

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Г.М. Ахмерова

ПРАКТИКУМ

«Примеры расчётов по теплоснабжению»
по дисциплине **«Теплоснабжение»** для студентов
направленностей (профилей) **«Инженерные системы
жизнеобеспечения в строительстве зданий»**
(направление подготовки 08.03.01 **«Строительство»**),
**«Строительство и эксплуатация объектов теплоэнергетики
и теплотехники»** (направление подготовки 13.03.01
«Теплоэнергетика и теплотехника»)

Казань
2023

УДК 697.34
ББК 31.38
А95

Ахмерова Г.М.

А95 Практикум «Примеры расчётов по теплоснабжению» по дисциплине «Теплоснабжение» для студентов направлений (профилей) «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве зданий» (направление подготовки 08.03.01 «Строительство»), «Строительство и эксплуатация объектов теплоэнергетики и теплотехники» (направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника») / Г.М. Ахмерова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2023. – 36 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В практикуме изложены примеры расчёта тепловых потоков, температур первичного теплоносителя, определения точки излома температурного графика, построения годовых графиков расхода тепла. Примеры расчёта элементов тепловой сети включают: определение вылета П-образного компенсатора, порядок расчёта участка трубопровода на самокомпенсацию, проверку возможности использования для самокомпенсации Г-образного участка трубопровода, определение усилий на неподвижную опору. Приложения содержат справочные материалы.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологий
строительного производства (ТСП) КазГАСУ

А.Р. Мавлюбердинов

УДК 697.34
ББК 31.38

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2023

© Ахмерова Г.М., 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. Определение расчётных тепловых потоков	4
2. Регулирование отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения	6
3. Определение расчётных тепловых потоков в точке излома температурного графика $t_{ни}$	10
4. Построение годового графика расхода тепла по продолжительности стояния температур наружного воздуха	10
5. Расчет годового графика расхода тепла по месяцам	12
6. Расчёт элементов тепловой сети	15
Приложение 1. Удельные показатели максимальной тепловой нагрузки на отопление и вентиляцию жилых домов, Вт/м ²	29
Приложение 2. Коэффициенты линейного расширения трубных сталей α и модуль упругости E	30
Приложение 3. Основные характеристики сальниковых компенсаторов	30
Приложение 4. Формулы для определения сил упругой деформации p_x и p_y и изгибающих компенсационных напряжений σ при расчёте участков трубопроводов на самокомпенсацию. Таблица вспомогательных величин для вычисления p_x , p_y , σ	31
Приложение 5. Данные для расчёта нагрузок на опоры	33
Список использованных источников	35

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

Необходимо рассчитать тепловые потоки для района г. Казани в зависимости от температуры наружного воздуха t_n .

Для зданий строительства до 1995 г.

Плотность населения – $P=110$ чел/га.

Суммарная площадь застраиваемых районов – $F_{\text{общ}}=371,45$ га.

Этажность жилых зданий – 4–6 этажей, кирпичные.

Норма общей площади жилых зданий на одного человека – $f=14,5$ м²/чел.

Норма расхода воды на горячее водоснабжение, на одного человека в сутки – $a=105$ л/чел.

Расчётная температура наружного воздуха $t_o = -29^\circ\text{C}$ [1].

Тепловые потери в сетях – 9% .

Общее число жителей проектируемого района m , чел.:

$$m = P \cdot F_{\text{общ}} = 110 \cdot 371,45 = 40859,5 = 40860 \text{ чел.} \quad (1.1)$$

Общая жилая площадь района:

$$A = m \cdot f = 40860 \cdot 14,5 = 592470 \text{ м}^2 . \quad (1.2)$$

Максимальный тепловой поток на отопление:

$$Q_{\text{омах}} = q_0 \cdot A \cdot (1 + k_1) = 84,8 \cdot 592470 \cdot (1 + 0,25) = 62801820 \text{ Вт} = 62,8 \text{ МВт}, \quad (1.3)$$

где $q_0 = 84,8 \text{ Вт/м}^2$ – укрупненный показатель максимальной тепловой нагрузки на отопление и вентиляцию жилых домов, прил. 1 [2].

Максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий:

$$Q_{\text{vmax}} = k_1 \cdot k_2 \cdot q_0 \cdot A = 0,25 \cdot 0,6 \cdot 84,8 \cdot 592470 = 7536218,4 \text{ Вт} = 7,54 \text{ МВт} , \quad (1.4)$$

где $k_2 = 0,6$ – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию [3].

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий Q_{hm} , МВт:

$$Q_{\text{hm}} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a+b) \cdot (55-t_c) \cdot c}{24 \cdot 3,6} = \frac{1,2 \cdot 40860 \cdot (105+25) \cdot (55-5) \cdot 4,187}{24 \cdot 3,6} = 15444796,25 \text{ Вт} = 15,44 \text{ МВт}, \quad (1.5)$$

где $b = 25$ л/чел. – норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях на одного человека в сутки;

$t_c = 5^\circ\text{C}$ – температура холодной воды в отопительный период;

$c = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ – удельная теплоёмкость воды.

Относительный тепловой поток на отопление и вентиляцию при температуре наружного воздуха в начале и конце отопительного периода:

$$\bar{Q}_{\text{HK}} = \frac{t_i - t_{\text{HK}}}{t_i - t_o} = \frac{18 - 8}{18 + 29} = 0,21, \quad (1.6)$$

где t_i – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий;

t_{HK} – температура наружного воздуха в начале и конце отопительного периода;

t_o – расчётная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °C [1].

Тепловые потоки на отопление $Q_{\text{ОНК}}$ и вентиляцию $Q_{\text{ВНК}}$, МВт, при t_{HK} :

$$Q_{\text{ОНК}} = Q_{\text{оmax}} \cdot \bar{Q}_{\text{HK}} = 62801820 \cdot 0,21 = 13188382,2 \text{ Вт} = 13,19 \text{ МВт}. \quad (1.7)$$

$$Q_{\text{ВНК}} = Q_{\text{vmax}} \cdot \bar{Q}_{\text{HK}} = 7536218,4 \cdot 0,21 = 1582605,86 \text{ Вт} = 1,58 \text{ МВт}. \quad (1.8)$$

Относительный тепловой поток на отопление и вентиляцию $\bar{Q}_{\text{от}}$, МВт, при $t_{\text{от}}$:

$$\bar{Q}_{\text{от}} = \frac{t_i - t_{\text{от}}}{t_i - t_o} = \frac{18 - (-4,7)}{18 + 29} = 0,48, \quad (1.9)$$

где $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C [1].

Тепловые потоки на отопление $Q_{\text{оот}}$ и вентиляцию $Q_{\text{воот}}$, МВт, при $t_{\text{от}}$:

$$Q_{\text{оот}} = Q_{\text{оmax}} \cdot \bar{Q}_{\text{от}} = 62801820 \cdot 0,48 = 30144873,6 \text{ Вт} = 30,14 \text{ МВт}. \quad (1.10)$$

$$Q_{\text{воот}} = Q_{\text{vmax}} \cdot \bar{Q}_{\text{от}} = 7536218,4 \cdot 0,48 = 3617384,83 \text{ Вт} = 3,62 \text{ МВт}. \quad (1.11)$$

Средний тепловой поток Q_{hm}^{S} , МВт на горячее водоснабжение жилых районов населенных пунктов в неотапливаемый период:

$$Q_{\text{hm}}^{\text{S}} = Q_{\text{hm}} \cdot \frac{55 - t_c^{\text{S}}}{55 - t_c} \cdot \beta = 15444796,25 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 9884669,6 \text{ Вт} = 9,88 \text{ МВт}, \quad (1.12)$$

где $t_c^{\text{S}} = 15$ °C – температура холодной (водопроводной) воды, в неотапливаемый период;

β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапливаемый период по отношению к отопительному периоду, $\beta = 0,8$ – для жилого жилищно-коммунального сектора.

Результаты расчёта тепловых потоков сводятся в табл. 1.1. Учитываются тепловые потери в сетях, равные (по заданию) 9% от суммарного теплового потока.

Расчёт тепловых потоков на отопление и вентиляцию при $t_{ни}$ рассматривается в разделе 3 – после определения точки излома температурного графика $t_{ни}$.

Таблица 1.1

Тепловые потоки в зависимости от $t_{н}$

Тепловые потоки	Ед. изм.	Температура наружного воздуха, °С				Неотопительный период
		$t_o = -29^{\circ}\text{C}$	$t_{от} = -4,7^{\circ}\text{C}$	$t_{ни} =$	$t_{нк} = +8^{\circ}\text{C}$	
\bar{Q}	–	1	0,48		0,21	–
Q_o	МВт	62,80	30,14		13,19	–
Q_v	МВт	7,54	3,62		1,58	–
Q_{hm}	МВт	15,44	15,44		15,44	9,88
$\Sigma Q = Q_o + Q_v + Q_{hm}$	МВт	85,78	49,20		30,21	9,88
$\Sigma Q + 9\%$	МВт	93,50	53,63		32,93	10,77

2. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Построить отопительно-бытовой график центрального качественного регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке для закрытой системы теплоснабжения г. Казань. Определить точку излома $t_{ни}$ графическим и аналитическим методами.

Расчётная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_o = -29^{\circ}\text{C}$;

температурный график $\tau'_{01}/\tau'_{02}=130/65$;

температура воды в подающем стояке местной системы отопления $\tau'_3 = 95^{\circ}\text{C}$.

Срезка графика 115/65. Средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий $t_i = 18^{\circ}\text{C}$.

Температура воды в подающей и обратной магистралях в течение отопительного периода (+8÷-29°C) определяется по формулам:

$$\tau_{01} = t_i + \Delta t'_o \cdot (\bar{Q}_o)^{0,8} + (\delta\tau'_o - 0,5 \cdot \theta'_o) \cdot \bar{Q}_o, \quad (2.1)$$

$$\tau_{02} = t_i + \Delta t'_o \cdot (\bar{Q}_o)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta'_o \cdot \bar{Q}_o. \quad (2.2)$$

Температурный напор нагревательного прибора:

$$\Delta t'_o = \frac{\tau'_3 + \tau'_{02}}{2} - t_i = (95 + 65)/2 - 18 = 62 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (2.3)$$

где $t_i = 18^\circ\text{C}$ – средняя температура воздуха в отапливаемом помещении.

Расчетный перепад температур воды в местной системе отопления:

$$\theta'_o = \tau'_3 - \tau'_{02} = 95 - 65 = 30 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.4)$$

Расчетный перепад температур воды в тепловой сети $\delta\tau'_o$, $^\circ\text{C}$ равен

$$\delta\tau'_o = \tau'_{01} - \tau'_{02} = 130 - 65 = 65 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (2.5)$$

Задавшись величинами относительной нагрузки $\bar{Q}_o = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$, определяются $\tau_{01}, \tau_{02}, \tau_3$ пять раз.

Температура воды в подающей магистрали

$$\tau_{01} = 18 + 62 \cdot (0,2)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,2 = 45,11 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{01} = 18 + 62 \cdot (0,4)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,4 = 67,79 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{01} = 18 + 62 \cdot (0,6)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,6 = 89,20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{01} = 18 + 62 \cdot (0,8)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,8 = 109,86 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{01} = 18 + 62 \cdot (1)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,1 = 130 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура воды в обратной магистрали

$$\tau_{02} = 18 + 62 \cdot (0,2)^{0,8} - 0,5 \cdot 30 \cdot 0,2 = 32,11 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{02} = 18 + 62 \cdot (0,4)^{0,8} - 0,5 \cdot 30 \cdot 0,4 = 41,79 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{02} = 18 + 62 \cdot (0,6)^{0,8} - 0,5 \cdot 30 \cdot 0,6 = 50,20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{02} = 18 + 62 \cdot (0,8)^{0,8} - 0,5 \cdot 30 \cdot 0,8 = 57,86 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{02} = 18 + 62 \cdot (1)^{0,8} - 0,5 \cdot 30 \cdot 1 = 65 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По рассчитанным данным строится график температур теплоносителя, с определением точки излома в координатах $\tau - \bar{Q}_o$ (рис. 2.1).

Графический метод определения точки излома температурного графика

Для закрытых систем теплоснабжения излом температурного графика обусловлен необходимостью нагрева водопроводной воды в теплообменнике до $60\text{--}65^\circ\text{C}$. Поэтому на температурном графике возникает так называемая весенне-летняя срезка или «излом» температуры подающей линии на уровне 70°C .

