ТОО «ШЫМГОРПРОЕКТ»

Государственная лицензия ГСЛ N19002756 от 21.01.2022г

Заказ: 18-2024

Заказчик:
Государственное учреждение "Отдел строительства Бурабайского района"

РАБОЧИЙ ПРОЕКТ

«Реконструкция тепловых сетей к №1, №3 котельной города Щучинск, Бурабайского района, Акмолинской области»

Расчет на компенсацию трубопроводов тепловых сетей

18-2024-ТС.расчет
Том 2
Альбом 1

Директор ТОО «ШЫМГОРПРОЕКТ» Карамурзаев Ж.

Главный инженер проекта Аманкелди П.

г.Шымкент - 2024 г.

Формат А4

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	23,3	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	36,45	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0374839	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,564	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,53	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	26,7	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

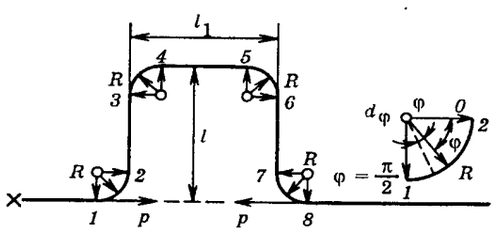


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

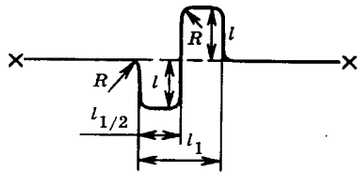


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

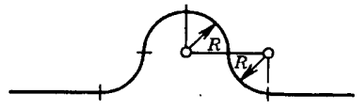


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

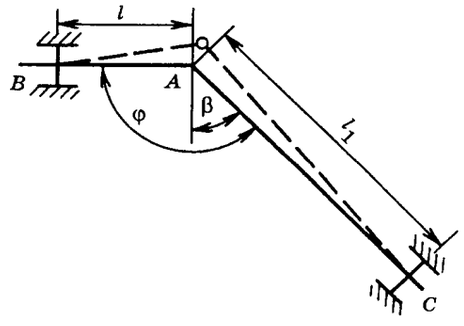


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

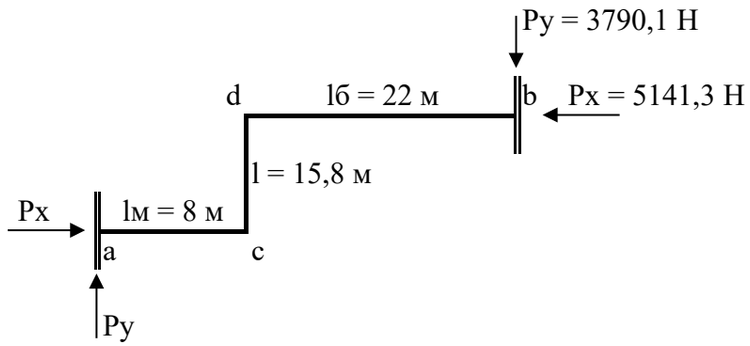
Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	63,63	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	1,325	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	7	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0982702	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,53	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,26	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,14	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,08	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	3,41	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	2404,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	40,06	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	3100,22	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	69,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	8	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	15,8	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	22	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,53	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	40,06	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,27	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	1,90	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	10,5	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	7,8	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-0,7	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-4,9	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-4,6	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	1,4	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	3,5	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	25,0	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	23,6	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

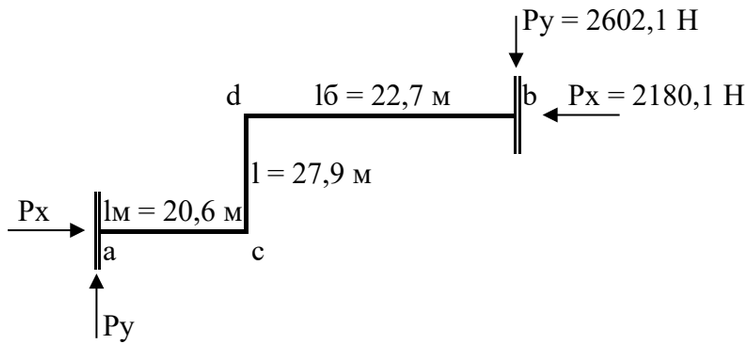
σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	7,2	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	5141,3	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	3790,1	сила упругой деформации



Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	20,6	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	27,9	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	22,7	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,53	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	40,06	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,48	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	1,55	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	13,9	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	16,6	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	5,5	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-6,4	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-6,8	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	6,4	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	15,8	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	18,4	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	19,6	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	18,4	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	2180,1	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	2602,1	сила упругой деформации



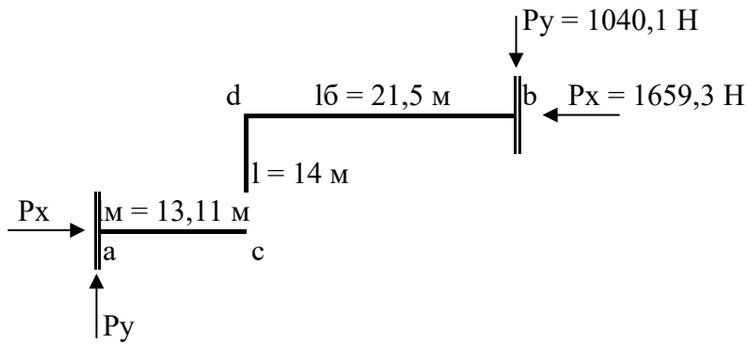
Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	84,7	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	6	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1308107	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	1655,6	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1347,58	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	71,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	13,11	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	14	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	21,5	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,38	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	2,47	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	11,9	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	7,4	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	1,6	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-4,9	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-5,4	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	3,3	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	5,6	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	17,4	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	19,0	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

