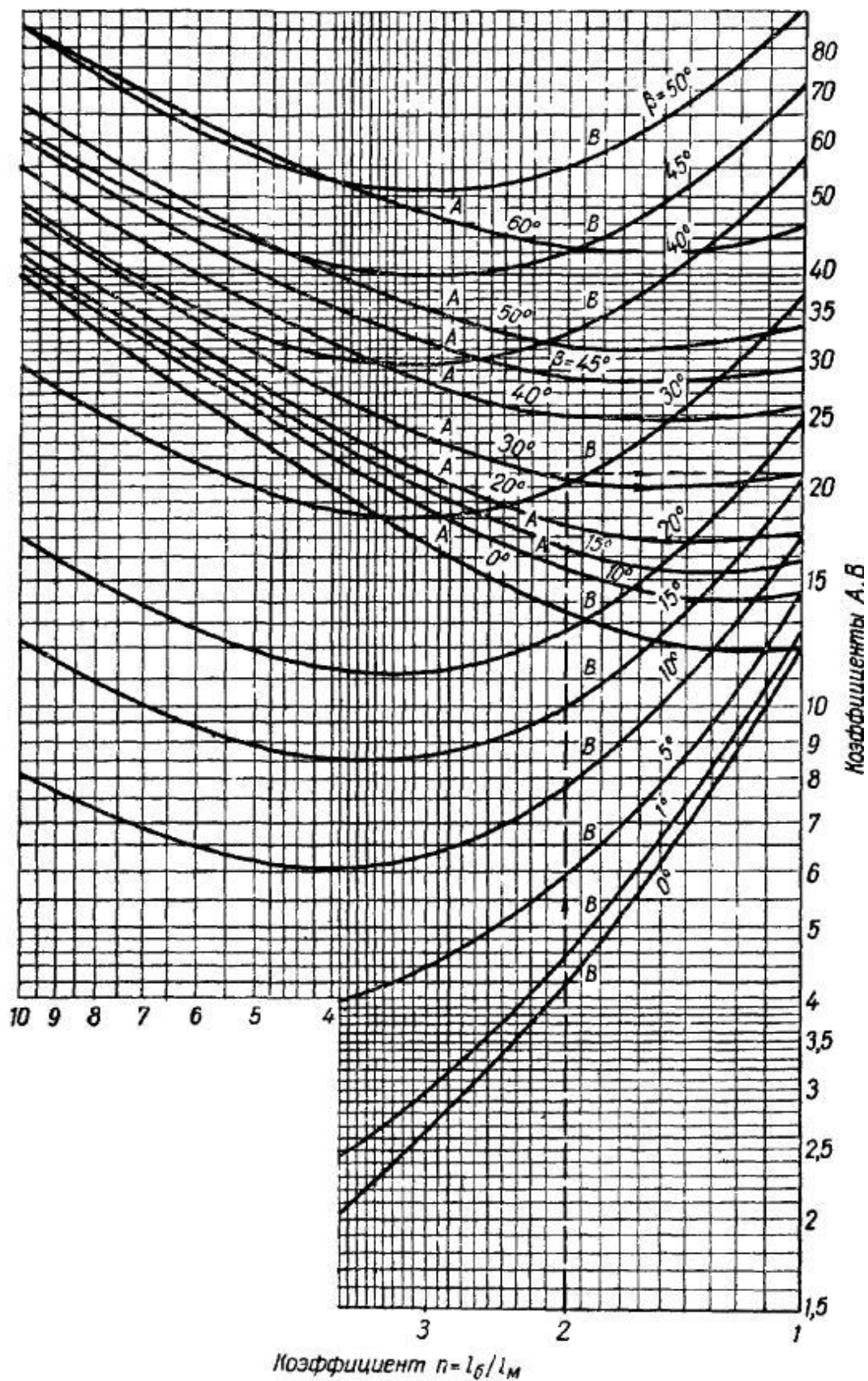


Рис. 3. Номограмма для определения коэффициентов A и B при определении упругой деформации в заделке меньшего плеча

Определение усилий на опоры

А. Определение усилий на опоры в тепловых сетях со стальными трубопроводами

1) Определение горизонтальной осевой нагрузки на неподвижную опору при установке сальниковых и П-образных компенсаторов.

На плане тепловой сети выбрать неподвижную опору и вычертить одну из схем расчетного участка (схемы приведены в таблице 5). Расчетные длины (L_1 и L_2) выбираются в зависимости от конфигурации участка.