Точка излома температурного графика $t_{\text{ни}}$ определена графическим методом (рис. 2.1). На ординате отмечена точка $\tau_{01} = 70^\circ\text{C}$, проведена

горизонталь до пересечения с графиком температуры воды в подающей магистрали. В этой точке опущен перпендикуляр на ось абсцисс и найдена $\bar{Q}_0 = 0,4203$. Затем перпендикуляр продолжен и в нижней части графика определена температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графика $t_{\text{ни}} = -1,75^\circ\text{C}$.

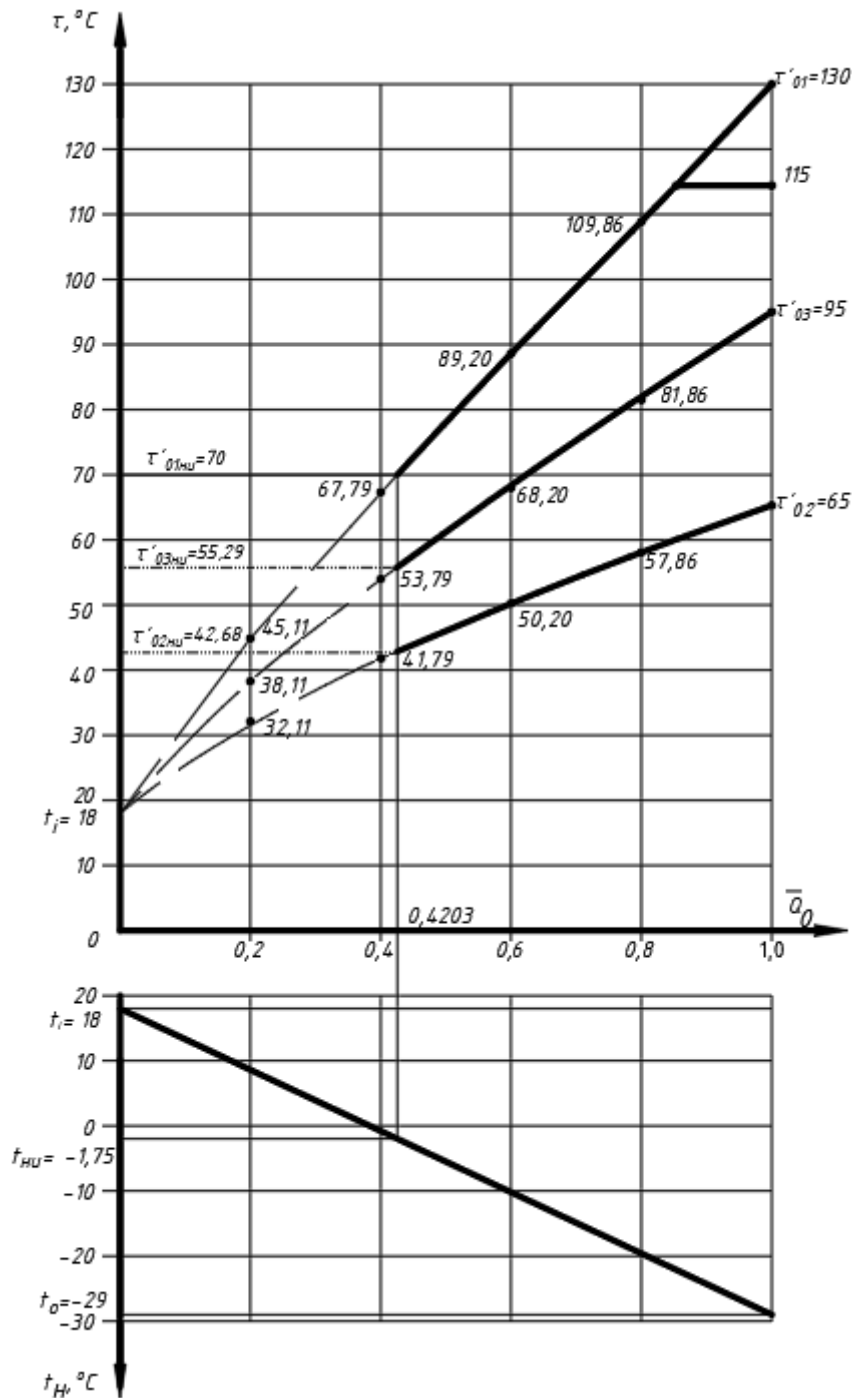


Рис. 2.1. График определения температуры точки излома

Аналитический метод

По рис. 2.1 видно, что $\bar{Q}_{\text{они}}$ расположена в диапазоне $0,4 \div 0,6$. Решим уравнение (2.1) методом подбора, задаваясь значениям $\bar{Q}_{\text{они}}$ для получения $\tau_{01\text{ни}} = 70^\circ\text{C}$.

$$\begin{aligned} T_{01} &= 18 + 62 \cdot (0,43)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,43 = 70,06^\circ\text{C}; \\ \tau_{01} &= 18 + 62 \cdot (0,421)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,421 = 70,08^\circ\text{C}; \\ \tau_{01} &= 18 + 62 \cdot (0,4202)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,4202 = 69,99^\circ\text{C}; \\ \tau_{01} &= 18 + 62 \cdot (0,42025)^{0,8} + (65 - 0,5 \cdot 30) \cdot 0,42025 = 70,00^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Таким образом, при $\tau_{01\text{ни}} = 70^\circ\text{C}$ относительный расход на отопление $\bar{Q}_{\text{они}} = 0,42025$.

$$T_{02} = \tau_{01\text{ни}} - \bar{Q}_{\text{они}} \cdot \delta\tau = 70 - 65 \cdot 0,42025 = 42,68^\circ\text{C} \quad (2.6)$$

$$\tau_{03} = \tau_{02\text{ни}} + \bar{Q}_{\text{они}} \cdot \theta = 42,68 + 30 \cdot 0,42025 = 55,29^\circ\text{C}. \quad (2.7)$$

Точка излома температурного графика

$$t_{\text{ни}} = t_i - \bar{Q}_{\text{они}} \cdot (t_i - t_0), \quad (2.8)$$

$$t_{\text{ни}} = 18 - 0,42025 \cdot (18 - (-29)) = -1,75^\circ\text{C}.$$

Сравнивая полученные варианты, необходимо отметить, что значения температуры излома температурного графика $t_{\text{ни}}$, определённой графическим методом равно температуре, полученной аналитическим методом $t_{\text{ни}} = -1,75^\circ\text{C}$. Что говорит о высокой точности построения графика определения температуры точки излома.

Температурные графики качественно-количественного регулирования отпуска тепла для г. Казани, построенные в координатах $\tau - t_n$ (рис. 2.2).

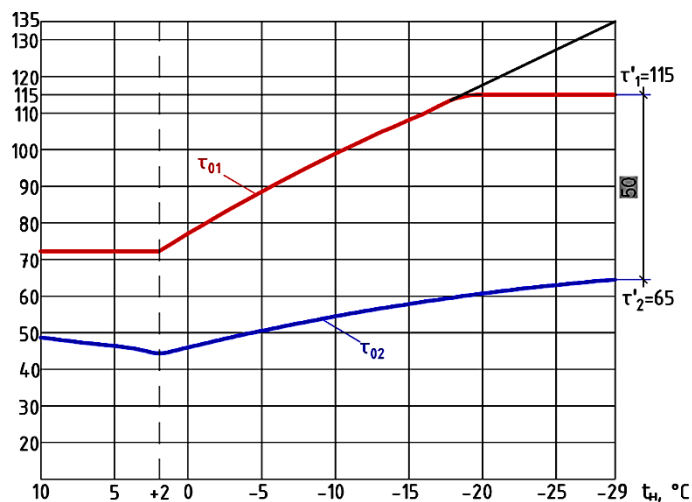


Рис. 2.2. Температурный график 135/65 со срезкой 115/65°C (подача/обратка) со спрямлением на ГВС на 72,2°C при температуре наружного воздуха 2°C и срезкой на 115°C при температуре наружного воздуха -18°C

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ТОЧКЕ ИЗЛОМА ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА $t_{ни}$

В табл. 1.1 графа для температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика заполняется после определения температуры излома $t_{ни}$ (раздел 2).

Относительный тепловой поток на отопление и вентиляцию

$$\bar{Q}_{ни} = \frac{t_i - t_{ни}}{t_i - t_o} = \frac{18 - (-1,75)}{18 + 29} = 0,42 . \quad (3.1)$$

Тепловой поток на отопление

$$Q_{они} = Q_{омах} \cdot \bar{Q}_{ни} = 62801820 \cdot 0,42 = 26376764,4 \text{ Вт} = 26,40 \text{ МВт}. \quad (3.2)$$

Тепловой поток на вентиляцию

$$Q_{вни} = Q_{вмах} \cdot \bar{Q}_{ни} = 7536218,4 \cdot 0,42 = 3165211,73 \text{ Вт} = 3,17 \text{ МВт}. \quad (3.3)$$

Таблица 3.1

Тепловые потоки в зависимости от t_n

Тепловые потоки	Ед. изм.	Температура наружного воздуха, °С				Неотопительный период
		$t_o = -29^\circ\text{C}$	$t_{ни} = -4,84^\circ\text{C}$	$t_{от} = -1,75^\circ\text{C}$	$t_{нк} = +8^\circ\text{C}$	
\bar{Q}	–	1	0,4859	0,42	0,21	–
Q_o	МВт	62,80	30,52	26,40	13,19	–
Q_v	МВт	7,54	3,68	3,17	1,58	–
Q_{hm}	МВт	15,44	15,44	15,44	15,44	9,88
$\Sigma Q = Q_o + Q_v + Q_{hm}$	МВт	85,78	49,64	45,01	30,21	9,88
$\Sigma Q + 9\%$	МВт	93,50	54,11	49,06	32,93	10,77

4. ПОСТРОЕНИЕ ГОДОВОГО ГРАФИКА РАСХОДА ТЕПЛА ПО ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТОЯНИЯ ТЕМПЕРАТУР НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Построить график годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха. Климатологические данные принять для г. Казани.

При построении графика продолжительности в зависимости от температуры наружного воздуха необходимо знать значения:

$t_{нк} = +8^\circ\text{C}$ – температуры наружного воздуха в начале и конце отопительного периода;

$t_{от} = -4,7^{\circ}\text{C}$ – средней температуры наружного воздуха за отопительный период [табл.1.3, 3];

$t_o = -29^{\circ}\text{C}$ – расчетной температуры для отопления [табл. 1.3, 3].

По оси ординат откладываются часовые расходы теплоты в МВт, а по оси абсцисс в одну сторону – температуры наружного воздуха, а в другую – число часов стояния определенных среднесуточных температур наружного воздуха за отопительный период и число часов отопительного сезона.