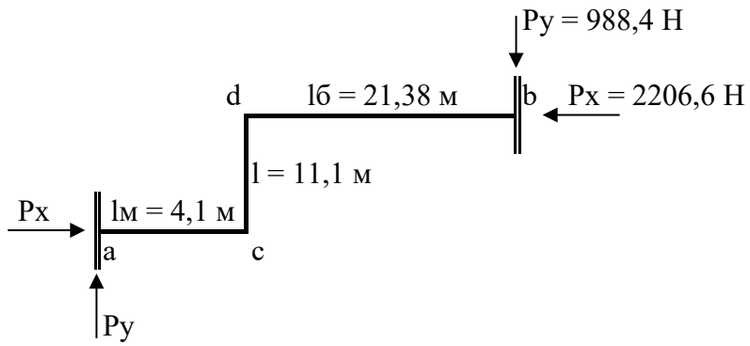
σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	11,7	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	1659,3	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	1040,1	сила упругой деформации



Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	4,1	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	11,1	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	21,38	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,16	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	2,30	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	9,9	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	4,4	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-3,2	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-3,5	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-4,9	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	0,2	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	14,5	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	15,7	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	21,8	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	0,9	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	2206,6	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	988,4	сила упругой деформации



Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	34,01	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,6825	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,052525	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,273	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,13	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,27	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,16	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,15	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	284,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	5,27	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1846,91	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	61,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	38,51	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,6825	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0594748	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,273	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,13	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,27	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,16	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,15	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	284,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	5,27	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2091,28	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	70,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	48,77	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,6825	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	7	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0753204	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,273	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,13	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,27	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,16	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,15	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	320,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	5,27	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2350,46	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	78,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	37,2	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0574517	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	236,60	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	61,7	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	4,0	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	11,5	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,006435	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	2,875	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	39,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

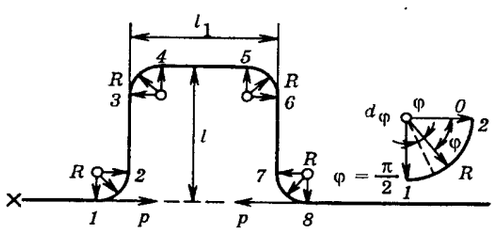


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

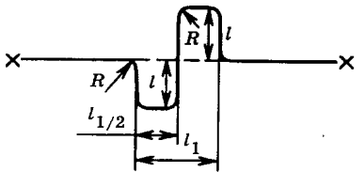


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

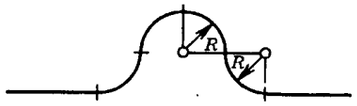


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

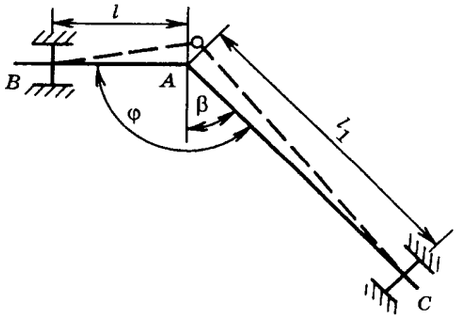


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	6,4	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	11,5	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,010296	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,797	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	17,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

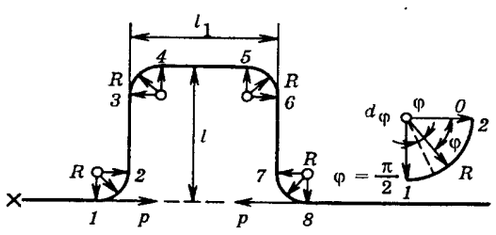


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

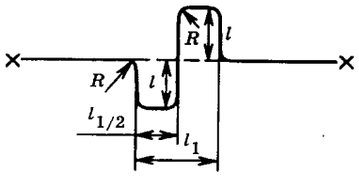


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

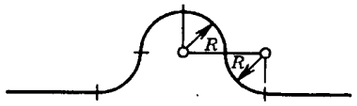


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

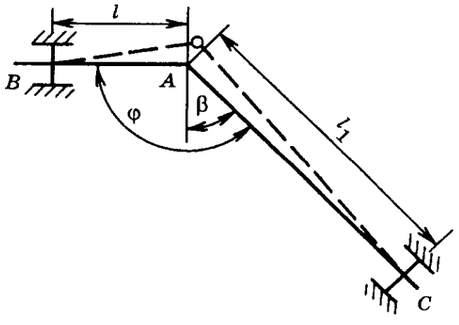


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	21,2	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,08	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	2	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	1,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0327413	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,032	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,01	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	1,14	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кармана: k = (1+12*h^2)/(10+12*h^2)	0,65	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	0,82	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	13,8	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,00	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	13,29	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	17,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	62,54	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1425	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0965868	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,03	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,59	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,36	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,28	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	39,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,02	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	86,90	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	67,1	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	64,88	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1425	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1002007	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,03	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,59	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,36	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,28	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	39,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,02	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	90,15	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	69,7	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	22,72	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1425	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0350888	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,03	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,59	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,36	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,28	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	39,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,02	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	31,57	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	24,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	30,9	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1425	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,047722	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,03	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,59	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,36	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,28	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	39,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,02	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	42,93	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	33,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	21,7	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0335135	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	46,1	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	64,33	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	33,1	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	58,37	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0901466	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	46,1	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	173,04	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	89,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	57,97	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0895289	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	152,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	51,98	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	40,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	62,74	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0968957	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	298,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	408,39	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	68,7	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	72,9	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1425	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1125868	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,03	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,59	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,36	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,28	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	39,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,02	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	101,29	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	78,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	66,81	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	7	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1031814	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	953,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1844,87	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	72,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	75,91	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	7	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1172354	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	1203,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1662,18	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	73,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	38,56	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0595521	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	355,8	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2855,04	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	38,93	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0601235	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	355,8	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2882,44	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	12,3	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	20	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0197876	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,626	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	31,7	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

