

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель предприятия
п/я ~~Г-2745~~

С.И.Косых

27 10 1988 г.

Руководящий документ

Осесимметричные элементы корпусов
трубопроводной арматуры.
Методические указания по расчету
температурных напряжений

РДМУ 26-07-270-88

Вводится впервые

Дата введения 01.01.89

Настоящий руководящий документ распространяется на корпуса трубопроводной арматуры, работающей в условиях температурных воздействии и устанавливает методики расчета температурных напряжений в осесимметричных элементах корпуса, представляющих собой цилиндрические и сферические тонкостенные оболочки, кольцевые пластины и узкие кольца прямоугольного сечения, и узлах сопряжения указанных элементов.

I. Общие положения

I.1. Для расчета температурных напряжений осесимметричных элементов и узлов корпуса трубопроводной арматуры **используются** основные положения и методы **квазистатической** задачи термоупругости тонких оболочек вращения, пластин и стержней. При нестационарных тепловых режимах время играет роль **параметра**.

I.2. Рассматриваются цилиндрические и **сферические** тонкостенные оболочки вращения, кольцевые **пластины**, узкие кольца **прямоугольного сечения** и узлы сопряжения указанных элементов.

I.2.1. Формулы справедливы при **следующих** условиях с погрешностью порядка 10%:

- для оболочек вращения

$$\frac{s}{z} \leq 0.1 ;$$

- для пластин

$$0.5 < \frac{\sigma^*}{\sigma_m - \sigma_b} \leq 1.2 \quad , \quad \frac{\sigma}{\sigma_b} \leq 1.4 \quad ,$$

- для колец

$$\frac{s_{m.}}{z} \leq 0.2 .$$

Указанные пределы могут быть расширены, что **приводит** к снижению точности расчета.

I.3. Температурная нагрузка - **осесимметричное температурное поле расчетного элемента**.

I.4. Исходными данными для расчета являются:

- **геометрические** размеры;
- **физические** и механические характеристики материала **корпуса**;
- **температурная** нагрузка расчетного элемента.

2. Методика расчета температурных напряжений в отдельных осесимметричных элементах корпуса

2.1. Температурные нагрузки при расчете отдельных осесимметричных элементов корпуса выбраны следующие:

- для оболочек вращения - изменение температуры по толщине оболочки;
- для пластин и колец - изменение температуры по радиусу элемента.

2.2. Температурные напряжения в цилиндрической и сферической оболочках определяются вдали от края на наружной и внутренней поверхности оболочки, для колец и пластин температурные напряжения определяются на наружном или внутреннем крае элемента.

2.3. Для цилиндрической и сферической оболочек температурные напряжения на наружной и внутренней поверхности равны:

$$\begin{aligned} \sigma_{SH} = \sigma_{\theta H} &= \frac{E \alpha_T}{(1-\nu)} (T_S - T_H) , \\ \sigma_{SB} = \sigma_{\theta B} &= \frac{E \alpha_T}{(1-\nu)} (T_S - T_B) . \end{aligned} \quad (1)$$

2.4. Температурные напряжения на наружном или внутреннем крае кольцевой пластины равны:

$$\sigma_z = \sigma_{\theta} = \frac{E \alpha_T}{(1-\nu)} (T_S - T_{пл}) . \quad (2)$$

2.5. Температурные напряжения на наружном или внутреннем крае кольца с радиусом r равны:

$$\sigma_{\theta} = \frac{E \alpha_T (r_H + r_B)}{2r} (T_S - T_K) . \quad (3)$$

2.6. Алгоритм, форма расчета и пример расчета приведены в приложении 2, таблица 2.

3. Методика расчета температурных напряжений в узлах сопряжения

3.1. Температурные напряжения определяются для наиболее распространенных в корпусе арматуры сочетаний **осесимметричных** элементов: двух цилиндрических оболочек различной **толщины**, цилиндрической и сферической оболочек, цилиндрической оболочки с пластиной или кольцом.

Расчетные схемы узлов сопряжения **осесимметричных** элементов корпуса представлены на **рис.1-4**.

3.2. В качестве температурных нагрузок при **расчете** узлов сопряжения выбрана **разность** средних температур сопрягаемых элементов.

3.2.1. В качестве средней температуры **расчетного** элемента выбирается **среднеинтегральная** температура по толщине оболочки или по площади поперечного сечения кольца, пластины.

3.3. Расчет температурных напряжений в узлах сопряжений при наличии разности средних **температур** осесимметричных элементов корпуса **выполняется** в месте стыка сопрягаемых элементов по формулам, представленным в таблице I.

3,4» Алгоритм, форма и пример расчета приведены в приложении 2, **таблица 3**.

3.5. Температурные напряжения в узлах сопряжения от **действия** различных видов нагрузок определяются как сумма напряжений по **методике** раздела 2 и п.3.3.