Графики часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в зависимости от температуры наружного воздуха строятся в левой части графика в координатах $Q-t_n$ (рис. 4.1). Расчётные расходы теплоты на отопление $Q_{оmax} = 62,8$ МВт, вентиляцию $Q_{vmax} = 7,54$ МВт, горячее водоснабжение $Q_{hm} = 15,44$ МВт (раздел 1). Часы стояния определенных температур наружного воздуха и число часов отопительного сезона определяются по табл. 1.3 [3] и сводятся полученные данные в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Продолжительность стояния температур наружного воздуха

	Повторяемость температур наружного воздуха, ч									
	-39,9 ÷ -35	-34,9 ÷ -30	-29,9 ÷ -25	-24,9 ÷ -20	-19,9 ÷ -15	-14,9 ÷ -10	-9,9 ÷ -5	-4,9 ÷ 0	+0,1 ÷ +5	+5,1 ÷ +8
n	1	20	86	222	463	737	954	1088	914	747
Σn	1	21	107	329	792	1529	2483	3571	4485	5232

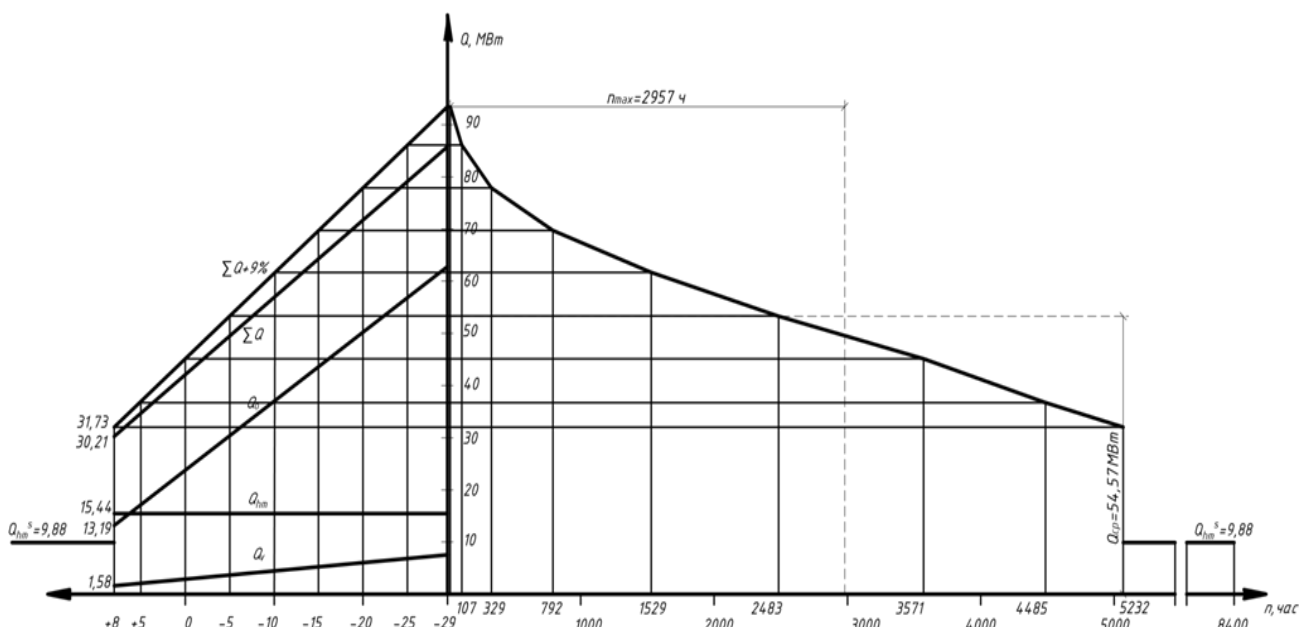


Рис. 4.1. График годового расхода тепла по продолжительности стояния температур наружного воздуха

В летний период (диапазон продолжительности стояния t_H от 5232 до 8400 час) тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию отсутствуют, нагрузка на горячее водоснабжение согласно формуле (5.4) составляет:

$$Q_{hm}^S = Q_{hm} \cdot \frac{55-t_c^s}{55-t_c} \cdot \beta = 15,44 \cdot \frac{55-15}{55-5} \cdot 0,8 = 9,88 \text{ МВт.}$$

5. РАСЧЕТ ГОДОВОГО ГРАФИКА РАСХОДА ТЕПЛА ПО МЕСЯЦАМ

Построить график годового расхода теплоты по месяцам. Климатологические данные принять для г. Казани.

Таблица 5.1

Средняя месячная и годовая температуры наружного воздуха для г. Казани [1]

Месяцы												Год
Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя.	Дек	
-11,6	-10,7	-4,2	5,4	13,6	17,8	20	17,9	11,8	4,3	-2,9	-8,6	4,2

Тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение для любых температур наружного воздуха рассчитываются по формулам:

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0}; \quad (5.1)$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0}; \quad (5.2)$$

$$Q_{\square m} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a+b) \cdot (55-t_c) \cdot c}{24 \cdot 3,6}; \quad (5.3)$$

$$Q_{\square m}^S = Q_{\square m} \cdot \frac{55-t_c^s}{55-t_c} \cdot \beta. \quad (5.4)$$

Январь: $t_H = -11,6^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 + 11,6}{18 + 29} = 39,55 \text{ МВт;}$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 + 11,6}{18 + 29} = 4,75 \text{ МВт;}$$

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot 40860 \cdot (105 + 25) \cdot (55 - 5) \cdot 4,187}{24 \cdot 3,6} = 15,44 \text{ МВт;}$$

$$\Sigma Q = 59,74 \text{ МВт.}$$

Февраль: $t_H = -10,7^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 + 11,6}{18 + 29} = 38,35 \text{ МВт;}$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 + 11,6}{18 + 29} = 4,6 \text{ МВт};$$

$$Q_{hm} = 15,44 \text{ МВт}; \quad \Sigma Q = 58,39 \text{ МВт}.$$

Март: $t_H = -4,2^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 + 4,2}{18 + 29} = 29,66 \text{ МВт};$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 + 4,2}{18 + 29} = 3,56 \text{ МВт};$$

$$Q_{hm} = 15,44 \text{ МВт}; \quad \Sigma Q = 48,66 \text{ МВт}.$$

Апрель: $t_H = 5,4^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 - 5,4}{18 + 29} = 16,84 \text{ МВт};$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 - 5,4}{18 + 29} = 2,02 \text{ МВт};$$

$$Q_{hm} = 15,44 \text{ МВт}; \quad \Sigma Q = 34,3 \text{ МВт}.$$

В неотопливаемый период (май-сентябрь) тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию отсутствуют, нагрузка на горячее водоснабжение согласно формуле (5.4) составляет:

$$Q_{hm}^s = 15,44 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 9,88 \text{ МВт};$$

$$\Sigma Q = 9,88 \text{ МВт}.$$

Октябрь: $t_H = 4,3^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 - 4,3}{18 + 29} = 18,31 \text{ МВт};$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 - 4,3}{18 + 29} = 2,2 \text{ МВт};$$

$$Q_{hm} = 15,44 \text{ МВт}; \quad \Sigma Q = 35,95 \text{ МВт}.$$

Ноябрь: $t_H = -2,9^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 + 2,9}{18 + 29} = 27,93 \text{ МВт};$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 + 2,9}{18 + 29} = 3,35 \text{ МВт};$$

$$Q_{hm} = 15,44 \text{ МВт}; \quad \Sigma Q = 46,72 \text{ МВт}.$$

Декабрь: $t_H = -8,6^\circ\text{C}$

$$Q_o^{tH} = Q_{omax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 62,8 \cdot \frac{18 + 8,6}{18 + 29} = 35,54 \text{ МВт};$$

$$Q_v^{tH} = Q_{vmax} \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_0} = 7,54 \cdot \frac{18 + 8,6}{18 + 29} = 4,27 \text{ МВт};$$

$$Q_{hm} = 15,44 \text{ МВт}; \quad \Sigma Q = 55,25 \text{ МВт}.$$

Полученные данные сводятся в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам года (г. Казань)

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам года	Среднемесячные температуры наружного воздуха											
	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя.	Дек.
	-11,6	-10,7	-4,2	5,4	13,6	17,8	20	17,9	11,8	4,3	-2,9	-8,6
Q_0 , МВт	39,55	38,35	29,66	16,84	—	—	—	—	—	18,31	27,93	35,34
Q_v , МВт	4,75	4,6	3,56	2,02	—	—	—	—	—	2,2	3,35	4,27
Q_{hm}	15,44	15,44	15,44	15,44	9,88	9,88	9,88	9,88	9,88	15,44	15,44	15,44
Q_Σ , МВт	59,74	59,39	48,66	34,30	9,88	9,88	9,88	9,88	9,88	35,95	46,72	55,25

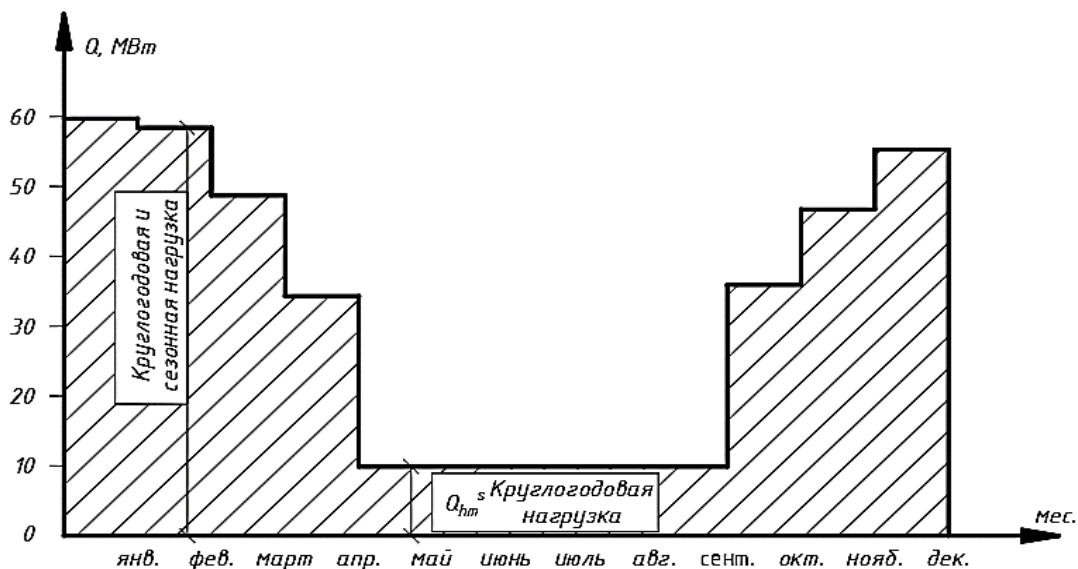


Рис. 5.1. Годовой график расхода тепла по месяцам

6. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Определение вылета П-образного компенсатора

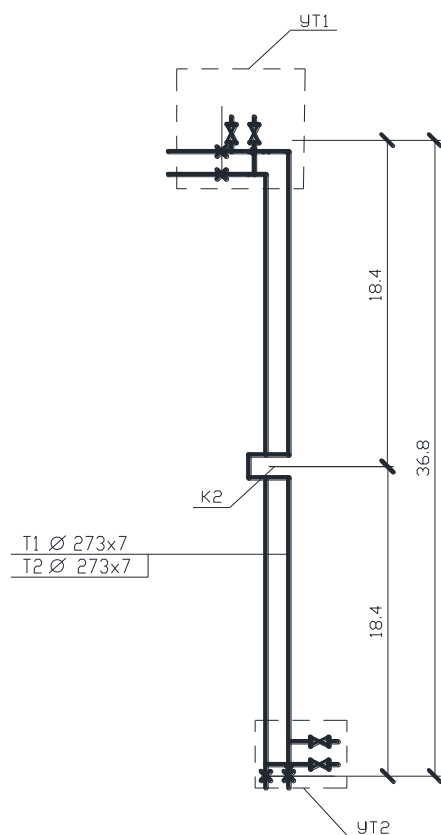


Рис. 6.1. Схема сети, участок УТ1 – УТ2 с П-образным компенсатором

Определить вылет П-образного компенсатора К2 и силу упругой деформации, для участка УТ1–УТ2.

Диаметр трубопровода Т1 – D_n 273 мм.

Расстояние между неподвижными опорами – 36,8 м.

Максимальная температура теплоносителя – 130°C.

Расчетная температура наружного воздуха – -29°C.