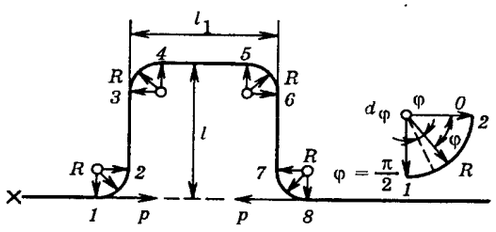


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

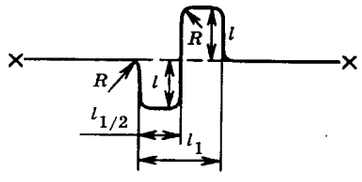


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

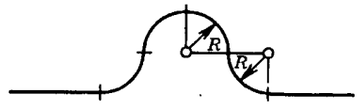


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

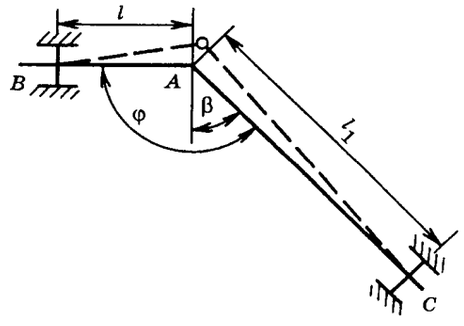


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	64,27	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0992586	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	872,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1939,41	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	76,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	66,25	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1023165	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	872,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1999,16	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	79,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	66,25	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1023165	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	872,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1999,16	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	79,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	14,2	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	26,2	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0228443	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,845	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	29,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

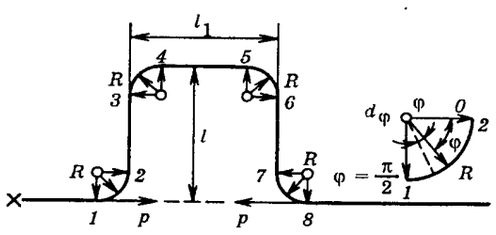


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

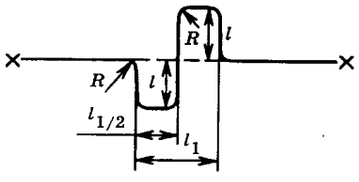


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

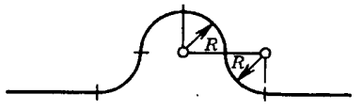


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

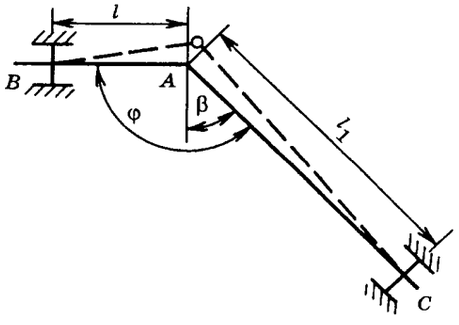


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	14,2	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	26,2	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0228443	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,845	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	29,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

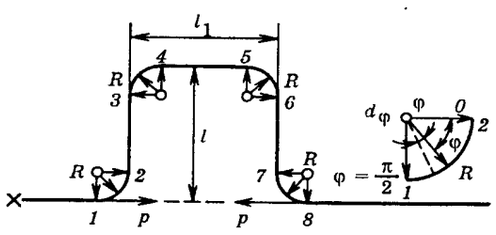


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

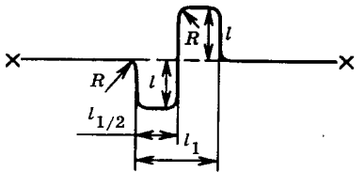


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

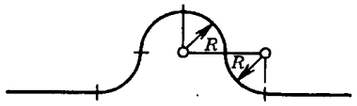


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

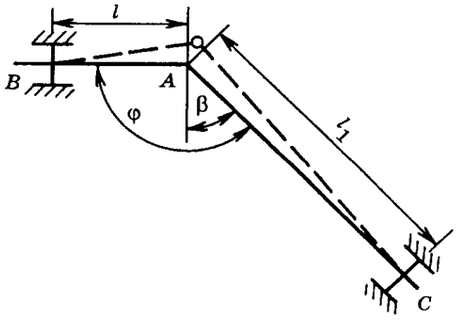


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,37	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0700694	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	176,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	500,72	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	72,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	37	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0571428	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	212,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	339,01	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	48,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	68,11	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1051891	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	150,7	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	130,17	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	50,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,54	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,070332	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	289,64	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