Усилия, воспринимаемые неподвижными опорами, складываются из неуравновешенных сил внутреннего давления, сил трения в сальниковых компенсаторах и в подвижных опорах, а также сил упругой деформации

П-образных компенсаторов и участков самокомпенсации. При определении усилий на неподвижные опоры учитывается схема участка трубопровода, тип подвижных опор и компенсирующих устройств, расстояние между неподвижными опорами и наличие запорной арматуры и ответвлений.

Коэффициент трения для скользящих опор $\mu = 0,3$, для катковых $\mu = 0,1$.

В таблице 5 приведены наиболее характерные схемы расчетных участков трубопроводов и расчетные формулы. Неравномерность затяжки сальников компенсаторов и работы подвижных опор учитывается коэффициентом 0,3.

Силы трения в сальниковых компенсаторах определяют по формулам, т.с

- от затяжки болтов

$$P_c = \frac{400n}{f_n} \cdot \pi \cdot D_{с.н} \cdot b \cdot \mu \cdot 10^{-3} ;$$

- от внутреннего давления

$$P_c = 2 \cdot p \cdot \pi \cdot D_{с.н} \cdot b \cdot \mu \cdot 10^{-3} ,$$

где n — число болтов, шт.;

f_n — площадь кольца набивки, см^2 ;

$$\frac{400n}{f_n}$$

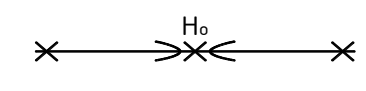
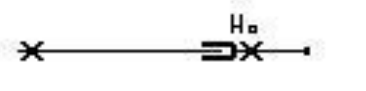
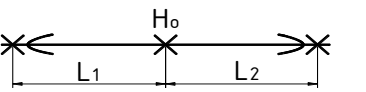
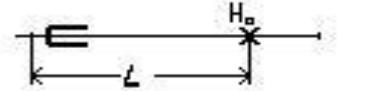
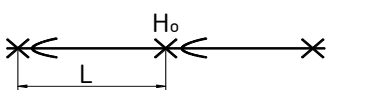
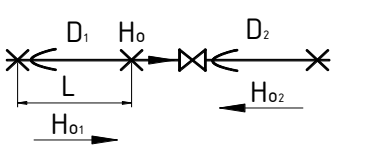
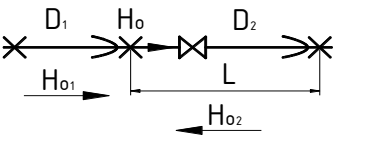
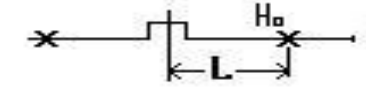
f_n – принимается не менее 10 кгс/см²;

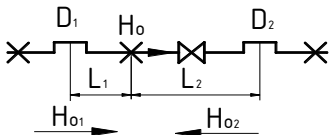
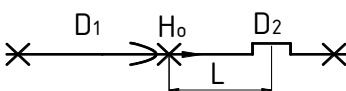
b – длина набивки по оси компенсатора, см;

D_c – наружный диаметр стакана компенсатора, см;

μ – коэффициент трения набивки (принять равным 0,15);

Таблица 5 – Расчетные формулы для определения осевых и боковых сил на неподвижные опоры трубопроводов (от одной трубы)

Номер схемы	Схема расчетного участка трубопроводов	Расчетные формулы
1		$H_0 = 0,3p_c$
2		$H_0 = p_c + p F_{CH}$
3		При $L_1 > L_2$ $H_0 = 0,3p_c + q\mu(L_1 - 0,7L_2)$
4		$H_0 = p_c + p F_{CH} + q\mu L$
5		$H_0 = 0,3p_c + q\mu L$
6		При $D_1 > D_2$ $H_{01} = p_{c1} + q_1\mu L + pF_{CH1}$ При $D_1 < D_2$ $H_{02} = p_{c2} + pF_{CH2}$
7		При $D_1 > D_2$ $H_{01} = p_{c1} + pF_{CH1}$ При $D_2 < D_2$ $H_{02} = p_{c2} + q_2\mu L_2 + pF_{CH2}$
8		$H_0 = p_k + q\mu L$

9		При $D_1 > D_2$ $H_{01} = p_{K1} + q_1 \mu L_1$ При $D_1 < D_2$ $H_{02} = p_{K2} + q_1 \mu L_2$
10		При нагревании $D_1 > D_2$ $H_0 = p_c + p F_{CH} - p_K - 0,7 q_2 \mu L$ При охлаждении $D_1 = D_2$ $H_0 = q_2 \mu L + p F_{CH} + p_K - 0,7 p_c$

Примечание. В формулах приняты следующие обозначения:

H_0 – суммарная осевая сила на неподвижную опору, т;

p_c – сила трения в сальниковом компенсаторе, т·с;

q – вес 1 м трубопровода, кгс;

p_K – сила упругой деформации П-образных компенсаторов, т·с;

L_1, L_2 – длина трубопровода по обе стороны неподвижной опоры, м;

F_{CH} – площадь сечения стакана компенсатора, см².