Тепловое удлинение определяется по формуле:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot (t_1 - t_2), \text{ мм}, \quad (6.1)$$

где α – коэффициент линейного расширения углеродистых трубных сталей, мм/м, прил. 2 [7].

$$\Delta l = 1,242 \cdot 10^{-2} \cdot 36,8 \cdot (130 + 29) = 72,67, \text{ мм}.$$

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

$$\Delta l_{расч} = 0,5 \cdot 73 = 36,5 \text{ мм.}$$

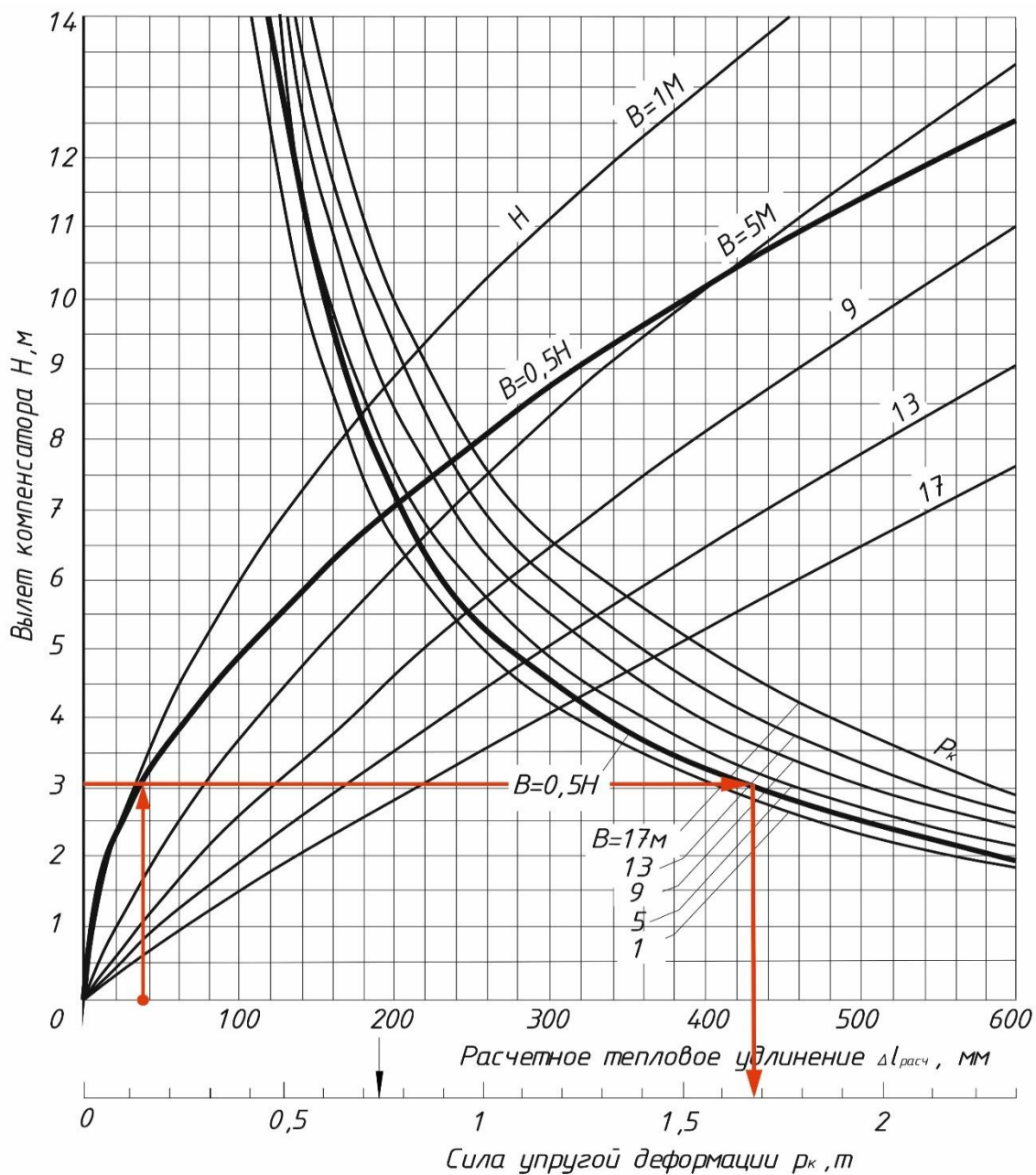


Рис. 6.2. Номограмма для расчёта П-образного компенсатора со сварными отводами, D_H 273 мм (К2, на участке УТ1–УТ2)

При спинке компенсатора, равной половине вылета компенсатора, т.е. при $B=0.5 \cdot H$ и при расчётном тепловом удлинении находим вылет компенсатора и силу упругой деформации по номограмме на листе VI.13 [7]: $H=3,1$ м, $p_k=1,68$ т.

Расчёт для сальникового компенсатора

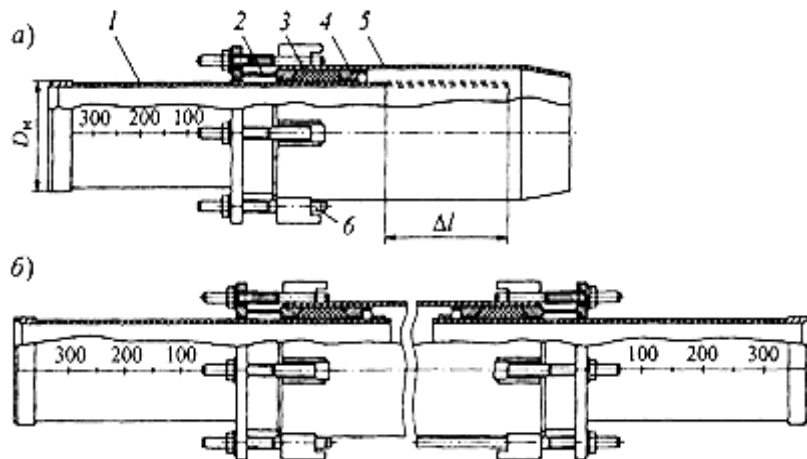


Рис. 6.3. Сальниковые компенсаторы [11]:
 а – односторонний; б – двусторонний; 1 – стакан, 2 – грундбукса;
 3 – сальниковая набивка; 4 – упорное кольцо; 5 – корпус; 6 – затяжные болты;
 Δl – тепловое удлинение трубопровода

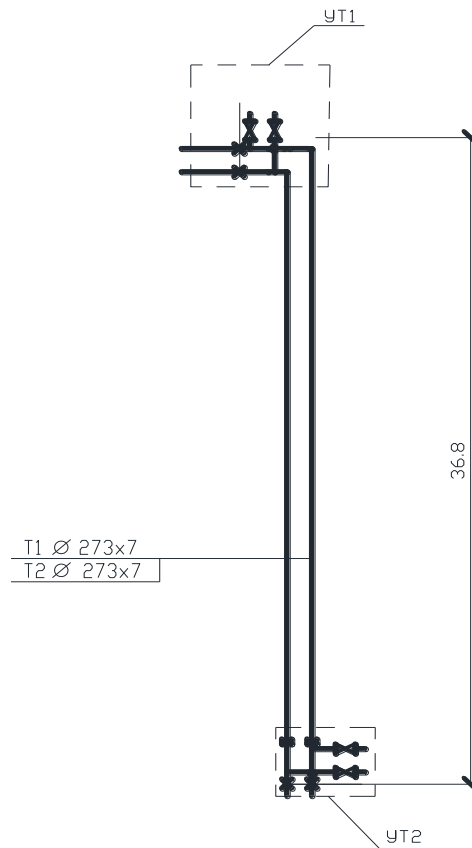


Рис. 6.4. Схема сети, участок УТ1 – УТ2 с сальниковым компенсатором в УТ2

Определить тепловое удлинение участка трубопровода, установочную и монтажную длину одностороннего сальникового компенсатора.

Диаметр трубопровода $T1 - D_n$ 273 мм.

Расстояние между неподвижными опорами – 36,8 м.

Максимальная температура теплоносителя – 130°C.

Расчетная температура наружного воздуха – -29°C.

Температура наружного воздуха, при которой производится монтаж трубопровода – +10°C. Тепловое удлинение участка по формуле (6.1):

$$\Delta l = 1,242 \cdot 10^{-2} \cdot 36,8 \cdot (130 + 29) = 72,67, \text{ мм.}$$

Расчётная компенсирующая способность компенсатора

$$L_{расч} = l_k - Z, \text{ мм,} \quad (6.2)$$

где Z – величина, учитывающая возможное смещение неподвижных опор и неточность изготовления, принимается для односторонних компенсаторов $D_v=100-125$ мм величиной $Z = 20$ мм, $D_v=150-350$ мм $Z = 30$ мм и $D_v=400-1000$ мм $Z = 40$ мм; для двусторонних компенсаторов величина Z удваивается.

$$L_{расч} = 300 - 30 = 220 \text{ мм.}$$

Установочная длина компенсатора

$$L_{уст} = A_m - Z - (L_{расч} - \Delta l), \text{ мм,} \quad (6.3)$$

где A_m – максимальная длина компенсатора, мм, прил. 3 [7];

$$L_{уст} = 1210 - 30 - (220 - 72,67) = 1032,67 \text{ мм.}$$

Монтажная длина компенсатора

$$L_m = L_{уст} - 0,0125 \cdot (t_m - t_o) \cdot l, \text{ мм,} \quad (6.4)$$

$$L_m = 1032,67 - 0,0125 \cdot (10 + 29) \cdot 36,8 = 1014,73 \text{ мм.}$$

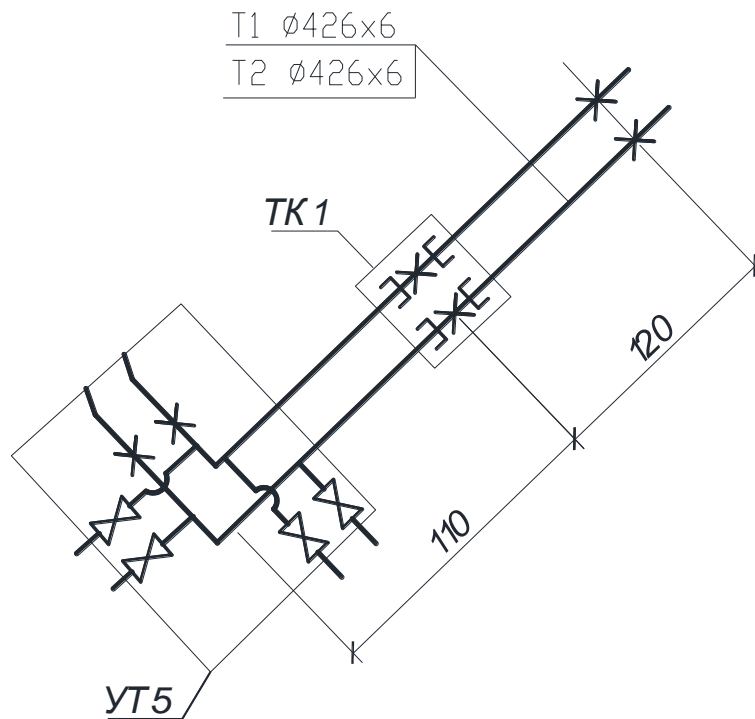


Рис. 6.5. Схема сети, участок с двусторонним сальниковым компенсатором в ТК1

Определить тепловое удлинение участка трубопровода, установочную и монтажную длину двустороннего сальникового компенсатора.

Диаметр трубопровода Т1 – D_H 426 мм.

Длина компенсируемого участка – 230 м.

Максимальная температура теплоносителя – 115°C .

Расчетная температура наружного воздуха – -29°C .

Температура наружного воздуха, при которой производится монтаж трубопровода – $+10^{\circ}\text{C}$.

Тепловое удлинение участка по формуле (6.1):

$$\Delta l = 1,232 \cdot 10^{-2} \cdot 230 \cdot (115 + 29) = 408,04 \text{ мм.}$$

Расчётная компенсирующая способность компенсатора

$$L_{\text{расч}} = 2 \cdot 400 - 80 = 720 \text{ мм.}$$

При определении габаритов камер при неполном использовании компенсирующей способности компенсатора его длина $L_{\text{уст}}$ найдена по формуле (6.3):

$$L_{\text{уст}} = 2560 - 80 - (720 - 408) = 2168 \text{ мм.}$$

Монтажная длина сальникового компенсатора L_M определена с учётом температуры наружного воздуха при монтаже трубопроводов по формуле (6.4):

$$L_M = 2168 - 0,0125 \cdot (10 + 29) \cdot 230 = 2055,88 \text{ мм.}$$

**Расчёт участков самокомпенсации трубопроводов.
Расчёт участка самокомпенсации трубопровода с соотношением плеч
 $l_6/l_m=1$**

Естественная компенсация температурных деформаций происходит в результате изгиба трубопроводов. Повороты повышают гибкость трубопровода и увеличивают его компенсирующую способность.

При естественной компенсации на поворотах трассы температурные деформации трубопроводов приводят к поперечным смещениям участков.