Расчетные схемы узлов сопряжения
осесимметричных элементов корпуса

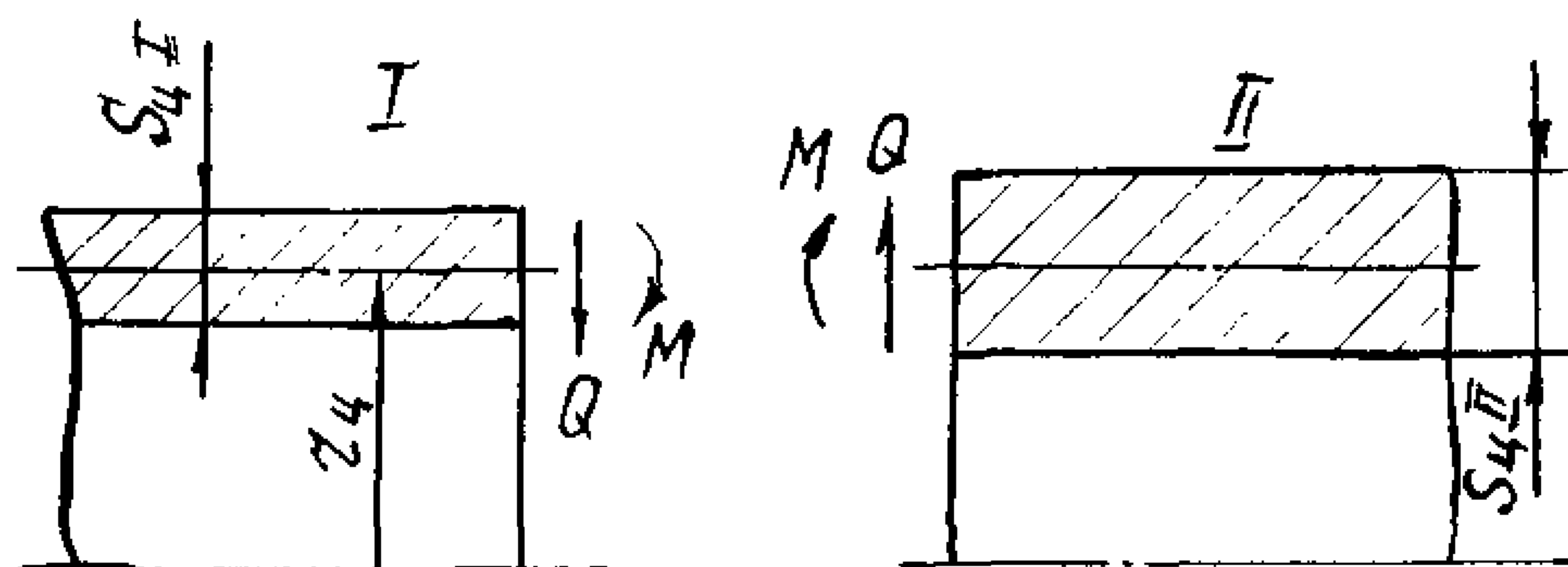


Рис.1. Узел сопряжения двух цилиндрических оболочек

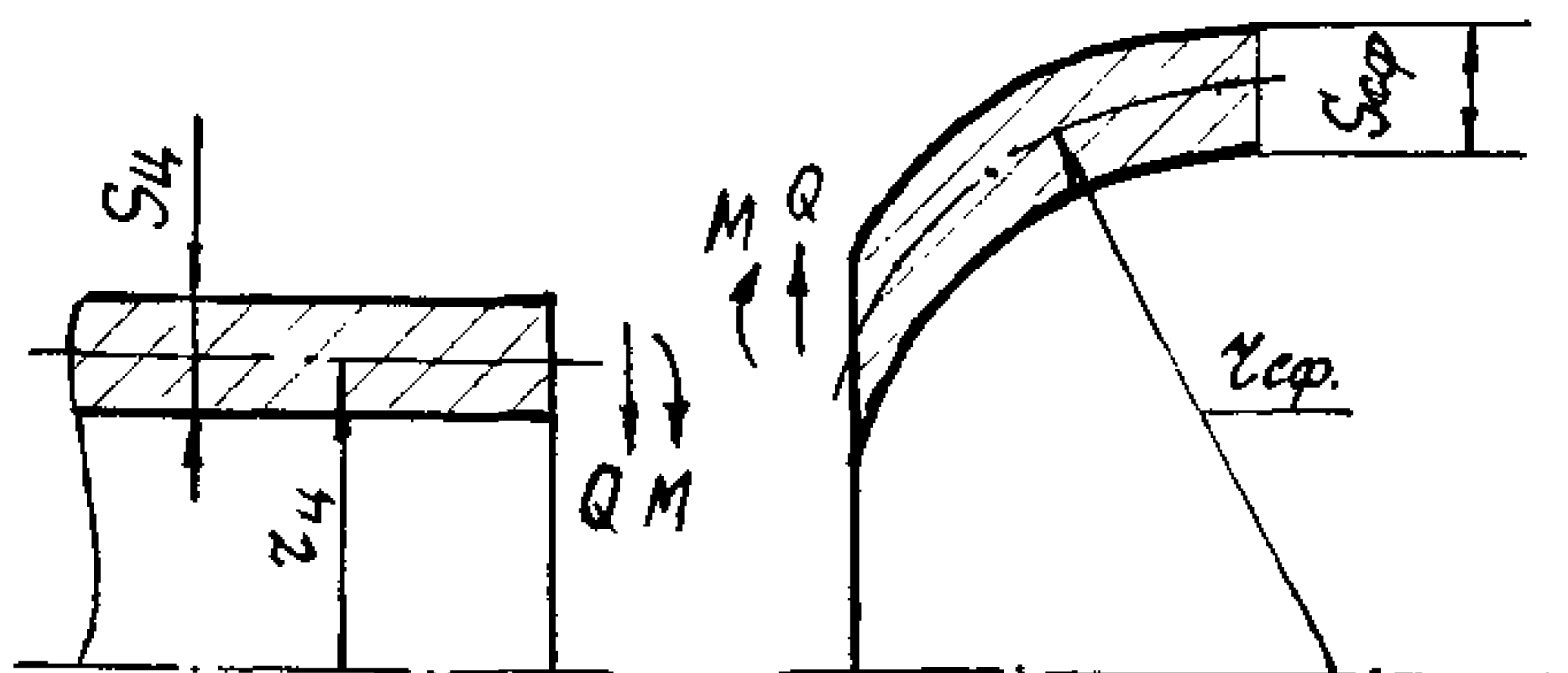


Рис.2. Узел сопряжения цилиндрической и сферической оболочек

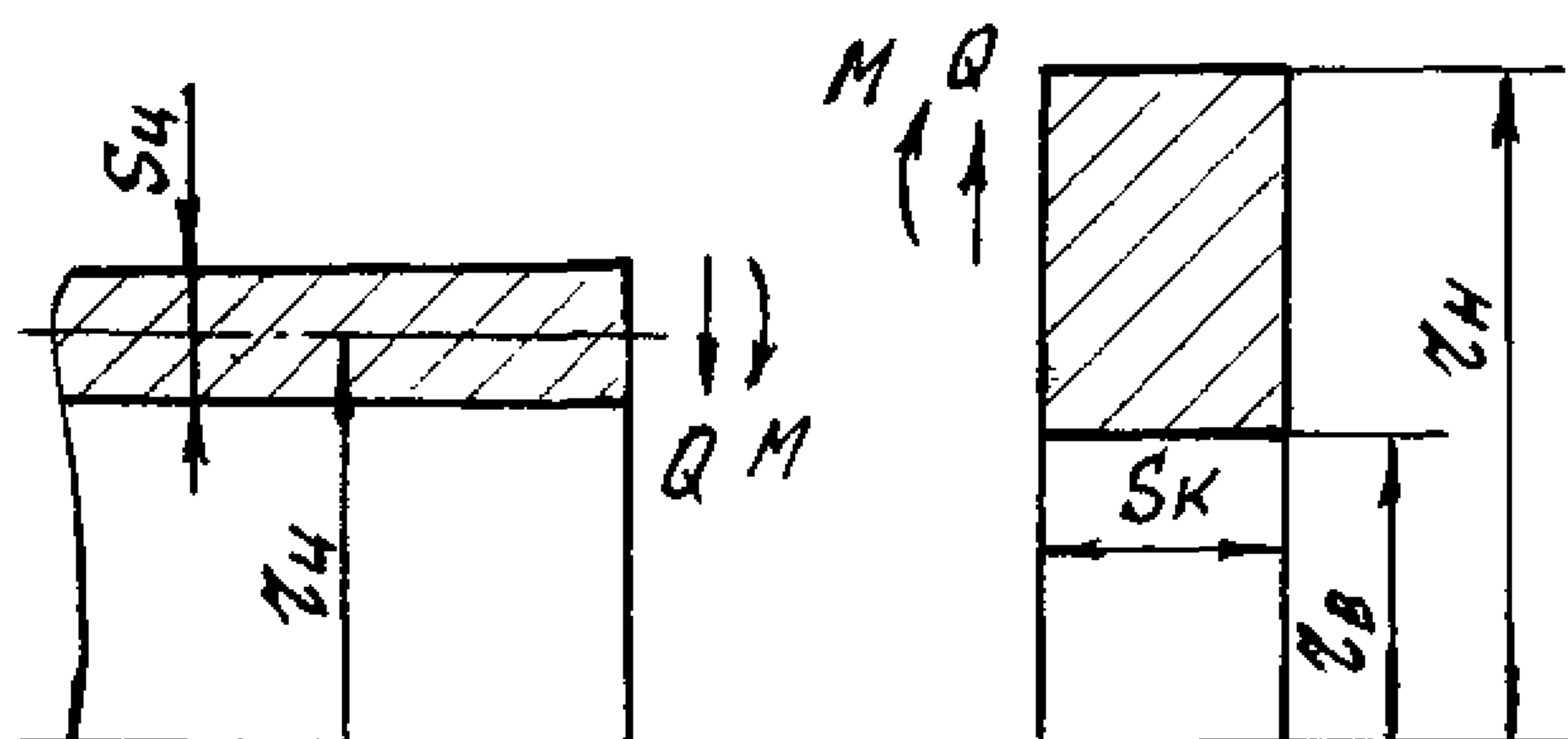


Рис.3. Узел сопряжения цилиндрической оболочки с кольцом

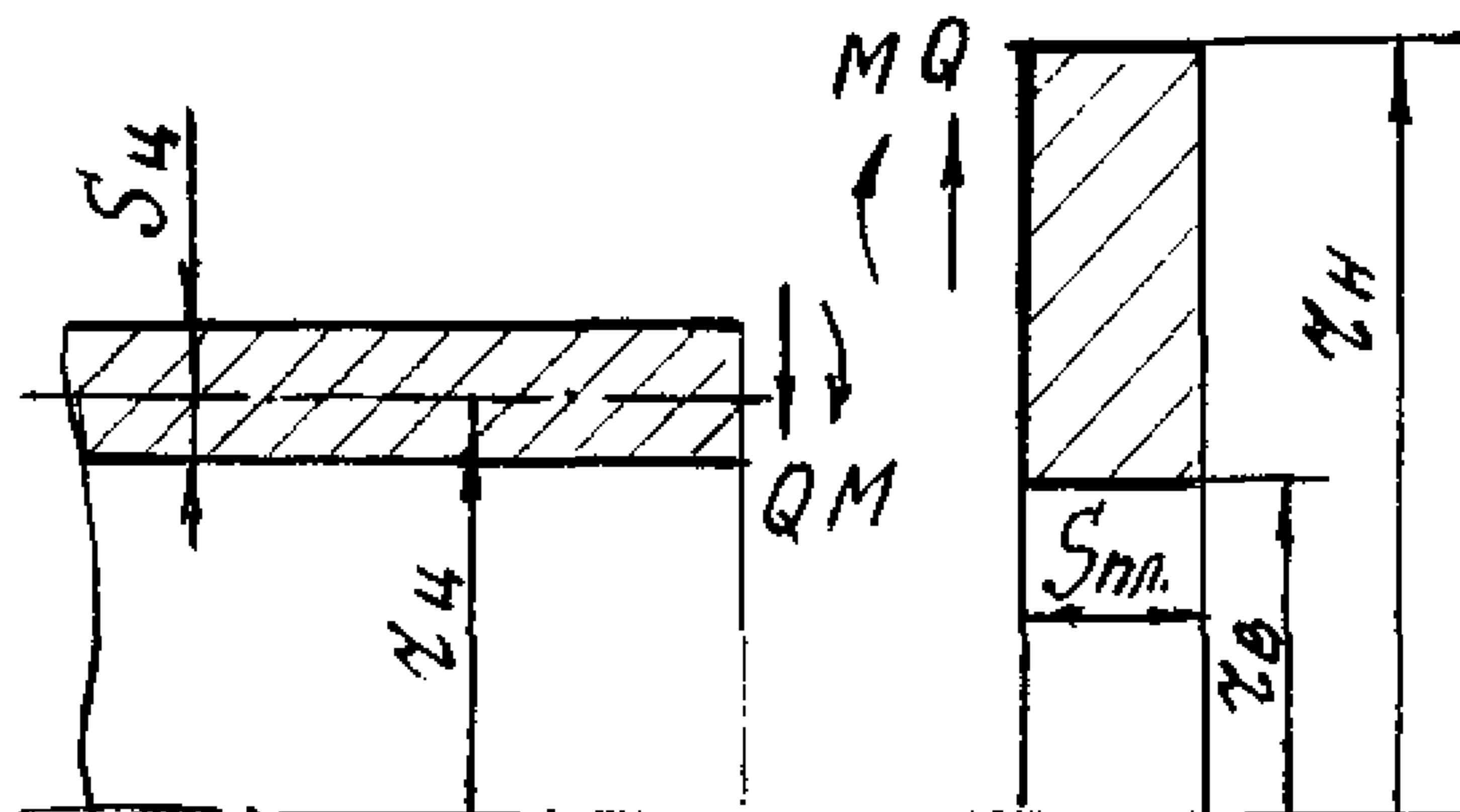


Рис.4 Узел сопряжения цилиндрической оболочки с пластиной

Таблица I

Температурные напряжения в узлах сопряжения двух осесимметричных элементов корпуса

С.6

№	Расчетная схема	Исходные данные по температурным нагрузкам	Краевые усилия и моменты	Температурные напряжения		Примечание
				Элемент I	Элемент II	
I	Узел сопряжения двух цилиндрических оболочек различной толщины (Рис. I)	$(T_s)_{цI}, (T_s)_{цII};$ $\Delta T_4 = (T_s)_{цI} - (T_s)_{цII}$	$M_4 = -0.303 \frac{E \alpha_T \Delta T_4 (1-H^2) S^2}{G_4}$ $Q_4 = \frac{E \alpha_T \Delta T_4 (1+H^2 \sqrt{H}) S \sqrt{5}}{1.285 \sqrt{z_4} G_4}$	$\sigma_M = \frac{6 M_4}{S^2}$ $\sigma_q = \frac{2.57 \sqrt{z_4} Q_4}{S \sqrt{5}}$ $\sigma_{SH} = \sigma_M,$ $\sigma_{\theta H} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M,$ $\sigma_{SB} = -\sigma_M,$ $\sigma_{\theta B} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M$	$\sigma_M = \frac{6 M_4 H^2}{S^2},$ $\sigma_q = \frac{2.57 H \sqrt{H} \sqrt{z_4}}{S \sqrt{5}} Q_4;$ $\sigma_{SH} = \sigma_M,$ $\sigma_{\theta H} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M,$ $\sigma_{SB} = -\sigma_M,$ $\sigma_{\theta B} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M.$	$S = S_{цI}$ $H = \frac{S_{цI}}{S_{цII}},$ $G_4 = 1 + H^4 + 2H^2 + 2H\sqrt{H} + 2H^2\sqrt{H}$
2	Узел сопряжения цилиндрической оболочки со сферической (рис. 2)	$(T_s)_4, (T_s)_{сф};$ $\Delta T_{сф} = (T_s)_4 - (T_s)_{сф}$	$M_{сф} = -0.303 \frac{E \alpha_T \Delta T_{сф} (1-H^2) S^2}{G_{сф}}$ $Q_{сф} = \frac{E \alpha_T \Delta T_{сф} (1+H^2 \sqrt{H} \sqrt{\frac{z_{сф}}{z_4}})}{1.285 \sqrt{z_4} G_{сф}} S \sqrt{5}$	$\sigma_M = \frac{6 M_{сф}}{S^2},$ $\sigma_q = \frac{2.57 \sqrt{z_4} Q_{сф}}{S \sqrt{5}}$ $\sigma_{SH} = \sigma_M,$ $\sigma_{\theta H} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M,$ $\sigma_{SB} = -\sigma_M,$ $\sigma_{\theta B} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M.$	$\sigma_M = \frac{6 M_{сф} H^2}{S^2}$ $\sigma_q = \frac{2.57 H \sqrt{H} \sqrt{z_4}}{S \sqrt{5}} Q_{сф};$ $\sigma_{SH} = \sigma_M,$ $\sigma_{\theta H} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M,$ $\sigma_{SB} = -\sigma_M,$ $\sigma_{\theta B} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M.$	$S = S_4,$ $H = \frac{S_4}{S_{сф}};$ $G_{сф} = 1 + H^4 + 2H^2 + 2H\sqrt{H} \sqrt{\frac{z_4}{z_{сф}}} + 2H^2\sqrt{H} \sqrt{\frac{z_{сф}}{z_4}}$