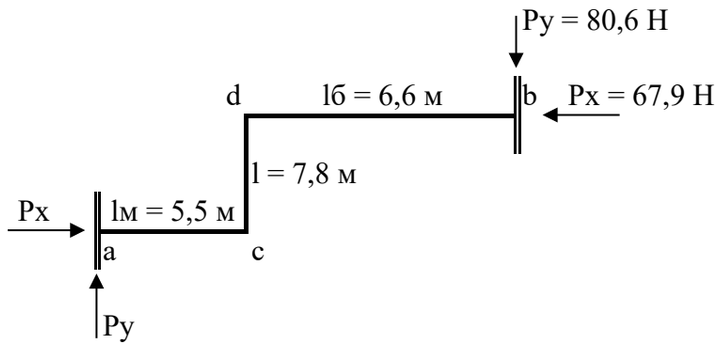
Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	26,52	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1425	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0409575	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,03	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,59	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,36	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,28	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	39,9	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,02	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	36,85	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	28,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	5,5	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	7,8	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	6,6	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,45	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	1,55	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	13,8	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	16,3	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	5,0	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-6,6	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-6,6	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	5,8	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	8,6	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	11,5	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	11,4	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	10,1	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	67,9	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	80,6	сила упругой деформации



Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	30,23	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	1,5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0466872	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,04	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,02	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,88	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,53	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	0,98	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	24,2	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	22,39	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	28,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	24,2	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	1,5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0373745	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	33,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	209,42	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	54,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	39,66	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0612509	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	252,25	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	65,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	74,29	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,5475	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	5,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1147335	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,219	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,006	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,11	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,29	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,06	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	830,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	2,32	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	607,16	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	64,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	66,24	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,5475	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	5,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1023011	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,219	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,006	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,11	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,29	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,06	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	830,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	2,32	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	541,37	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	57,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,03	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,5475	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0695443	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,219	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,006	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,11	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,29	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,06	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	245,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	2,32	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1245,05	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	72,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	44,25	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,5475	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	6	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0683397	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,219	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,006	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,11	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,29	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,06	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	263,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	2,32	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1139,89	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	66,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	30,16	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,5475	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0465791	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,219	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,006	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,11	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,29	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,06	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	209,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	2,32	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	977,22	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	56,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	37,07	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,1	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0572509	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,04	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,02	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,88	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,53	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	0,98	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	36,2	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	18,34	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	23,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,43	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0701621	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	288,94	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,44	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0701775	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	289,01	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,44	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0701775	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	289,01	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	44,8	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0691891	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	284,94	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	74,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,4	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0701158	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	288,75	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,46	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0702084	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	289,13	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,48	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0702393	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	45,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	289,26	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	61,49	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0949652	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	150,7	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	117,52	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	46,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	25,4	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0392278	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	71,1	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	694,05	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	66,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	34,44	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0531891	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	176,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	380,09	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	54,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	57,46	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,27	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0887412	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,108	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,05	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,40	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,24	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,66	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	166,7	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,18	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	181,65	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	54,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	11,9	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	17,8	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0191441	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,496	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	15,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

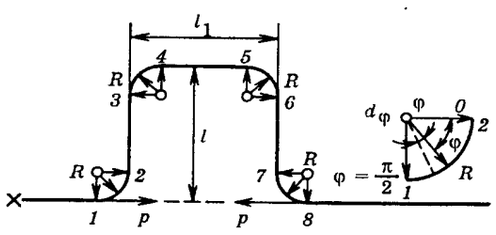


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

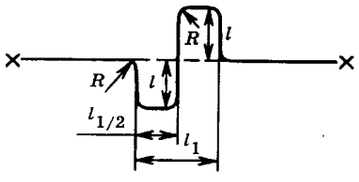


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

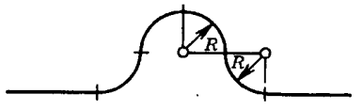


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

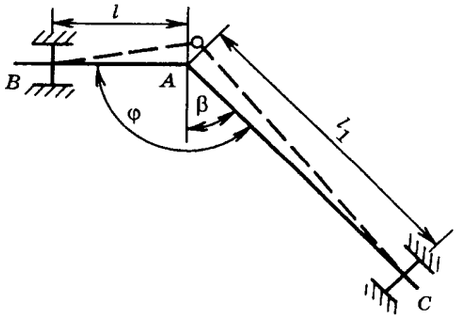


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	59,36	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0916756	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	212,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	543,89	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	78,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

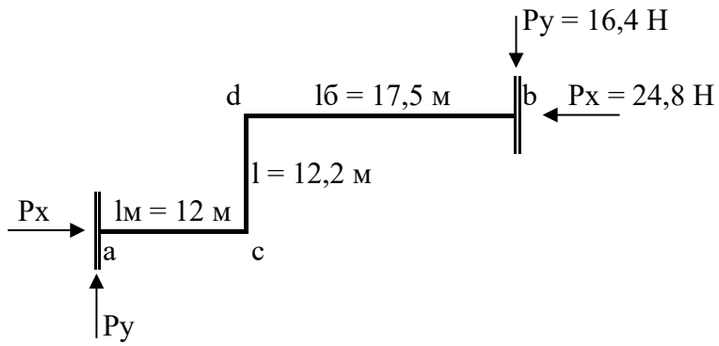
Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	24,9	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3325	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0384556	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,133	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,06	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,36	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,22	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,77	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	58,8	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,38	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	473,76	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	58,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	12	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	12,2	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	17,5	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,41	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	2,42	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	12,3	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	8,1	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	2,3	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-5,0	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-5,6	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	4,0	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	2,6	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	5,6	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	6,3	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	4,5	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	24,8	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	16,4	сила упругой деформации



Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	62,96	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,2225	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0972354	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,49	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,30	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,44	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	150,7	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,10	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	120,32	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	47,1	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	21,0	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	27,3	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0337998	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,299	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	4,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