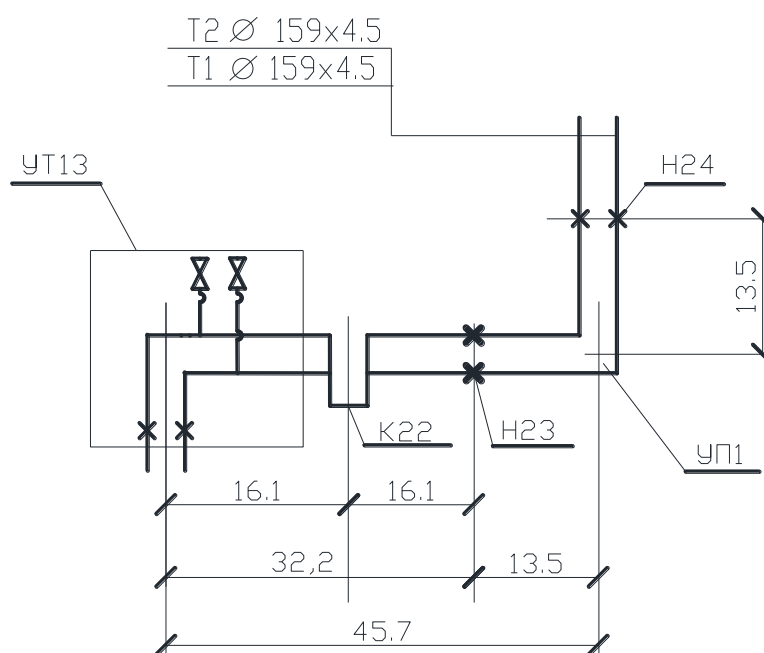


Рис. 6.6. Схема сети, участок УТ13–УТ14

Рассмотрим порядок расчёта участка трубопровода на самокомпенсацию на примере УП1, находящегося на участке УТ13–УТ14. Длина плеч составляет 13,5 и 13,5 м, диаметр тепловых сетей на этом участке Т1 D_n 159 мм (159х4,5).

$D_n=159$ мм.

Толщина стенки $S=4,5$ мм.

Угол поворота 90^0 .

Длины плеч $l=13,5$ м.

Расчётный угол $\beta=90^0$.

Соотношение плеч: $l_6/l_m=1$.

Расчётная разность температур определяется по формуле:

$$\Delta t = 130 + 29 = 159^{\circ}\text{C}. \tag{6.5}$$

По номограммам рис. 6.7, 6.8 (лист VI. 14, рис. 6 [7]) определяем значения вспомогательных коэффициентов при $n = 13,5/13,5=1$ и $\beta = 0^\circ$:

$$C = 3; A = 12; B = 12.$$

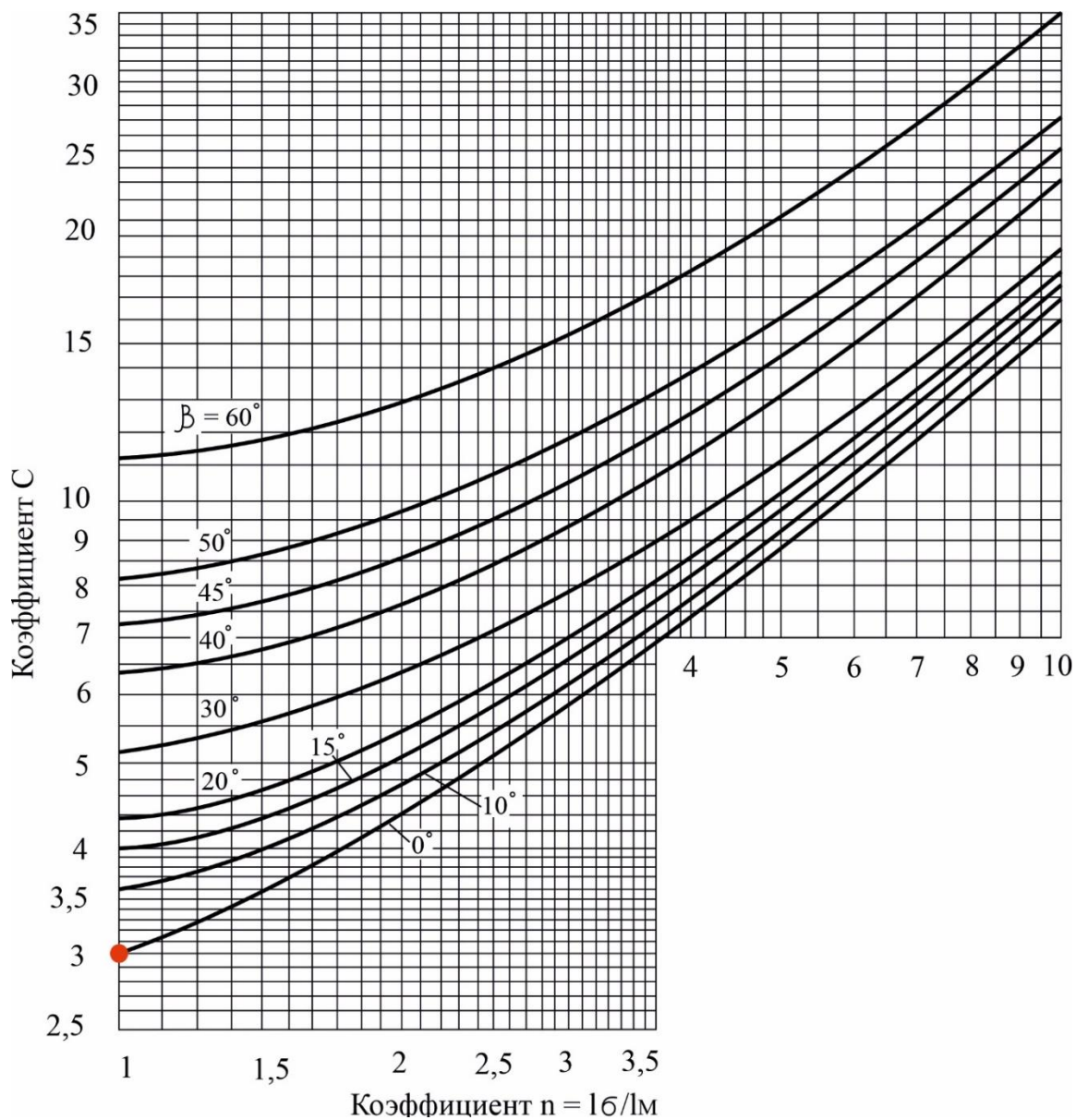


Рис. 6.7. Номограмма для расчёта участка самокомпенсации трубопровода (УП1, D_H 159 мм, УТ13–УТ14) [7]

Определяем значения вспомогательных величин для $D_H = 159$ мм и $s = 4,5$ мм по табл. П4.2 прил. 4 или VI.28[7]:

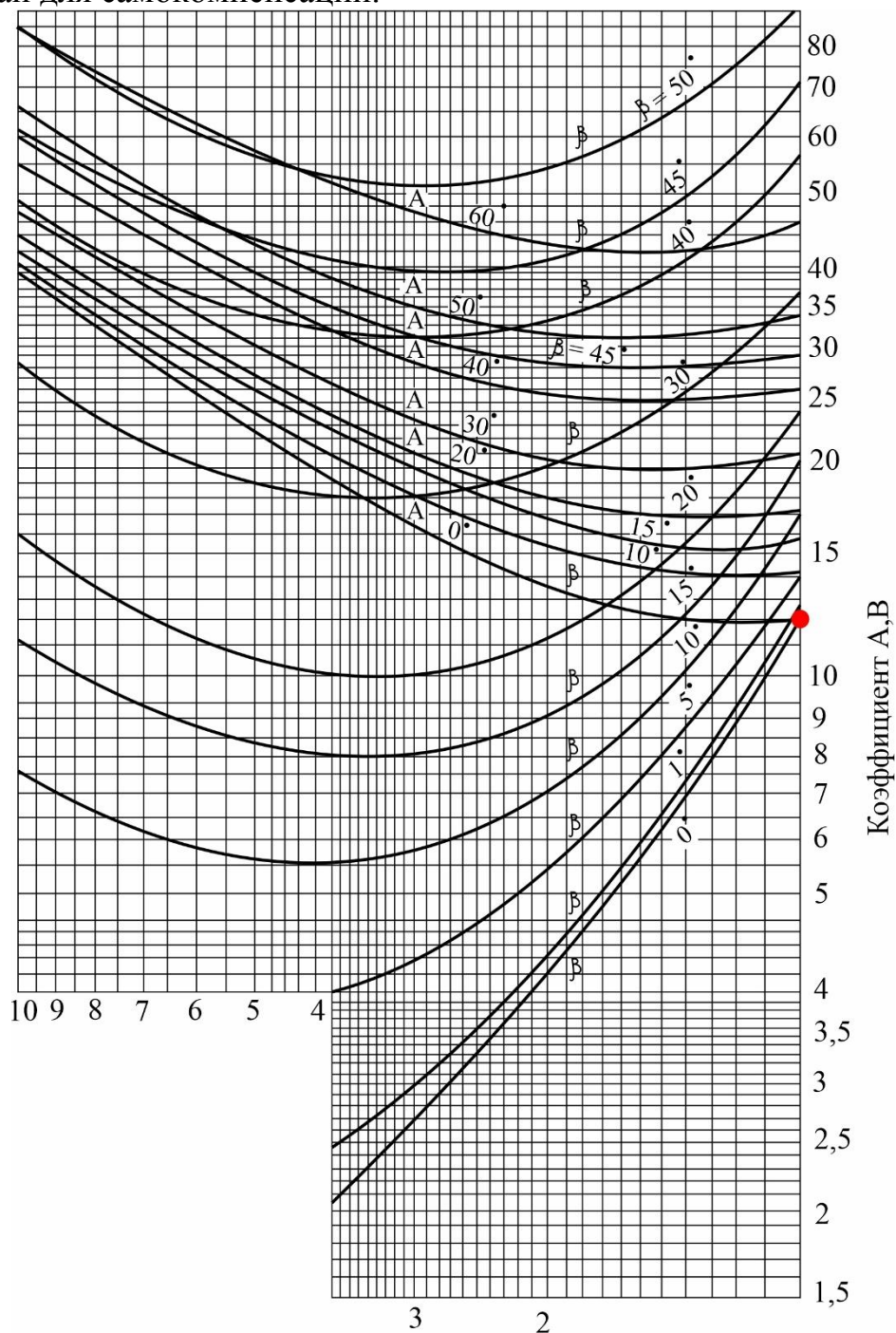
$$\frac{\alpha E j}{10^7} = 1,56 \text{ кгс/}^\circ\text{C};$$

$$\frac{\alpha E D_H}{10^7} = 0,0382 \text{ кгс} \cdot \frac{\text{М}}{\text{ММ}^2} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Продольное изгибающее компенсационное напряжение в заделке обоих плеч определяется по формуле:

$$\sigma_a = C \cdot \frac{\alpha E D_n \Delta t}{10^7 \cdot 2 l_M} = 3 \cdot 0,0382 \cdot 159 / (13,5 \cdot 2) = 0,675 \text{ кгс/мм}^2. \quad (6.6)$$

Полученное значение не превышает заданного предела 8 кгс/мм², следовательно, размеры плеч достаточны и Г-образный участок может быть использован для самокомпенсации.



Коэффициент $n = 16/l_M$

Рис. 6.8. Номограмма для расчёта участка самокомпенсации трубопровода (УП1, D_n 159 мм, УТ13–УТ14) [7]

Силы упругой деформации составляют:

$$p_k = A \cdot \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l^2} = 12 \cdot 0,0382 \cdot \frac{159}{13}, 5^2 = 0,399 \text{ кгс}, \quad (6.7)$$

$$p_k = B \cdot \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l^2} = 12 \cdot 0,0382 \cdot \frac{159}{13}, 5^2 = 0,399 \text{ кгс}. \quad (6.8)$$

Расчёт участка самокомпенсации трубопровода с соотношением плеч $l_б/l_m=1$

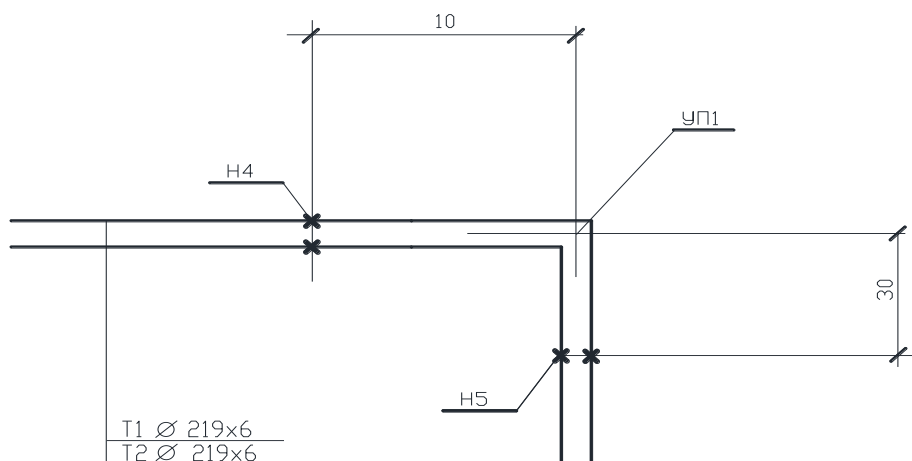


Рис. 6.9. Схема сети, участок УТ2–УТ3

Проверим возможность использования для самокомпенсации Г-образного участка трубопровода. Длина плеч составляет 10 и 30 м, диаметр подающего трубопровода Т1 на этом участке D_H 219 мм (219x6).