Для расчетов принимается большее значение p_c , получающееся от затяжки болтов или от внутреннего давления. Силу трения в сальниковом компенсаторе допускается принимать по номограмме на рисунке 4.

Пример. Определить усилие на неподвижную опору участка трубопровода, изображенного на схеме 10 таблицы 5.

Диаметр условного прохода трубопровода на участке с сальниковым компенсатором $D_y = 400$ мм; на участке с П-образным компенсатором $D_y = 300$ мм, длина участка $L = 50$ м, рабочее давление теплоносителя $p = 10$ кгс/см², $t_o = -30^\circ\text{C}$. p_c определяем по номограмме на рисунке 4.

При $D_y = 400$ мм и $p = 10$ кгс/см², $p_c = 4,5$ т.

Силу упругой деформации П-образного компенсатора $D_y = 300$ м принимаем $p_K = 1,6$ т.

Вес 1 м трубы с водой (по таблице 6) $q_{тр} = 137,5$, вес изоляционной конструкции $q_{щ} = 17$ кгс, общий вес $q_2 = 155$ кгс.

Таблица 6 – Условный проход штуцера и запорной арматуры для выпуска воздуха

D_y , мм	25-80	100-150	200-300	350-400	500-700	800-1200
Условный проход штуцера, мм	15	20	25	32	40	50

Коэффициент трения $\mu = 0,3$; сечение стакана сальникового компенсатора (табл. 2) $F_{сн} = 1372 \text{ см}^2$.

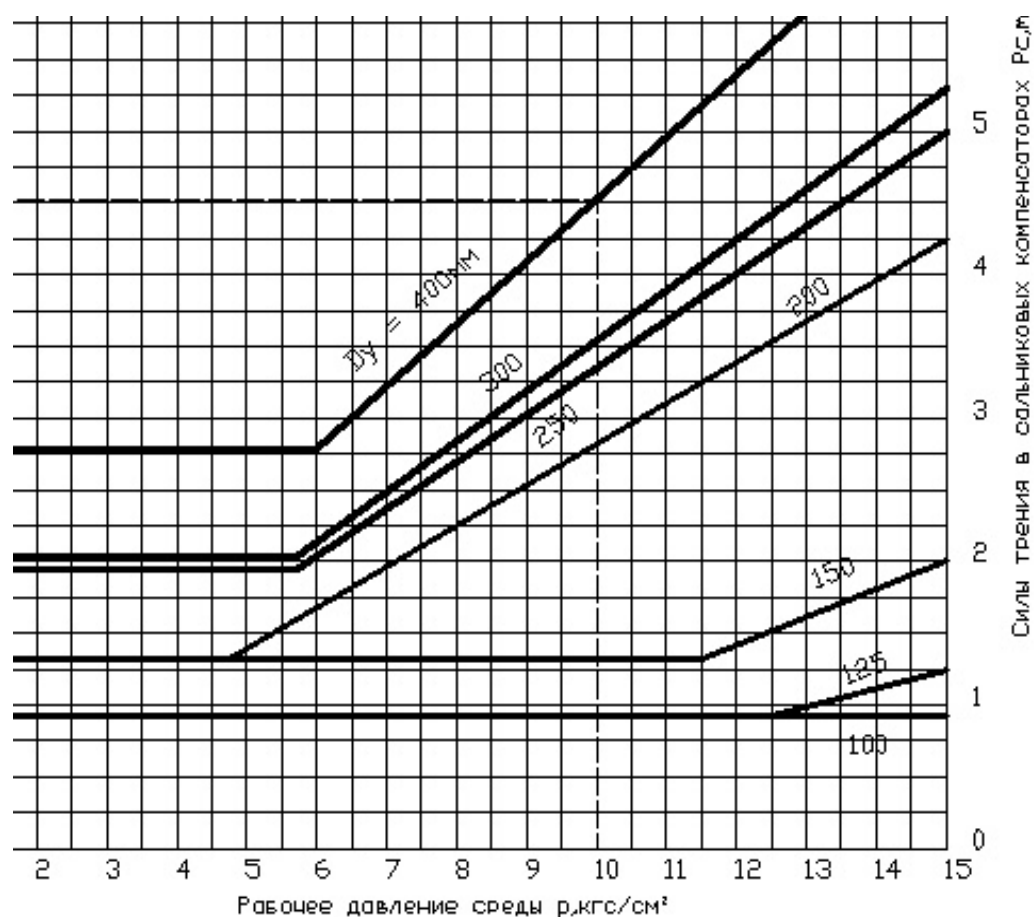


Рис. 4. Номограмма для определения сил трения в сальниковом компенсаторе для $D_y < 400$ мм.