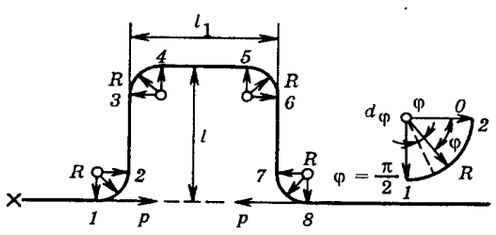


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

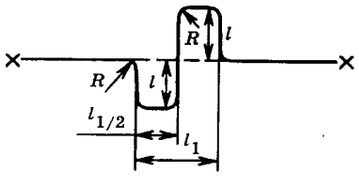


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

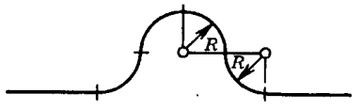


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

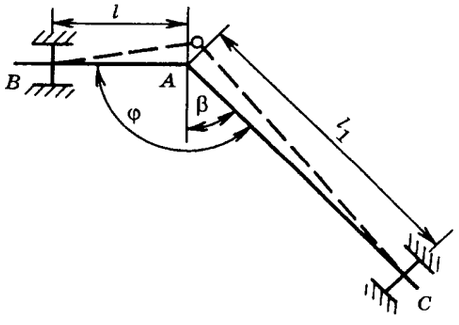


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	11,3	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	14,9	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0181789	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,319	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,089	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	8,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

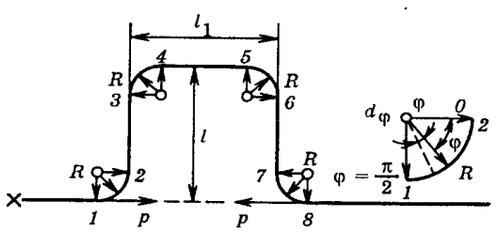


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

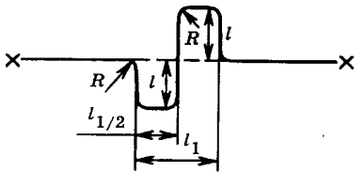


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

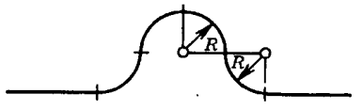


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

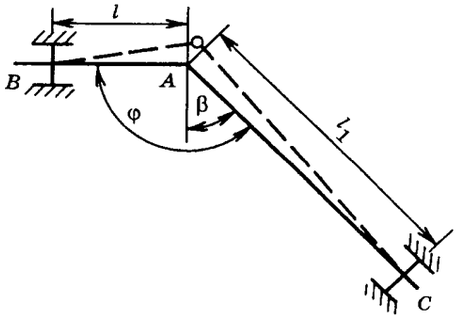


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	38,08	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0588108	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	46,1	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	112,89	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	58,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	46,18	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0713204	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	46,1	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	136,91	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	70,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	45,48	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	3	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0702393	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	46,1	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	134,83	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	69,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	9,5	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	18,33	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0152831	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,929	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,032	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	4,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

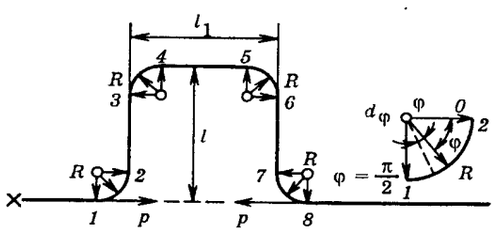


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

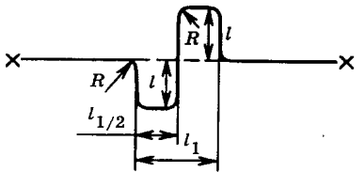


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

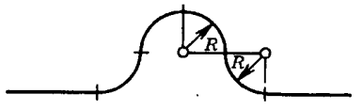


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

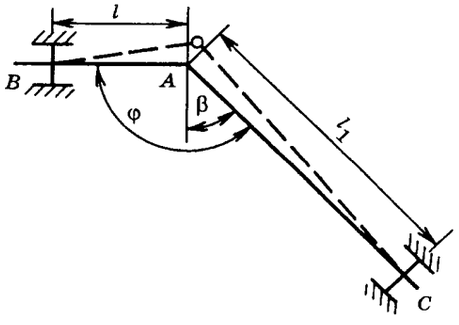


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	55,86	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0862702	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	672,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2188,42	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	76,8	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	42,15	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0650965	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	500,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2219,16	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	68,2	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	52,04	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0803706	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	672,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2038,76	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	71,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	7,3	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	18,7	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0117439	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	2,562	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	72,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

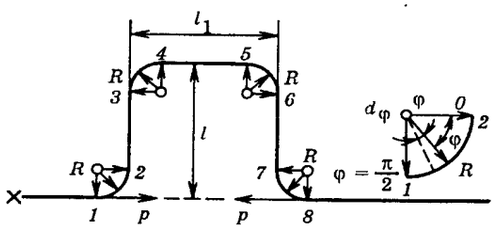


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

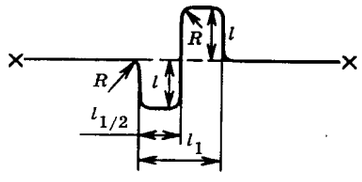


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

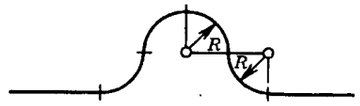


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

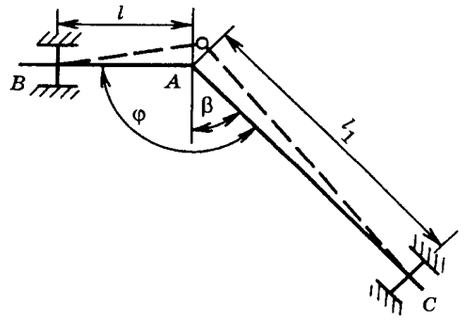


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	52,26	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0807103	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	672,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2047,38	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	71,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