$D_H=219$ мм.

Толщина стенки $S=6$ мм.

Угол поворота 90° .

Длина большего плеча $l_б=30$ м.

Длина меньшего плеча $l_m=10$ м.

Максимальная температура теплоносителя -130°C .

Расчётная температура наружного воздуха -29°C .

Решаем задачу по формулам для схемы 1 (табл. П4.1 прил. 4 или табл. VI.27 [7]): расчётный угол $\beta=90-90=0^\circ$; соотношение плеч $n=30/10=3$; расчётная разница температур $\Delta t = 130 + 29 = 159^\circ\text{C}$.

По номограммам рис. 6.10, 6.11 (лист VI. 14, рис. 6, 7 [7]) и рис. 6.10 и 6.11 определяем значения вспомогательных коэффициентов при $n=3$ и $\beta=0^\circ$: $C=5,7$; $A=16,5$; $B=2,63$.

Определяем значения вспомогательных величин для $D_H = 219$ мм и $s=6$ мм по табл. П4.2 прил. 4 или VI.28[7]:

$$\frac{\alpha E j}{10^7} = 5,47 \text{ кгс}/^\circ\text{C};$$

$$\frac{\alpha E D_H}{10^7} = 0,0526 \text{ кгс} \cdot \frac{\text{м}}{\text{мм}^2} \cdot ^\circ\text{C}.$$

Продольное изгибающее компенсационное напряжение в заделке обоих плеч определяется по формуле:

$$\sigma_a = C \cdot \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l_M} = 5,7 \cdot 0,0526 \cdot \frac{159}{10 \cdot 2} = 2,38 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}. \quad (6.9)$$

Полученное значение не превышает заданного предела 8 кгс/мм^2 , следовательно, размеры плеч достаточны и Г-образный участок может быть использован для самокомпенсации.

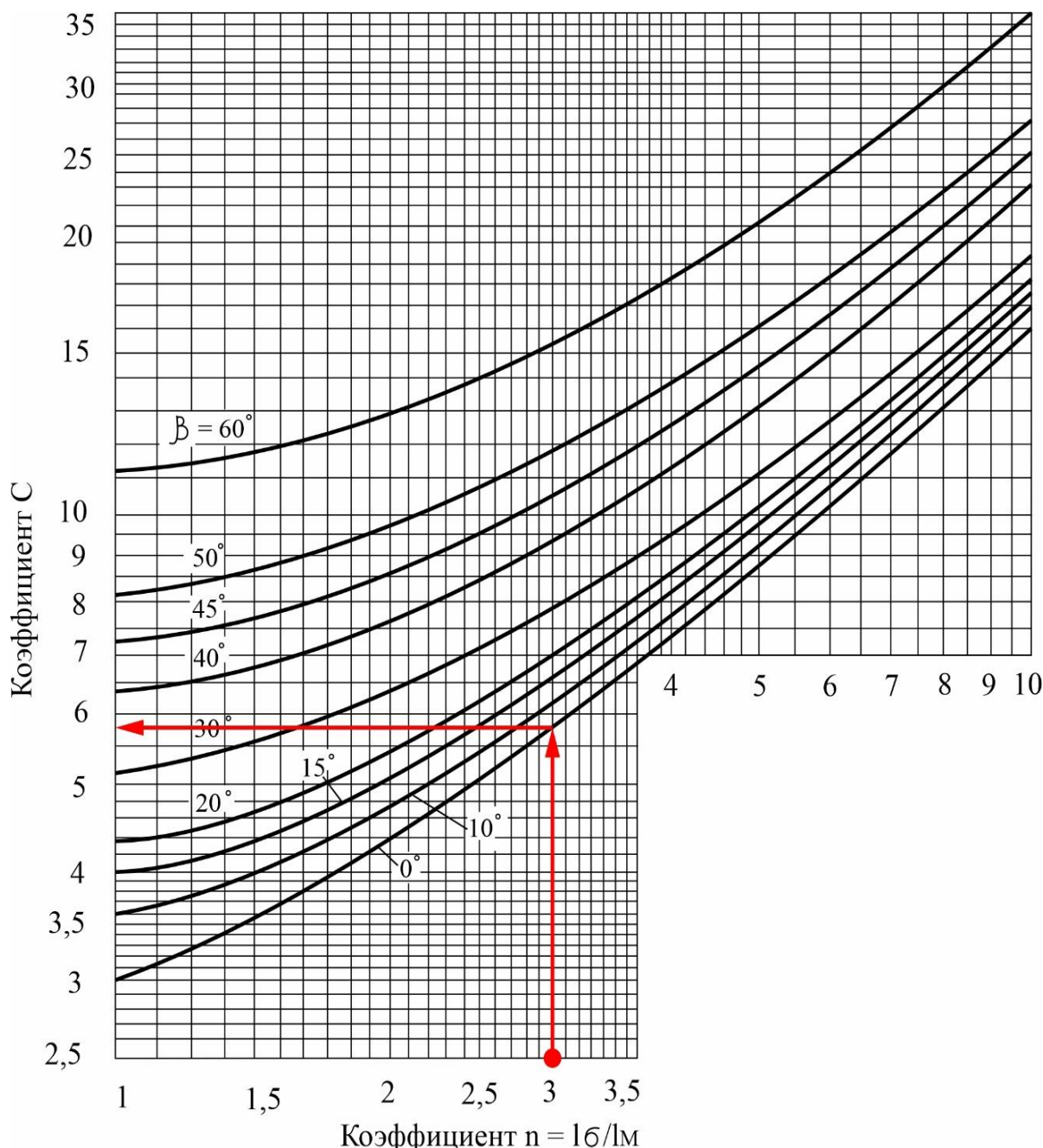


Рис. 6.10. Номограмма для расчёта участка самокомпенсации трубопровода, D_H 219 мм (УП1, на участке УТ2–УТ3) [7]

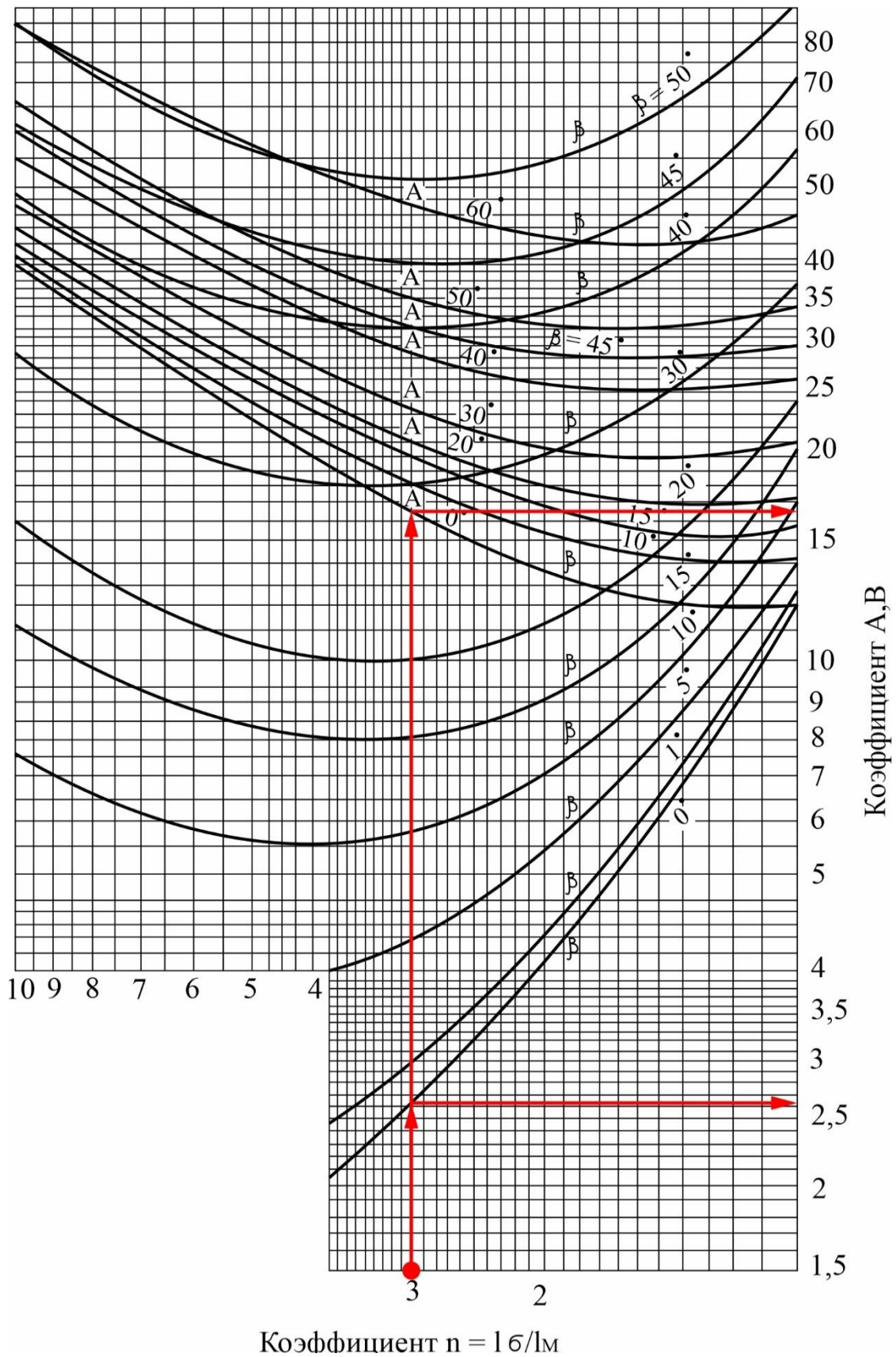


Рис. 6.11. Номограмма для расчёта участка самокомпенсации трубопровода, D_n 219 мм (УП1, на участке УТ2–УТ3) [7]

Определение усилий на неподвижную опору

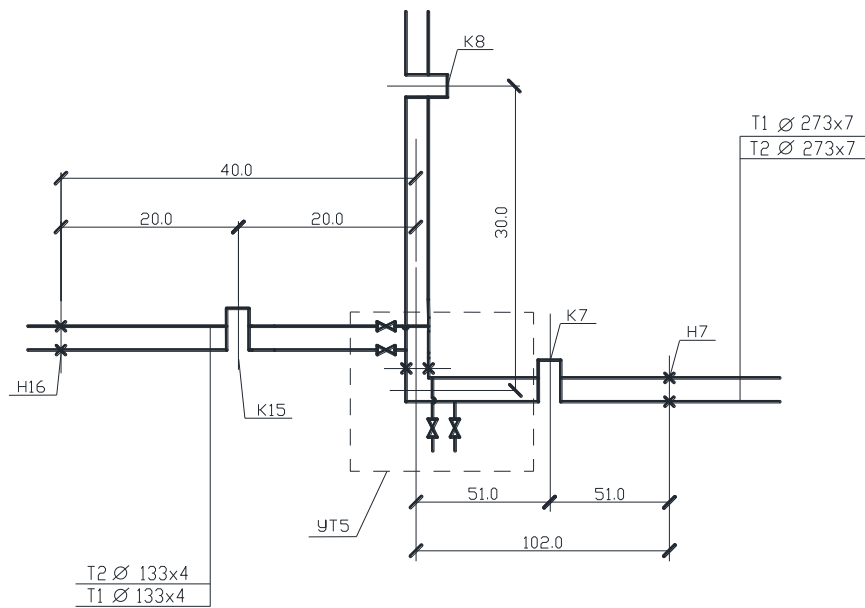
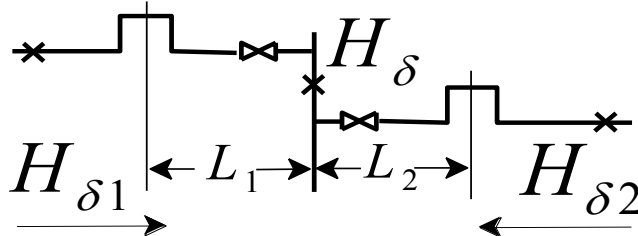


Рис. 6.12. Схема сети, УТ5

Определим усилие на неподвижную опору Н8, расположенную в УТ5.
Расчёт произведён для схемы 11 [7, табл. VI.29]:



$$D_1 = 133 \times 4 \text{ мм},$$

$$D_2 = 273 \times 7 \text{ мм},$$

$$l_1 = 20 \text{ м},$$

$$l_2 = 51 \text{ м}.$$

Силу упругой деформации П-образного компенсатора $D_y = 125 \text{ мм}$ ($D_H = 133 \text{ мм}$) определим, зная тепловое удлинение участка трубопровода длиной 40 м:

$$\Delta l_1 = 1,242 \cdot 10^{-2} \cdot 40 \cdot (130 + 29) = 78,99 \text{ мм}.$$

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

$$\Delta l_{расч1} = 0,5 \cdot 79 = 39,5 \text{ мм}.$$

При спинке компенсатора, равной половине вылета компенсатора, т.е. при $B=0.5 \cdot H$ и при расчётном тепловом удлинении находим вылет компенсатора и силу упругой деформации по номограмме на листе VI.11 [7], рис. 6.13: $p_{к1}=0,33\text{т}$.