Продолжение табл. I

№ п. п.	Расчетная схема	Исходные данные по температурным нагрузкам	Краевые усилия	Температурные напряжения		Примечание
				Элемент I	Элемент II	
3	Узел сопряжения цилиндрической оболочки с кольцом (Рис. 3)	$(Ts)_ц, (Ts)_к;$ $\Delta T_k = (Ts)_ц - (Ts)_к$	$M_k = \frac{S^2 E \alpha_T \Delta T_k (3W_k - 1.652)}{6 G_k},$ $Q_k = \frac{E \alpha_T \Delta T_k S}{G_k} (0.708 \sqrt{\frac{S}{z_ц}} + W_k H).$	$\sigma_M = \frac{6 M_k}{S^2},$ $\sigma_q = \frac{2.57 Q_k \sqrt{z_ц}}{S \sqrt{S}};$ $\sigma_{SH} = \sigma_M,$ $\sigma_{\theta H} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M,$ $\sigma_{SB} = -\sigma_M,$ $\sigma_{\theta B} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M.$	$\sigma_\theta = \frac{(1-R)^2}{R} \chi_k \left(\frac{Q_k}{S_k} + \frac{6 M_k}{S_k^2} \right)$	$S = S_ц, H = \frac{S_ц}{S_k},$ $R = \frac{z_B}{z_H}, \chi_k = \frac{(1+R)}{(1-R)},$ $W_k = \chi_k H^2,$ $G_k = 0.91 + W_k^2 + W_k \left(\frac{2.832 \sqrt{S_ц}}{H \sqrt{z_ц}} + 3.304 + \frac{z_ц}{S_ц} + 2.57 H \sqrt{\frac{z_ц}{S_ц}} \right)$ $H = \frac{S_ц}{S_m}; R = \frac{z_B}{z_H},$ $\chi_m = \frac{1.3 + 0.7 R^2}{(1-R)},$ $W_m = \chi_m H^2,$ $G_m = 0.91 + W_m^2 + W_m \left(\frac{0.708 \sqrt{S_ц}}{H \sqrt{z_ц}} + 2.57 H \sqrt{\frac{z_ц}{S_ц}} \right)$
4	Узел сопряжения цилиндрической оболочки с пластиной (Рис. 4)	$(Ts)_ц, (Ts)_{пл};$ $\Delta T_m = (Ts)_ц - (Ts)_{пл}$	$M_m = -1.652 \frac{E \alpha_T \Delta T_m S_ц^2}{G_{пл} 6},$ $Q_{пл} = \frac{E \alpha_T \Delta T_m S_ц}{G_{пл}} (0.708 \sqrt{\frac{S_ц}{z_ц}} + W_m H)$	$\sigma_M = \frac{6 M_m}{S_ц^2},$ $\sigma_q = \frac{2.57 Q_{пл} \sqrt{z_ц}}{S_ц \sqrt{S_ц}};$ $\sigma_{SH} = \sigma_M,$ $\sigma_{\theta H} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M,$ $\sigma_{SB} = -\sigma_M,$ $\sigma_{\theta B} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M.$	$\sigma_\theta = \frac{(1+R^2)}{(1-R^2)} \left(\frac{Q_{пл}}{S_m} + \frac{6 M_m}{S_m^2} \right),$ $\sigma_z = \frac{Q_{пл}}{S_m} + \frac{6 M_m}{S_m^2}$	

4. Упрощенная методика расчета температурных напряжений для предельных тепловых режимов работы корпуса (квазистационарных режимов и термоударов)

4.1. С целью сокращения времени проведения прочностных расчетов при оценке температурных напряжений в корпусе арматуры предлагается упрощенная методика расчета **модельного** узла корпуса арматуры на температурные воздействия для двух предельных **тепловых** режимов.

4.1. Модельный узел корпуса арматуры **представляет** собой узел сопряжения двух **полубесконечных** тонкостенных цилиндрических оболочек различной толщины.

4.2. Предельными тепловыми режимами работы арматуры являются:

- а) **квазистационарные** режимы;
- б) термоудары.

4.3. Температурные напряжения определяются вдали от зоны сопряжения расчетных элементов и в зоне сопряжения расчетных элементов.

4.4. Упрощенная методика расчета температурных напряжений при квазистационарных режимах работы **арматуры**.

4.4.1. Исходными данными для **расчета** являются:

- **тепловые** параметры режима;
- геометрические размеры;
- физические и **механические характеристики** материала корпуса.

Коэффициент температуропроводности **определяется** по справочнику /6/ или по формуле $\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$, в которой входящие величины находятся по **теплофизическим справочникам**.

4.4.2. Если **тепловые** параметры режима **удовлетворяют** условию

$$Fo_x \gg 3, \quad (4)$$

где $Fo_x = \frac{\alpha (T_{ep} - T_0)}{\sqrt{\tau} S^2}$ - предельное число Фурье

для квазистационарных режимов, выполняется упрощенный расчет темпе-

ратурных напряжений.

4.4.3. Расчет температурных напряжений не производится, если

$$\sigma_v < \sigma_{ycl}$$

где
$$\sigma_v = \frac{E \alpha T \sqrt{f} S^2}{3 \alpha (1-\nu)} \quad (5)$$

4.4.3.1. В качестве σ_{ycl} может быть выбрано значение напряжения составляющего 5-10% от предела текучести

4.4.4. Температурные напряжения вдали от зоны сопряжения расчетных элементов определяются по формулам:

$$\sigma_{\text{ТЕМП}} = \begin{cases} \sigma_{SH} = \sigma_{\theta H} = 0,5 \sigma_v, \\ \sigma_{SB} = \sigma_{\theta B} = - \sigma_v. \end{cases} \quad (6)$$

4.4.5. Температурные напряжения в зоне сопряжения расчетных элементов определяются по формулам:

$$\sigma_{\text{ТЕМП}} = \begin{cases} \sigma_{SH} = \sigma_v (0,5 + 2,1 f_{SH}), \\ \sigma_{\theta H} = \sigma_v (0,5 + 2,1 f_{\theta H}), \\ \sigma_{SB} = \sigma_v (-1,0 + 2,1 f_{SB}), \\ \sigma_{\theta B} = \sigma_v (-1,0 + 2,1 f_{\theta B}). \end{cases} \quad (7)$$

4.4.5.1. Коэффициенты f_{SH} , $f_{\theta H}$, f_{SB} , $f_{\theta B}$, зависящие от соотношения толщин сопрягаемых элементов, находят по графику на рис.5.

4.5. Упрощенная методика расчета температурных напряжений при термоударах.

4.5.1. Исходными данными для расчета являются:

- начальная и конечная температуры рабочей среды;
- физические и механические характеристики материала корпуса.