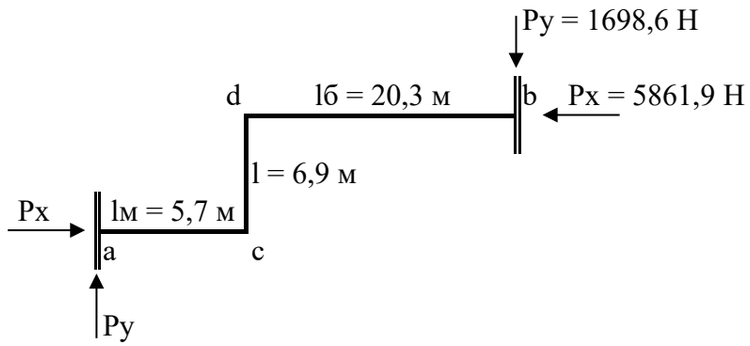
Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	42,05	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,064942	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	500,3	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2213,90	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	68,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	5,7	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	6,9	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	20,3	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,22	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	3,77	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	10,2	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	2,9	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-2,4	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-3,4	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-4,9	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	0,4	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	17,5	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	24,2	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	35,0	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча

σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	2,6	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	5861,9	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	1698,6	сила упругой деформации



Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	6,8	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	11,1	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0109395	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,632	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	57,5	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

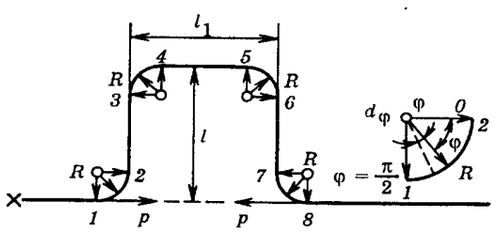


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

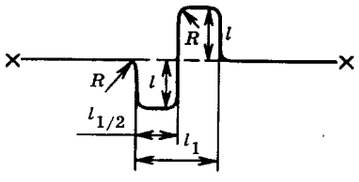


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

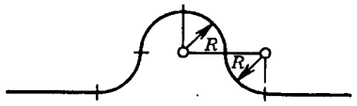


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

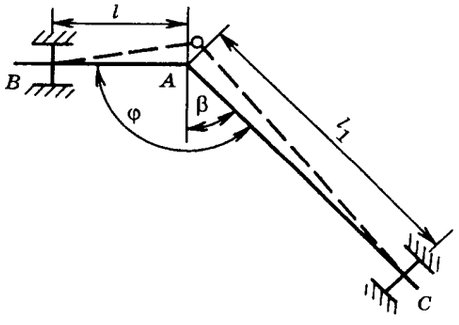


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	37,38	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0577297	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	355,8	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2767,67	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	72,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	59,7	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,8125	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	6	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	4	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0922007	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,325	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,007	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,16	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,22	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,14	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,43	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	704,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	9,01	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	2232,60	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	78,4	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	55,52	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,5475	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0857451	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,219	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,006	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,11	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,29	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,06	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	345,4	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	2,32	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	1091,04	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	74,1	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	71,77	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1108416	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	298,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	467,16	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	78,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	56,99	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,3975	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,0880154	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,0045	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,08	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,30	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,18	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	2,01	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	212,0	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,66	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	522,17	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	75,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	8,8	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	12,6	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,014157	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,432	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,159	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	20,1	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

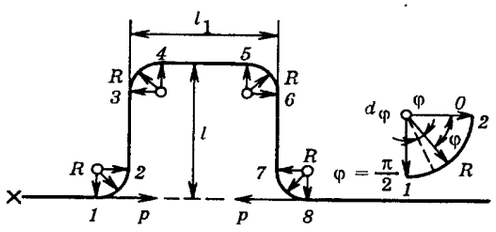


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

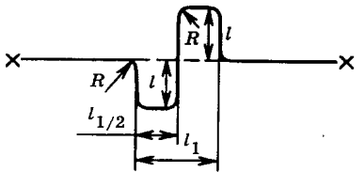


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

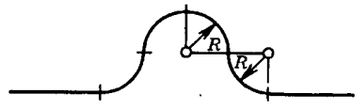


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

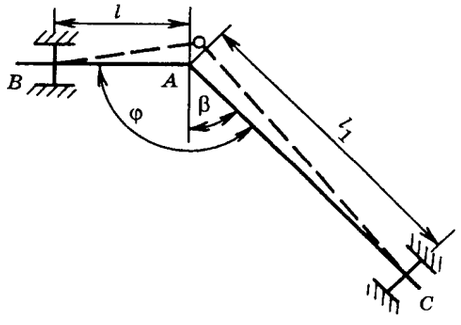


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	79,45	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,27	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	3	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1227026	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,108	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,004	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,05	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,40	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,24	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,66	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	166,7	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,18	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	251,17	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	74,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет П-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
L, м	исходные данные	88,34	расстояние между неподвижными опорами
R, м	исходные данные	0,19	радиус отвода
l_1, м	исходные данные	5	длина спинки компенсатора
l, м	исходные данные	2,5	вылет компенсатора
φ	без растяжки	1	коэфф., учитывающий предварительную растяжку
α, 1/K	исходные данные	0,000012	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times L \times \Delta t$	0,1364323	линейное удлинение компенсируемого участка
$d_н$, м	исходные данные	0,076	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
$r_{ср}$, м	$r_{ср} = (d_н - \delta)/2$	0,04	радиус изгиба оси трубы
h	$h = \delta \cdot R/r^2_{ср}$	0,43	геометрическая характеристика отвода
k	Формула Кларка и Рейснера: k = h/1,65	0,26	коэффициент жесткости гнутого гладкого отвода
m	m = 0,9/(h^⅔)	1,59	поправочный коэффициент напряжения
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A, $м^3$	$A = 2\cdot[\frac{1}{k}(3{,}14Rl^2-2{,}28R^2l+1{,}4R^3)+0{,}67l^3+l_1l^2-4Rl^2+2R^2l-1{,}33R^3$	101,5	расчетная величина
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05\cdot[d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4]\cdot 10^5$	0,05	центральный момент инерции сечения трубы
P, Н	$P = \Delta \cdot E \cdot I/A$	118,97	осевое усилие
σ, МПа	$\sigma = \Delta \cdot E \cdot d \cdot l \cdot m \cdot \varphi/A$	76,6	макс. изгибающее напряжение, возникающее в средней части спинки компенсатора
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое компенсационное напряжение