Тепловое удлинение участка трубопровода $D_y = 250\text{мм}$ ($D_n 273\text{ мм}$) длиной 102 м:

$$\Delta l_2 = 1,242 \cdot 10^{-2} \cdot 102 \cdot (130 + 29) = 201,43 \text{ мм.}$$

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

$$\Delta l_{расч2} = 0,5 \cdot 201,43 = 100,72\text{мм.}$$

При спинке компенсатора, равной половине вылета компенсатора, т.е. при $B=0.5 \cdot H$ и при расчётном тепловом удлинении находим вылет компенсатора и силу упругой деформации по номограмме на листе VI.13 [7], рис. 6.14: $p_{к2}=1,1\text{т}$.

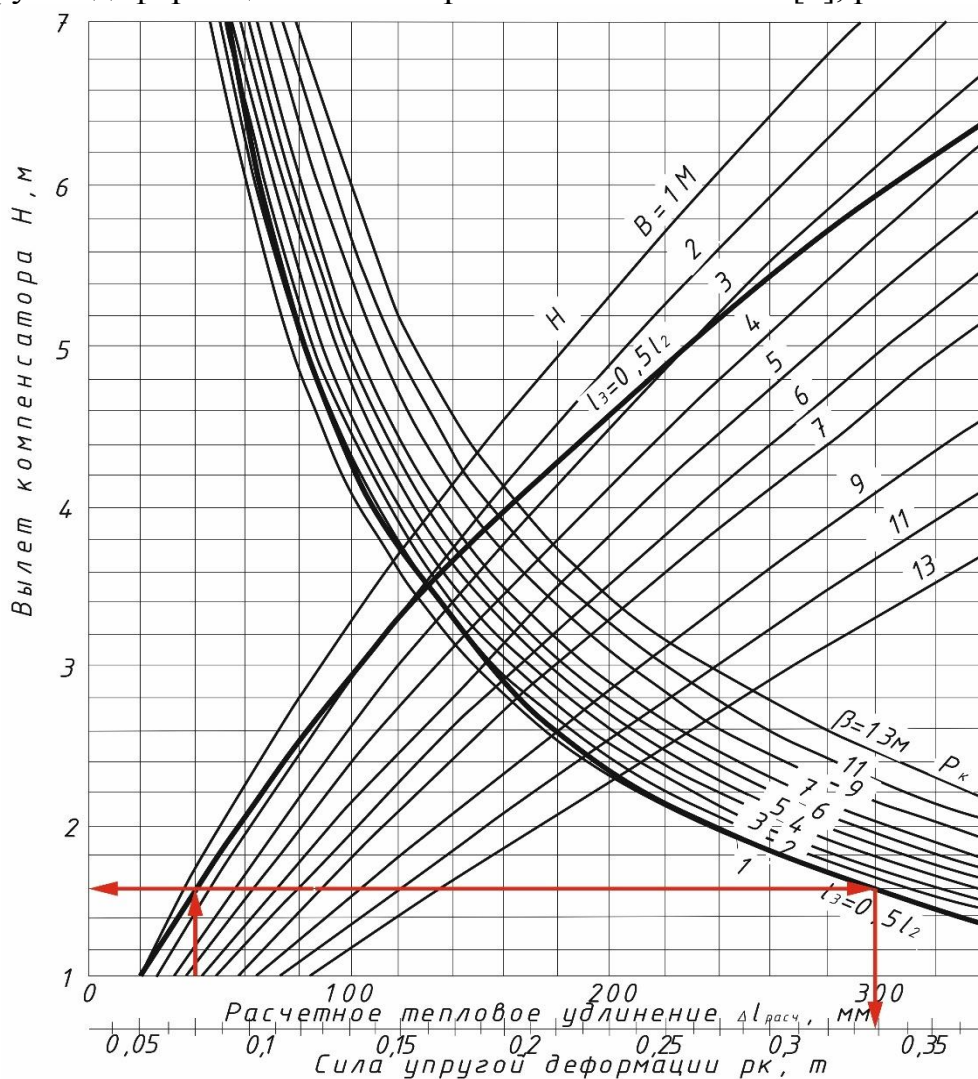


Рис. 6.13. Номограмма для расчёта П-образного компенсатора с гнутыми отводами, $D_n 133\text{ мм}$ (К15, на участке УТ5–УТ10) [7]

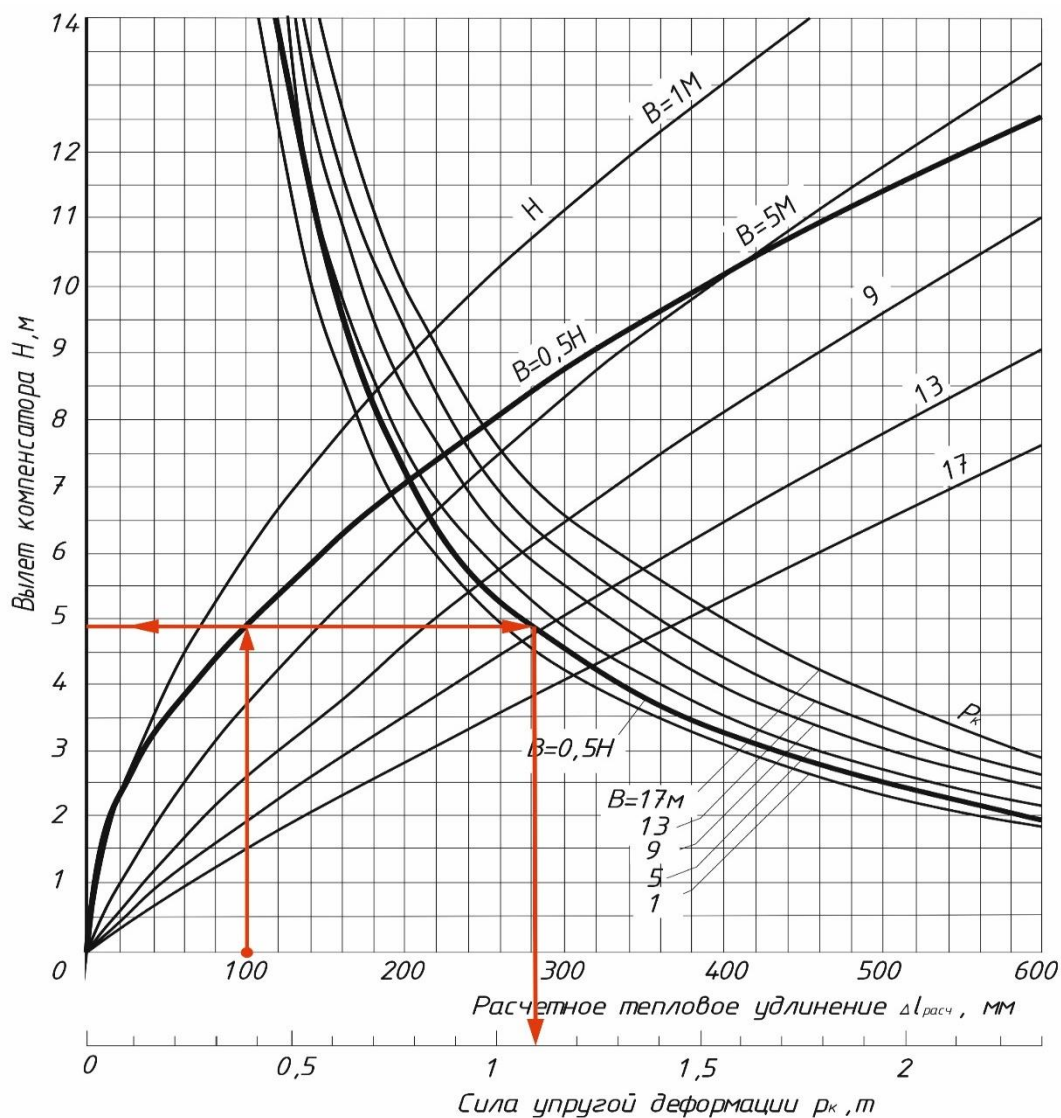


Рис. 6.14. Номограмма для расчёта П-образного компенсатора со сварными отводами, D_n 273 мм (К7, на участке УТ4–УТ5) [7]

Осевые силы, действующие на неподвижную опору, определяются по формуле:

$$H_{\delta 1} = P_{k1} + q_1 \cdot \mu \cdot L_1 = 0,33 + 39,9 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,57 \text{ т}, \quad (6.10)$$

$$H_{\delta 2} = P_{k2} + q_2 \cdot \mu \cdot L_2 = 1,1 + 124,4 \cdot 0,3 \cdot 51 \cdot 10^{-3} = 3,00 \text{ т}, \quad (6.11)$$

где $\mu = 0,3$ – коэффициент трения в подвижных опорах труб; при трении стали по стали $\mu = 0,3 \div 0,4$;

$q_1 = 39,9$ кгс, $q_2 = 124,4$ кгс – вес одного метра трубопровода в рабочем состоянии, включающий вес трубы, теплоизоляционной конструкции, табл. П5, прил. 5 [10]:

$L_1 = 20$ м, $L_2 = 51$ м – длина трубопровода от неподвижной опоры до компенсатора, рис. 6.12;

$P_{k1} = 0,33$ т, $P_{k2} = 1,1$ т – силы упругой деформации П-образных компенсаторов, рис. 6.13 и 6.14.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П1

Удельные показатели максимальной тепловой нагрузки на отопление и вентиляцию жилых домов, Вт/м² [2]

Этажность жилых зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_o °С										
	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55
Для зданий строительства до 1995 г.											
1–3-этажные одноквартирные отдельностоящие	146	155	165	175	185	197	209	219	228	238	248
2–3-этажные одноквартирные облокированные	108	115	122	129	135	144	153	159	166	172	180
4–6-этажные кирпичные	59	64	69	74	80	86	92	98	103	108	113
4–6-этажные панельные	51	56	61	65	70	75	81	85	90	95	99
7–10-этажные кирпичные	55	60	65	70	75	81	87	92	97	102	107
7–10-этажные панельные	47	52	56	60	65	70	75	80	84	88	93
Более 10 этажей	61	67	73	79	85	92	99	105	111	117	123
Для зданий строительства после 2000 г.											
1–3-этажные одноквартирные отдельностоящие	76	76	77	81	85	90	96	102	105	107	109
2–3-этажные одноквартирные облокированные	57	57	57	60	65	70	75	80	85	88	90
4–6-этажные	45	45	46	50	55	61	67	72	76	80	84
7–10-этажные	41	41	42	46	50	55	60	65	69	73	76
11–14-этажные	37	37	38	41	45	50	54	58	62	65	68
Более 15 этажей	33	33	34	37	40	44	48	52	55	58	61
Для зданий строительства после 2010 г.											
1–3-этажные одноквартирные отдельностоящие	65	66	67	70	73	78	83	87	91	93	94
2–3-этажные одноквартирные облокированные	49	49	50	52	58	64	69	73	77	79	80
4–6-этажные	40	41	42	44	49	55	59	64	67	71	74
7–10-этажные	36	37	38	40	43	48	50	57	60	64	67
11–14-этажные	34	35	36	37	41	45	50	53	56	59	62
Более 15 этажей	31	32	34	35	38	43	47	50	53	56	58