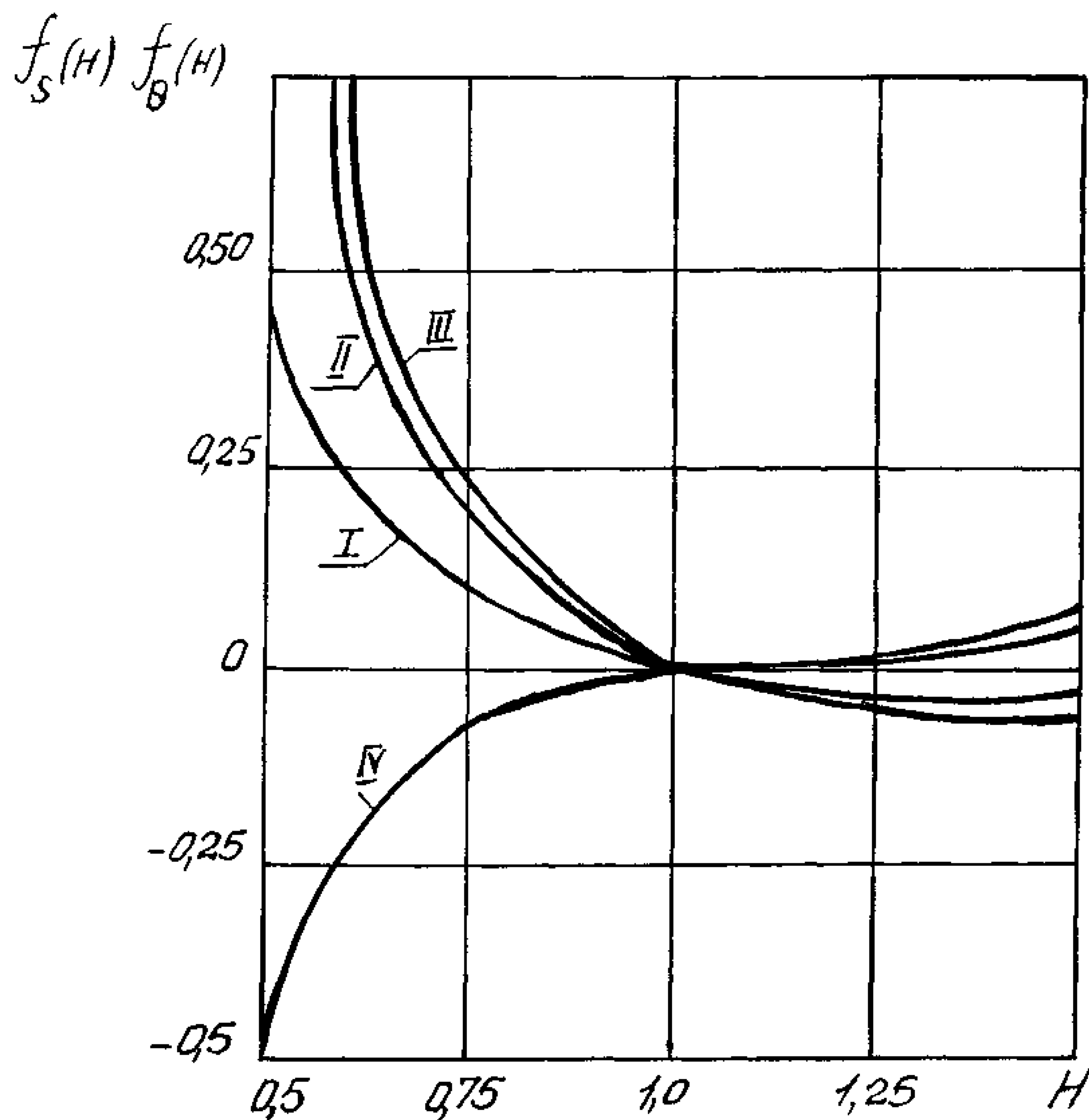


Рис.5. Коэффициенты в модельном узле
корпуса арматуры

- I - f_{sH} на наружной поверхности оболочки;
 II- $f_{\theta H}$ на наружной поверхности оболочки;
 III - f_{sH} на внутренней поверхности оболочки;
 IV- $f_{\theta H}$ на внутренней поверхности оболочки.

4.5.2. Расчет температурных напряжений вдали от зоны сопряжения и в самой зоне сопряжения расчетных элементов выполняется в момент времени близкой к начальному, когда температурная нагрузка максимальна, по следующим формулам:

$$\sigma_{\text{ТЕМП}} = \begin{cases} \sigma_{SH} = \sigma_{\theta H} = \frac{0.112 E \alpha_r (T_{cp} - T_0)}{(1-\nu)} , \\ \sigma_{SB} = \sigma_{\theta B} = - \frac{0.887 E \alpha_r (T_{cp} - T_0)}{(1-\nu)} \end{cases} \quad (10)$$

4.6. Алгоритм, форма и пример расчета приведены в приложении 2, таблица 4.

Главный инженер
предприятия п/я А-7899

М.И.Власов

Заместитель руководителя

В.А.Айриев

Начальник отдела I6I

Р.И.Хасанов

Начальник отдела II8

Р.А.Азарашвили

Руководитель темы,
ответственный исполнитель

О.П.Котельникова

Условные обозначения

- α - коэффициент температуропроводности, $\frac{m^2}{сек}$;
 E - модуль упругости материала расчетного элемента, $МПа$;
 $f_{sh}, f_{oh}, f_{sb}, f_{ob}$ - коэффициенты на рис.5;
 For - предельные значения числа Фурье для квазистационарных режимов;
 M, Q - краевые усилия и моменты;
 $r_{y, cp}$ - радиус срединной поверхности оболочки, mm ;
 r_n, r_b - наружный и внутренний радиусы кольца или пластины;
 r_k - наружный или внутренний радиус кольца, mm ;
 δ - толщина оболочки, mm ;
 $S_k, \delta_{пл}$ - толщина кольца или пластины, mm ;
 T_0 - начальная температура рабочей среды, $^{\circ}C$;
 T_{cp} - конечная температура рабочей среды, $^{\circ}C$;
 T_s - средняя температура расчетного элемента, $^{\circ}C$;
 T_n - температура на наружной поверхности оболочки, $^{\circ}C$;
 T_b - температура на внутренней поверхности оболочки, $^{\circ}C$;
 T_k - температура на наружном или внутреннем крае кольца с радиусом r , $^{\circ}C$;
 $T_{пл}$ - температура на наружном или внутреннем крае пластины, $^{\circ}C$;
 $\dot{T}$ - скорость изменения температуры рабочей среды, $^{\circ}C/сек$;
 α_t - коэффициент линейного расширения материала, $1/^{\circ}C$;
 ν - коэффициент Пуассона;
 σ_{temp} - температурные напряжения расчетного элемента, $МПа$;
 $\sigma_{temp}^{мин}$ - минимальное значение температурного напряжения, $МПа$;
 σ_{sh}, σ_{sb} - меридиональные температурные напряжения на наружной и внутренней поверхности оболочки, $МПа$;

- $\sigma_{\theta n}, \sigma_{\theta b}$ - кольцевые температурные напряжения на наружной и внутренней поверхности оболочки, МПа;
- σ_{θ} - кольцевые температурные напряжения, МПа;
- σ_r - радиальные температурные напряжения, МПа;
- σ_v - температурные напряжения при квазистационарном режиме, МПа;
- λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м °С;
- c - удельная теплоемкость, кДж/кг °С;
- ρ - плотность, кг/м³.

Расчет температурных напряжений в отдельных
осесимметричных элементах и узлах сопряжения
корпуса трубопроводной арматуры

1. Задача расчета.