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	27,3	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	28,82	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0439671	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,055	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,057	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	2,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

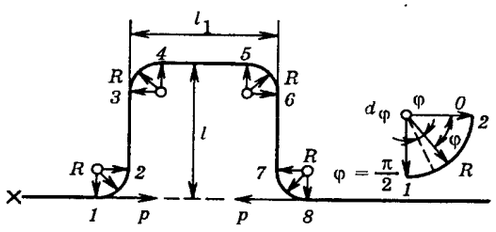


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

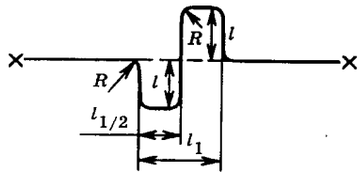


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

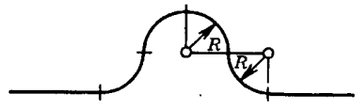


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

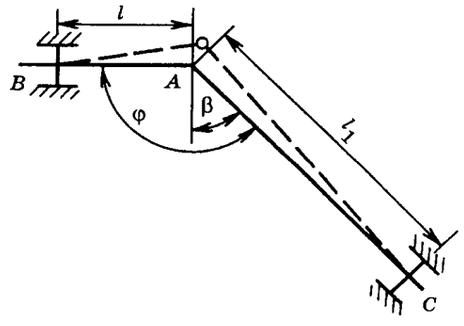


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^oC	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	26,8	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	45,37	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0431145	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,693	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, ^{o}	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, ^{o}	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,108	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1,5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	5,0	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

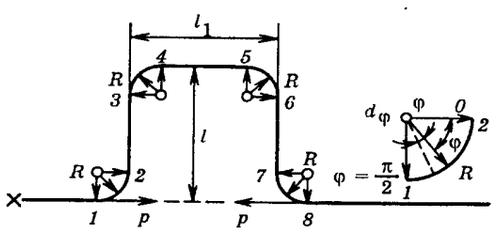


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

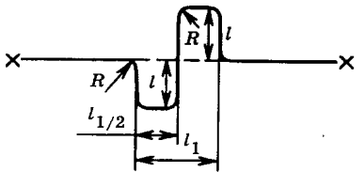


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

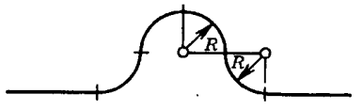


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

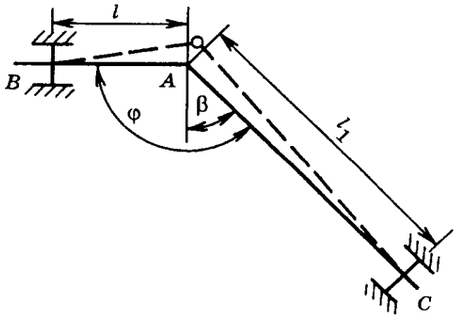


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	20,9	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	34,8	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0336229	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,665	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,108	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	6,3	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

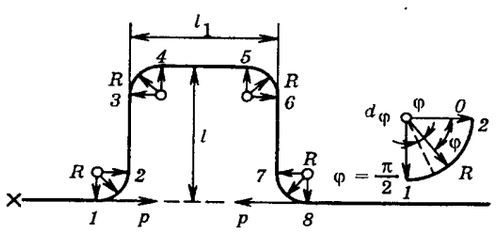


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

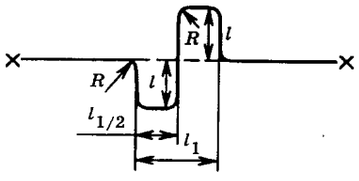


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

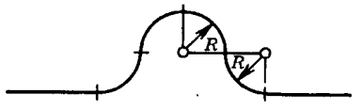


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

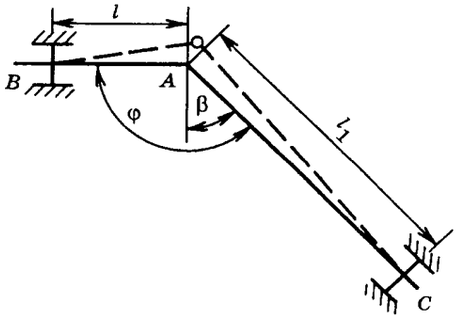


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Г-образного компенсатора (Е.Я. Соколов "Теплофикация и тепловые сети", 1999 г.)