Для $D_y > 400$ мм значения P_c .

Осевое усилие на неподвижную опору трубопровода определяем по формуле

- при нагревании

$$H_0 = p_c + pF_{CH} - p_K - 0,7q_2 \mu L = 4,5 + 10 \cdot 1372 \cdot 10^{-3} - 1,6 - 0,7 \cdot 155 \cdot 0,3 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 15 \text{ т};$$

- при охлаждении

$$H_0 = q_2 \mu L + pF_{CH} + p_K - 0,7p_c = 155 \cdot 0,3 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 1372 \cdot 10^{-3} + 1,6 - 0,7 \cdot 4,5 = 14,5 \text{ т}.$$

По величине горизонтальной осевой нагрузки на опору подбирают тип и конструкцию неподвижной опоры.

2) Расчёт усилий на опоры при установке сильфонных компенсаторов .

При определении нормативных нагрузок на опоры следует учитывать влияние следующих сил: распорного усилия сильфонных компенсаторов, P_p ; жёсткости сильфонных компенсаторов, $P_{ж}$; усилия от трения в опорах на участках канальных и надземных прокладок, или трения теплопровода о грунт на участках бесканальной прокладки, $P_{тр}$. Кроме того, следует учитывать в конкретных расчётных схемах теплопроводов неуравновешенные силы внутреннего давления, P_H ; упругую деформацию гибких компенсаторов или самокомпенсации, P_x, P_y ; ветровую нагрузку при надземной прокладке, $P_{ветер}$.

- Распорное усилие от внутреннего давления, H , определяется по формуле

$$P_p = 1,25P \cdot S_{эф},$$

где P – рабочее давление среды, 10 кгс/см^2 ;

$S_{эф}$ – эффективная площадь поперечного сечения сильфонного компенсатора, см^2 , (Приложение 11).

Пример: Определить P_p . Условный диаметр трубопровода, на котором установлен сильфонный компенсатор, 150мм. $S_{эф} = 279 \text{ см}^2$.

$$P_p = 1,25 \cdot 10 \cdot 279 = 3487,5 \text{ кгс} = 34875 \text{ Н}$$

- Усилие, возникающее вследствие жёсткости осевого хода компенсаторов, H , определяется по формуле

$$P_{ж} = C_{\lambda} \cdot \lambda_{-1},$$

где C_{λ} – жёсткость осевого хода, Н/см , (Приложение 11);

λ_{-1} – амплитуда осевого хода, мм , (Приложение 11).

Пример: Определить $R_{\text{ж}}$. Условный диаметр трубопровода, на котором установлен сильфонный компенсатор, 150 мм. $C_{\lambda} = 218$ кгс/см, $\lambda_{-1} = 50$ мм.

$$R_{\text{ж}} = 218 \cdot 50 \cdot 10^{-1} = 1090 \text{ кгс} = 10900 \text{ Н}$$

● Усилия от трения в опорах на участках канальных и надземных прокладок или трения теплопровода о грунт на участках бесканальной прокладки, $R_{\text{тр}}$, определяются по формуле

$$R_{\text{тр}} = \mu \cdot (0,75 \cdot \gamma \cdot Z \cdot \pi \cdot D \cdot 10^{-3} + q_{\text{трубы}}) \cdot L$$

где μ - коэффициент трения: при ППУ-изоляции – 0,40; при ППМ-изоляции – 0,38; при АПБ-изоляции – 0,60;

γ - удельный вес грунта, кг/м³;

Z – глубина засыпки по отношению к оси трубы (по профилю), м;

D – наружный диаметр трубопровода с учётом изоляции, мм;

$q_{\text{трубы}}$ – вес 1 м теплопровода с водой, кг/м, (табл. 6);

L – максимальная длина участка, на которой устанавливается сильфонный компенсатор, м.

Пример: Определить $R_{\text{тр}}$ между неподвижными опорами на участке бесканальной прокладки. $D_y = 150$ мм, $D = 250$ мм, $L_m = 54$ м. Грунт песчаный, $\gamma = 1600$ кг/м³, $Z = 1,0$ м.

$$R_{\text{тр}} = 0,4 (0,75 \cdot 1600 \cdot 1,0 \cdot 3,14 \cdot 250 \cdot 10^{-3} + 34,8) 54 = 21099,0 \text{ кгс} \approx 210990 \text{ Н}$$