Задачей расчета является определение следующих температурных напряжений в осесимметричных элементах и узлах корпуса:

σ_{SH} σ_{SB} - меридиональные температурные напряжения на наружной и внутренней поверхности оболочек;

$\sigma_{\theta H}$ $\sigma_{\theta B}$ - кольцевые температурные напряжения на наружной и внутренней поверхности оболочек;

σ_r - радиальные напряжения в пластине;

σ_{θ} - кольцевые напряжения в пластине или кольце.

Индексы $ц$, $сф$, A . $пл$ относятся соответственно к цилиндрической, сферической оболочке, кольцу и пластине.

2. Исходные данные:

S, z, z_H, z_B - геометрические размеры (см. рис. 1-4);

E, α, ν - модуль упругости, коэффициент линейного расширения, коэффициент Пуассона;

T_H, T_B - температуры на наружной и внутренней поверхности оболочки

T_S - средняя температура расчетного элемента;

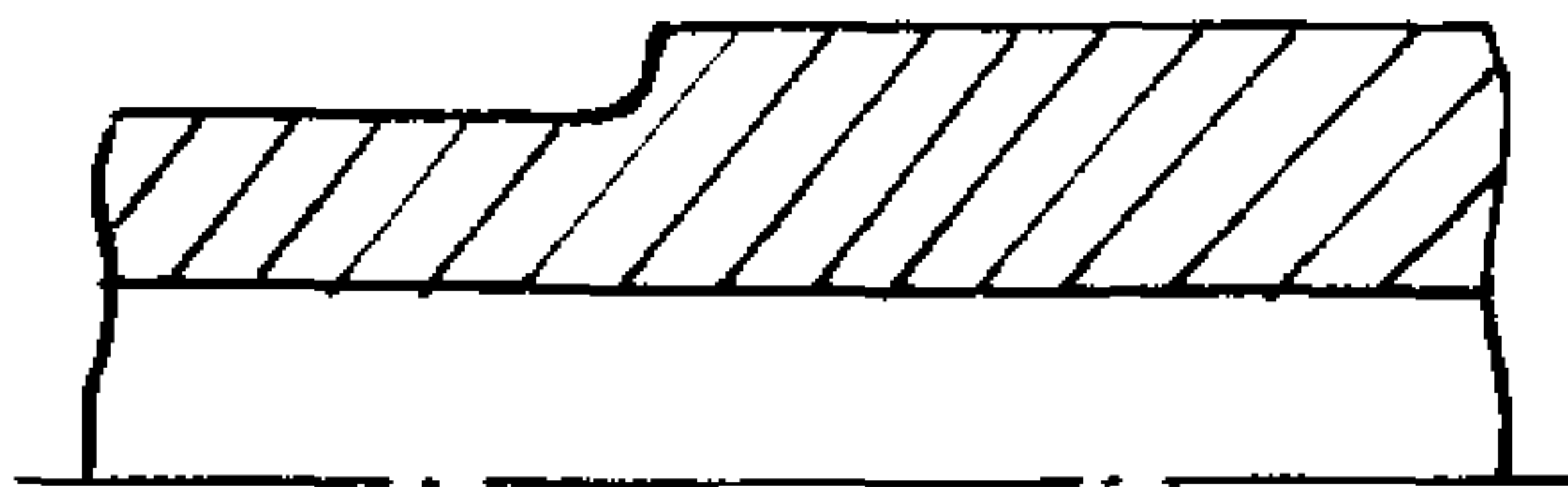
$T_K, T_{пл}$ - температура в расчетной точке кольца или пластины.

3. Расчет температурных напряжений в корпусе арматуры выполнен по методике РДМУ 26-07- 270 -88.

4. Расчет выполнен для распространенных узлов корпуса арматуры (рис. 6).

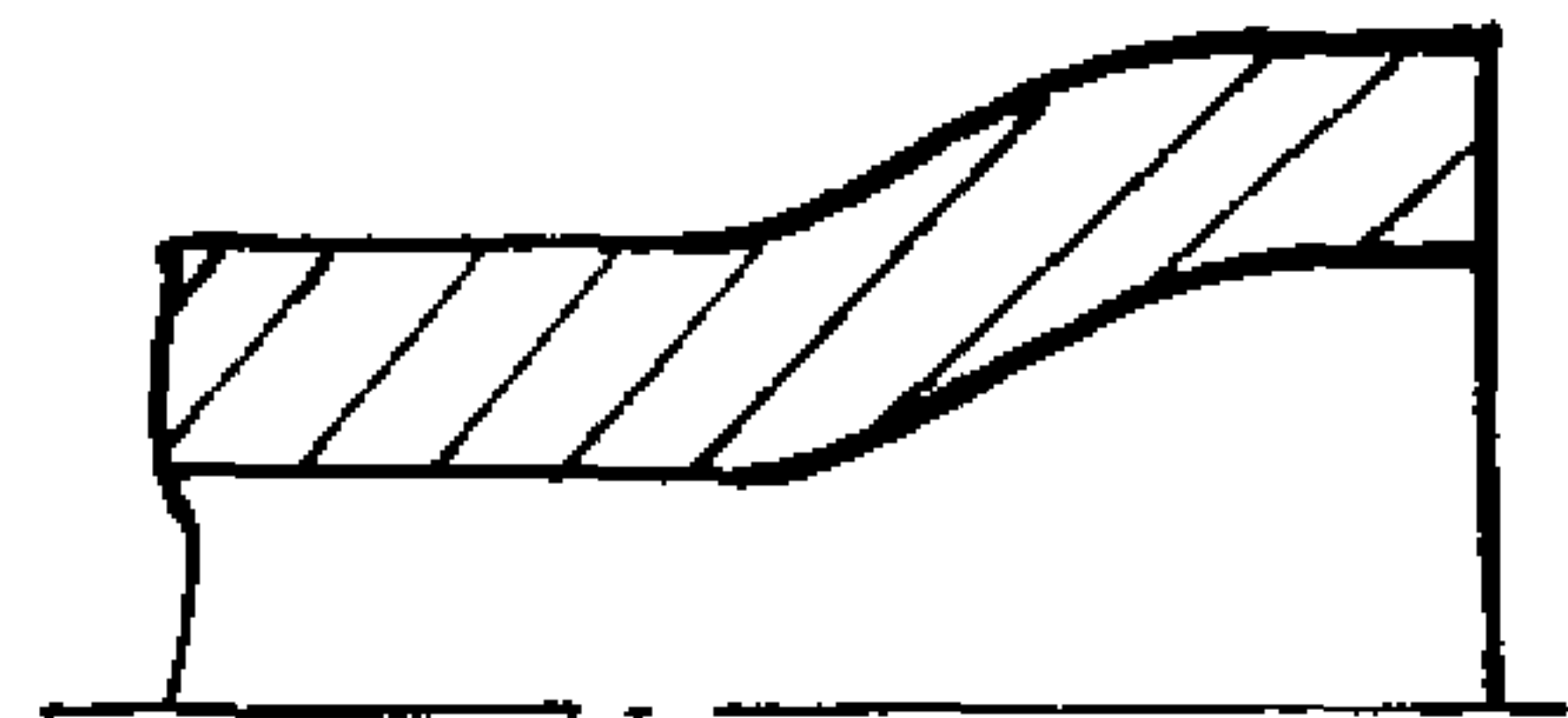
5. Алгоритм расчета, форма и пример расчета приведены на таблицах 2, 3, 4.