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, °C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
l, м	исходные данные	15,5	длина короткого плеча
l_1, м	исходные данные	18	длина длинного плеча
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
Δ, м	$\Delta = \alpha \times l \times \Delta t$	0,0249356	удлинение короткого плеча
n	$n = l_1/l$	1,161	отношение длины длинного плеча к длине короткого
φ, °	исходные данные	90	угол между коротким и длинным плечами
$\beta=\varphi-90$, °	исходные данные	0	
$d_н$, м	исходные данные	0,108	наружный диаметр трубопровода
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
σ, МПа	$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \times (n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \sin\beta)$	6,9	макс. изгибающее напряжение, возникающее в коротком плече в месте защемления у неподвижной опоры
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба

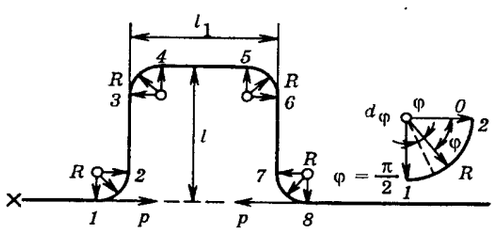


Рис. 9.40. Схема П-образного компенсатора

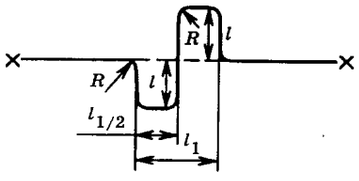


Рис. 9.41. Схема *S*-образного компенсатора

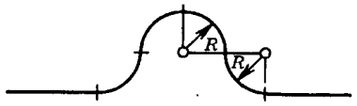


Рис. 9.42. Схема Ω-образного компенсатора

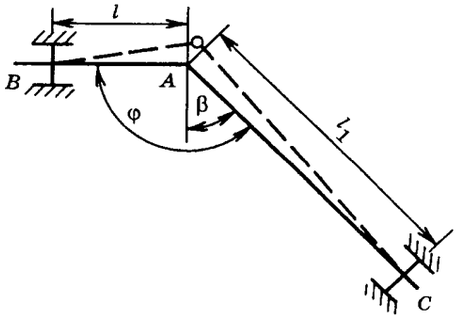
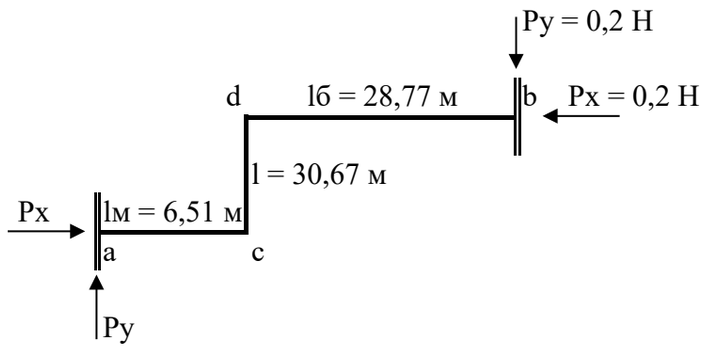


Рис. 9.43. Схема угловой компенсации

Расчет Z-образного компенсатора

Величина	Формула	Результат	Пояснения
Δt, ^{o}C	исходные данные	128,7	разность температур рабочей и при монтаже
$l_м$, м	исходные данные	6,51	длина меньшего параллельного плеча
l, м	исходные данные	30,67	длина перпендикулярного плеча
$l_б$, м	исходные данные	28,77	длина большего параллельного плеча
$d_н$, м	исходные данные	0,032	наружный диаметр трубопровода
δ, м	исходные данные	0,003	толщина стенки трубопровода
I, $10^5 \cdot м^4$	$I = 0{,}05 \cdot [d_н^4 - (d_н - 2\delta)^4] \cdot 10^5$	0,00	центральный момент инерции сечения трубы
α, 1/K	исходные данные	0,0000125	коэффициент линейного удлинения
n	$n = l_м/(l_м+l_б)$	0,18	расчетная величина
p	$p = (l_м+l_б)/l$	1,15	расчетная величина
E, МПа	исходные данные	189333	модуль продольной упругости
A	$A = \frac{3[p^3 + 4p^2 + 3 - 6n(1-n)(2p^2-p+1)]}{p(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	11,0	расчетный коэффициент
B	$B = \frac{3[3p^3 + 4p + 1 + 6np^2(1-n)(2-p+p^2)]}{p^3(1+p)(1-3n+3n^2)(1+3pn-3pn^2)}$	14,0	расчетный коэффициент
$C_{(a)}$	$C_{(a)} = \frac{2pn + p^2}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-1,7	расчетный коэффициент
$C_{(b)}$	$C_{(b)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-6,8	расчетный коэффициент
$C_{(c)}$	$C_{(c)} = \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)} B - A \frac{1 + 2p - 2pn}{2(1+p)}$	-4,6	расчетный коэффициент
$C_{(d)}$	$C_{(d)} = \frac{1 + 2pn}{2(1+p)} A - B \frac{p^2 - 2p^2n}{2(1+p)}$	0,9	расчетный коэффициент
σ_a, МПа	$\sigma = C_{(a)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	0,3	изгибающее напряжение, возникающее в меньшем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_b, МПа	$\sigma = C_{(b)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	1,1	изгибающее напряжение, возникающее в большем плече в месте защемления у неподвижной опоры
σ_c, МПа	$\sigma = C_{(c)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	0,7	изгибающее напряжение, возникающее в отводе меньшего плеча
σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	0,1	изгибающее напряжение, возникающее в отводе большего

σ_d, МПа	$\sigma = C_{(d)} \cdot \alpha \cdot E \cdot d_н \cdot \Delta t / (2 \cdot l)$	0,1	плеча
$\sigma_{доп}$, МПа	РД 10-249-98 таблицы 2.1-2.5	80,0	допускаемое напряжение изгиба
P_x, Н	$P_x = A \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	0,2	сила упругой деформации
P_y, Н	$P_x = B \cdot \alpha \cdot E \cdot I \cdot \Delta t / l^2$	0,2	сила упругой деформации