Этажность жилых зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_o °С										
	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55
Для зданий строительства после 2015 г.											
1–3-этажные одно-квартирные отдельно-стоящие	60	61	62	64	67	72	77	81	84	85	86
2–3-этажные одно-квартирные облоки-рованные	47	48	49	51	55	59	64	67	71	73	74
4–6-этажные	37	38	40	42	45	49	55	59	64	66	69
7–10-этажные	34	35	36	37	40	42	48	52	56	59	62
11–14-этажные	31	32	33	35	37	41	45	49	52	55	57
Более 15 этажей	30	31	32	33	36	40	43	47	50	52	55

Приложение 2

Коэффициенты линейного расширения трубных сталей α и модуль упругости E [7]

Температура стенки трубы, °С	$\alpha \cdot 10^2$, мм/м·°С	$E \cdot 10^{-6}$, кгс/см ²	Температура стенки трубы, °С	$\alpha \cdot 10^2$, мм/м·°С	$E \cdot 10^{-6}$, кгс/см ²	Температура стенки трубы, °С	$\alpha \cdot 10^2$, мм/м·°С	$E \cdot 10^{-6}$, кгс/см ²
20	1,18	2,05	150	1,25	1,93	250	1,31	1,82
75	1,20	1,99	175	1,27	1,915	275	1,32	1,79
100	1,22	1,975	200	1,28	1,875	300	1,34	1,755
125	1,24	1,95	225	1,30	1,847	325	1,35	1,727

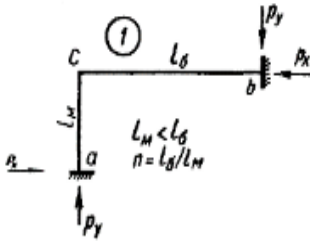
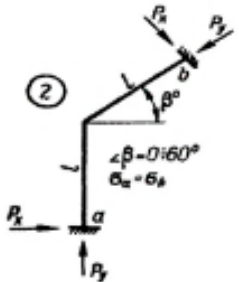
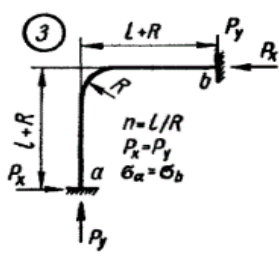
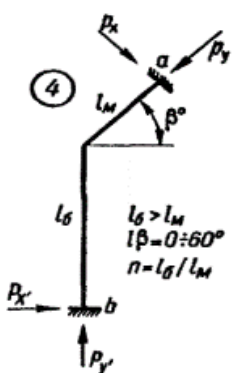
Приложение 3

Основные характеристики сальниковых компенсаторов [7]

D_y , мм	D_n , мм	Наружный диаметр расточки стакана $D_{с.н}$, мм	Площадь сечения стакана F_c , см ²	Наружный диаметр фланцев $D_{ф.н}$, мм	Наружный диаметр корпуса $D_{к.н}$, мм	Длина компенсатора A_m , мм	Наибольшая компенсирующая способность ℓ_k , мм	Масса, кг
100	108	104	85	190	133	820/1620	250/2×250	20,5/41,6
125	133	128	129	115	159	835/1620		25,4/49,9
150	159	154	186	250	194	990/1900	300/2×300	43,8/86,4
200	219	212	353	345	273	1160/2160		92/177
250	273	265	552	395	325	1210/2160		125,9/243
300	325	318	794	450	377	1170/2160		158/305
350	377	370	1075	500	426	1175/2160		167/318
400	426	418	1372	560	478	1360/2560		400/2×400

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

Формулы для определения сил упругой деформации p_x и p_y , кгс, и изгибающих компенсационных напряжений σ , кгс/мм³ при расчёте участков трубопроводов на самокомпенсацию

<p>Схема расчётного участка</p>	<p>Расчётные формулы</p>
	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; \sigma_a = C_a \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M}; \sigma_b = C_b \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M}; \sigma_c = C_c \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l_M}$
	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; \sigma_a = C \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l}$
	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot R^2}; \sigma_a = C \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot R}$
	$p_x^l = A^l \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_y^l = B^l \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l_M^2}; \sigma_a = C \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot l}$

	$p_x = A \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; p_y = B \frac{\alpha E l \Delta t}{10^7 \cdot l^2}; \sigma_a = C_a \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l}; \sigma_c = C_c \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l};$ $\sigma_d = C_d \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l}; \sigma_b = C_b \frac{\alpha E D_H \Delta t}{10^7 \cdot 2l}$
--	--

Примечание

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

Таблица П4.2

Вспомогательные величины для вычисления p_x , p_y и σ

$D_H, \text{ см}$	$s, \text{ мм}$	$R, \text{ м}$	$\frac{\alpha E l}{10^7},$ кгс · м ² /°С	$\frac{\alpha E D}{10^7},$ кгс · м/мм ² · °С	$\frac{\alpha E l}{10^7 \cdot R^2},$ кгс /°С	$\frac{\alpha E D_H}{10^7 \cdot R},$ кгс/мм ² · °С
3,2	2,5	0,15	0,0061	0,00768	0,271	0,0512
3,8	2,5	0,15	0,0106	0,00912	0,46	0,0608
4,5	2,5	0,2	0,0181	0,0108	0,454	0,054
5,7	3,5	0,2	0,0506	0,0137	1,27	0,0685
7,6	3,5	0,35	0,126	0,0182	1,03	0,0521
8,9	3,5	0,35	0,206	0,0214	1,69	0,0611
10,8	4	0,5	0,425	0,0259	1,7	0,0518
13,3	4	0,5	0,809	0,0319	3,24	0,0633
15,9	4,5	0,6	1,56	0,0382	4,35	0,0636
19,4	5	0,7	3,18	0,0466	6,5	0,0665
21,9	6	0,85	5,47	0,0526	7,57	0,0618
27,3	7	1	12,4	0,0655	12,4	0,0655
32,5	8	1,2	24	0,078	16,7	0,065
37,7	9	1,5	42,3	0,0905	18,8	0,0604
42,6	9	1,7	61,6	0,102	21,3	0,0601

Данные для расчёта нагрузок на опоры [11]

Условные проходы	мм	32	40	50	70	80	100	125	150	175	200	250	300
Наружный диаметр	мм	38	45	57	76	89	108	133	159	194	219	273	326
Внутренний диаметр	мм	33	40	51	70	82	100	125	150	184	207	259	310
Толщина стенки трубы	мм	2,5	2,5	3	3	3,5	4	4	4,5	5	6	7	8
Толщина изоляции подающей водяной и паровой трубы	мм	40	40	50	50	50	50	60	60	60	60	60	60
Наружный диаметр изоляции	мм	118	125	157	176	189	208	253	279	314	339	393	446
Вес 1 пог. м подающей трубы:													
а) труба	кГ/м	2,15	2,6	4,0	5,4	7,3	10,2	12,7	17,2	23,2	31,5	46,7	62,5
б) вода	кГ/м	0,82	1,26	2,04	3,85	5,34	7,85	12,3	17,7	26,7	33,4	52,7	75,5
в) изоляция	кГ/м	4,0	4,3	6,8	7,9	8,9	10,1	14,9	16,6	18,8	21,1	25,0	29,0
г) общий вес	кГ/м	7,0	8,2	12,8	17,2	21,5	28,2	39,9	51,6	68,7	86,0	124,4	167
Пролёт между подвижными опорами	м	3,7	4,3	4,8	5,5	6,0	7,3	7,4	8,2	8,9	10,2	11,4	12,4
Вес пролёта трубы	кГ	25,8	35,2	61,5	94,5	129	206	296	422	612	877	1420	2070
Расчётная вертикальная нагрузка на свободную опору	кГ	39	53	92	141	193	309	444	633	918	1310	2130	3105
Осевое усилие на свободную скользящую опору	кГ	15,6	21,2	37	56	77	124	178	254	366	525	855	1240
Сила трения в сальниковом компенсаторе	кГ	–	–	–	–	510	680	1000	1220	1750	2090	2870	3750
Осевое усилие внутреннего давления	кГ	131	202	328	620	856	1260	1970	2840	4270	5350	8450	12100

Условные проходы	мм	350	400	400	450	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Наружный диаметр	мм	377	426	426	478	529	630	720	820	920	1020	1120	1220
Внутренний диаметр	мм	359	408	414	466	515	616	704	804	902	1000	1098	1196
Толщина стенки трубы	мм	9	9	6	6	7	7	8	8	9	10	11	12
Толщина изоляции подающей водяной и паровой трубы	мм	70	70	70	70	70	70	80	80	90	90	100	100
Наружный диаметр изоляции	мм	517	566	566	618	669	770	880	980	1100	1200	1320	1420
Вес 1 пог. м подающей трубы													
а) труба	кГ/м	81,5	91,6	62,0	69,4	90	107	139	160	201	248	300	355
б) вода	кГ/м	101,5	130,5	135	69,5	208	290	390	506	640	786	944	1120
в) изоляция	кГ/м	39,0	43,5	43,5	48,0	52,0	61,5	80,5	91,5	114	126	155	170
г) общий вес	кГ/м	222	265,6	240,5	286,9	350	458,5	609,5	757,5	955	1160	1449	1645
Пролёт между подвижными опорами	м	13,5	14,5	12,6	12,5	13,8	13,8	14,4	14,4	17,0	17,0	18,4	19,0
Вес пролёта трубы	кГ	3000	3860	3000	3580	4830	6320	8750	10900	16200	19700	26600	31200
Расчётная вертикальная нагрузка на свободную опору	кГ	4500	5796	4500	5370	7245	9480	13125	16350	24300	29550	39900	46800
Осевое усилие на свободную скользящую опору	кГ	1800	2320	1800	2150	2900	3800	5250	6550	9750	11800	16000	18700
Сила трения в сальниковом компенсаторе	кГ	4200	4600	4760	5700	6600	8800	11300	13000	16000	18800	22000	25000
Осевое усилие внутреннего давления	кГ	16200	20900	21600	27200	33300	46400	62400	81000	103000	126000	151000	179000

Примечания

1. Удельный вес изоляции принят 400 кГ/м³.
2. Рабочее давление в трубопроводе $p=16$ кГ/см².
3. Коэффициент трения на скользящей опоре $\mu = 0,4$.
4. Расстояние между свободными опорами определено, исходя из изгибающего напряжения от веса в рабочем состоянии $\sigma = 350$ кГ/см².
5. Трубы $d \leq 400$ мм – бесшовные; трубы $d \geq 400$ мм электросварные с продольным швом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99. – Введ. в действ. 2013-01-01. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2020. – 146 с.
2. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – Введ. в действ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012. – 79 с.
3. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Теплоснабжение» для направления подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве». Ч. I / Сост.: Г.М. Ахмерова. – Казань: КазГАСУ, 2022. – 41 с.
4. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 27.12.2011 № 608) (ред. от 03.12.2016). – 69 с.
5. Копко В.М. Теплоснабжение: курс лекций для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» высших учебных заведений / В.М. Копко. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.
6. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М.: Госстрой России, 2001. – 61 с.
7. Щекин Р.В. и др. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. 1ч.: Отопление и теплоснабжение. – Киев: Будивельник, 1976. – 413 с.
8. Манюк В.И. и др. Справочник. Наладка и эксплуатация водяных и тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1988. – 423 с.
9. Козин К.Е. и др. Теплоснабжение. – М.: Высшая школа, 1980. – 480 с.
10. Громов Н.К. и др. Водяные тепловые сети. Справочное пособие по проектированию. – М.: Энергоиздат, 1988. – 376 с.
11. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 5-е изд. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
12. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. проф. Б.М. Хрусталёва. – М.: Изд-во АСБ, 2008. – 784с.
13. Корпорация Технониколь – производство кровельных, гидроизоляционных и теплоизоляционных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tn.ru/>.
14. Компания ROCKWOOL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rockwool.ru/>.

Ахмерова Гузель Мневеровна

ПРАКТИКУМ

«Примеры расчётов по теплоснабжению»

по дисциплине «**Теплоснабжение**» для студентов направленностей (профилей) «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве зданий» (направление подготовки 08.03.01 «Строительство»), «Строительство и эксплуатация объектов теплоэнергетики и теплотехники» (направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»)