Узел I



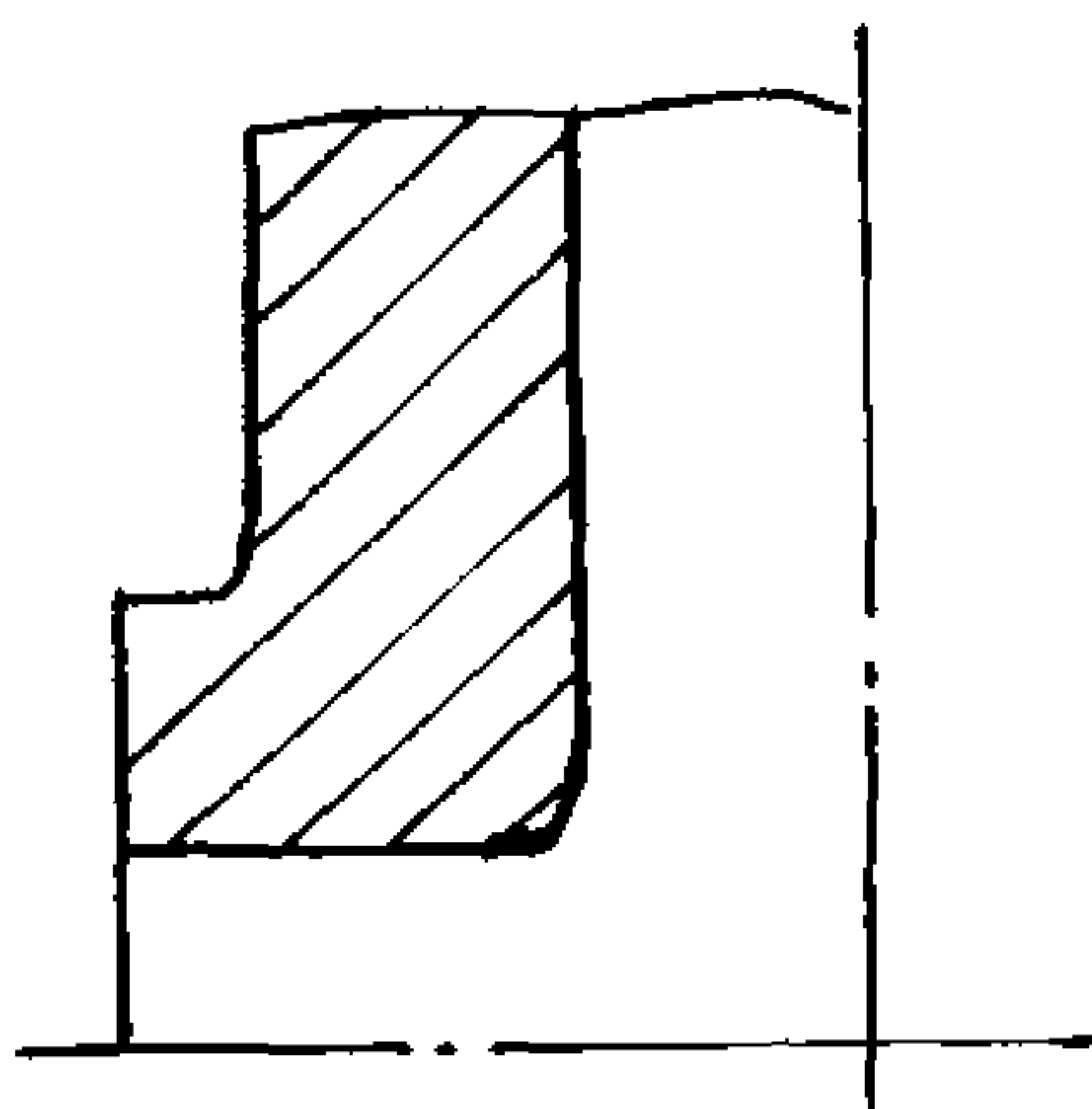
Расчетная схема
п.2.3. и табл. I п.п.1 (Рис.1)

Узел II



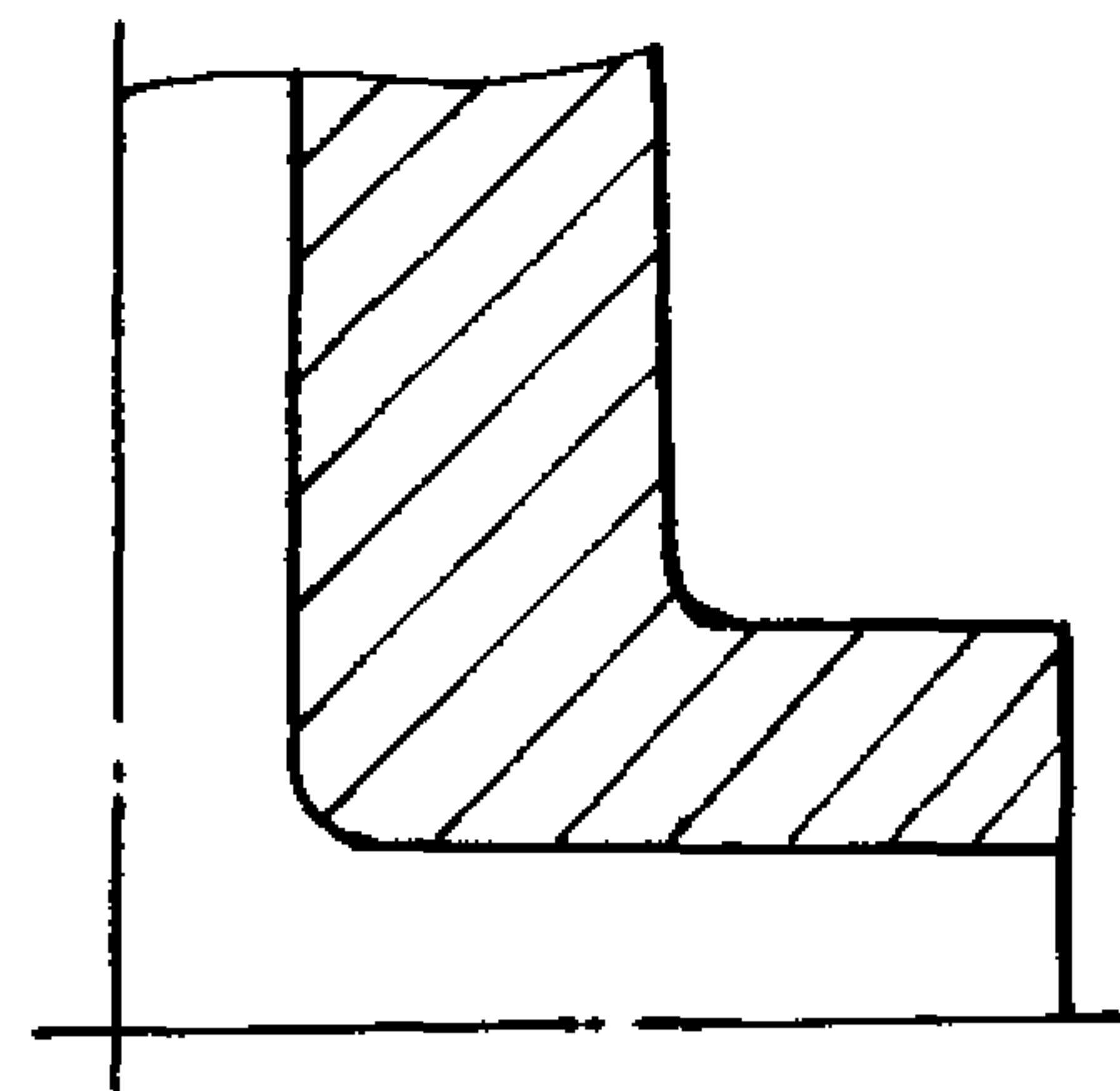
Расчетная схема
п.2.3. и табл. I
п.п.2 (рис.2)

Узел III



Расчетная схема
п.2.4. и табл. I п.п.3
(Рис.3)

Узел IV



Расчетная схема
п.2.5. и табл. I п.п.4
(Рис.4)

Рис.6. Расчетные узлы корпуса трубопроводной арматуры.

Отдельные осесимметричные элементы корпуса арматуры

Таблица 2

Расчетные величины и формулы		
<u>Исходные данные</u>		
Материал		12Х18Н10Т
См. п. 1.4.	E , МПа	$1,97 \cdot 10^5$
	α_T , $1/^\circ\text{C}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$
	ν , $^\circ\text{C}$	0,3
	T_H , $^\circ\text{C}$	20
См. п. 2.3.	T_B , $^\circ\text{C}$	300
	$(T_S)_y$, $^\circ\text{C}$	100
	$(T_S)_K$, $^\circ\text{C}$	60
	$(T_S)_m$, $^\circ\text{C}$	80
	T_K , $^\circ\text{C}$	300
См. рис 1-4	$T_{пл}$, мм	300
	z_H , мм	140
	z_B , мм	90
	z_K , мм	90
$K = \frac{E \alpha_T}{(1-\nu)}$, МПа/ $^\circ\text{C}$		4,981
<u>Цилиндрическая и сферическая оболочка</u>		
$\sigma_{SH} = \sigma_{\theta H} = K (T_S - T_H)$, МПа		398
$\sigma_{SB} = \sigma_{\theta B} = K (T_S - T_B)$, МПа		-996
<u>Пластина</u>		
$\sigma_\theta = \sigma_z = K (T_S - T_m)$, МПа		-1096
<u>Кольцо</u>		
$\sigma_\theta = E \alpha_T \frac{(z_H + z_B)}{2 z_K} (T_S - T_K)$, МПа		-1069

Узлы сопряжения, состоящие из двух элементов корпуса арматуры

Таблица 3

Расчетные величины и формулы		
Узел I (см.рис.6)		
Узел сопряжения двух цилиндрических оболочек различной толщины (см.рис.1)		
Исходные данные		
п.1.4.	Материал	12X18H10T
п.2.1.	E _____, МПа	$1,97 \cdot 10^5$
п.2.2.	α_T _____, 1/°C	$1,77 \cdot 10^{-5}$
см.рис.1	z _____, мм	100
	S_{4I} _____, мм	20
	S_{4II} _____, мм	30
см.п.3.3	$(T_5)_{4I}$ _____, °C	100
	$(T_5)_{4II}$ _____, °C	80
Вспомогательные величины		
$H = \frac{S_{4I}}{S_{4II}}$		0,667
$K1 = 1 - H^2$		0,555
$K2 = 1 + H^2 \sqrt{H}$		1,363
$G_4 = 1 + H^4 + 2H^2 + 2H\sqrt{H} + 2H^2\sqrt{H}$		3,9
$\Delta T_4 = (T_5)_{4I} - (T_5)_{4II}$ _____, °C		20
$\sigma_4^* = E \alpha_T \Delta T_4$ _____, МПа		70
$M1 = -1,816 \sigma_4^* K1 / G_4$		-18,09
$Q1 = \frac{\sigma_4^* K2}{G_4}$		24,46

Продолжение табл.3

Расчетные величины и формулы		
<u>Температурные напряжения в цилиндрической оболочке I</u>		
$\sigma_{SH} = M_1$	, МПа	-18
$\sigma_{\theta H} = 2Q_1 - 0.25 M_1$	, МПа	54
$\sigma_{SB} = - M_1$	, МПа	18
$\sigma_{\theta B} = 2Q_1 - 0.85 M_1$	, МПа	64
<u>Температурные напряжения в цилиндрической оболочке II</u>		
$\sigma_{SH} = H^2 M_1$	, МПа	-8
$\sigma_{\theta H} = 2H\sqrt{H} Q_1 - 0.25 H^2 M_1$	, МПа	30
$\sigma_{SB} = - H^2 M_1$	, МПа	8
$\sigma_{\theta B} = 2H\sqrt{H} Q_1 - 0.85 H^2 M_1$	, МПа	37
Узел II (см. рис.6)		
<u>Узел сопряжения цилиндрической оболочки со сферической (см. рис.2)</u>		
<u>Исходные данные</u>		
п. I.4	Материал	12X18H10T
	E , МПа	$1,97 \cdot 10^5$
см. рис. 2	α_T , $1/^\circ\text{C}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$
	S_4 , мм	20
	$S_{сф}$, мм	30
	r_4 , мм	100
	$r_{сф}$, мм	150

Продолжение табл.3

Расчетные величины и формулы		
См. п. 3.3	$(T_s)_y$, °C	100
	$(T_s)_{ср}$, °C	80
<u>Вспомогательные величины</u>		
$H = \frac{S_y}{S_{ср}}$		0,555
$K_1 = 1 - H^2$		0,691
$K_2 = 1 + H^2 \sqrt{H} \sqrt{\frac{\alpha_{ср}}{\alpha_y}}$		1,667
$G_{ср} = 1 + H^4 + 2H^2 + 2H \sqrt{H} \sqrt{\frac{\alpha_y}{\alpha_{ср}}} + 2H^2 \sqrt{H} \sqrt{\frac{\alpha_{ср}}{\alpha_y}}$		3,6
$\Delta T_{ср} = (T_s)_y - (T_s)_{ср}$, °C		20
$\sigma_{ср}^* = E \alpha_T \Delta T_{ср}$, МПа		70
$M_1 = -1816 \frac{\sigma_{ср}^* K_1}{G_{ср}}$		-24,4
$Q_1 = \frac{\sigma_{ср}^* K_2}{G_{ср}}$		32,41
<u>Температурные напряжения в цилиндрической оболочке</u>		
$\sigma_{SH} = M_1$, МПа		-24
$\sigma_{SB} = -\sigma_{SH}$, МПа		71
$\sigma_{OH} = 2Q_1 - 0.25 M_1$, МПа		24
$\sigma_{OB} = 2Q_1 - 0.85 M_1$, МПа		85
<u>Температурные напряжения в сферической оболочке</u>		
$\sigma_{SH} = H^2 M_1$, МПа		-11
$\sigma_{SB} = -\sigma_{SH}$, МПа		38
$\sigma_{OH} = 2H \sqrt{H} Q_1 - 0.25 H^2 M_1$, МПа		11
$\sigma_{OB} = 2H^2 \sqrt{H} Q_1 - 0.85 H^2 M_1$, МПа		44

Продолжение табл.3

Расчетные величины и формулы		
Узел I (см.рис.6)		
<u>Узел сопряжения цилиндрической оболочки с кольцом (Рис.3)</u>		
<u>Исходные данные</u>		
См. п.1.4.	Материал	12X18H10T
	E , МПа	$1,97 \cdot 10^5$
См. рис.3	α_T , $1/^\circ\text{C}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$
	S_4 , мм	20
	S_K , мм	50
	z_H , мм	140
	z_B , мм	90
	z_4 , мм	100
См. п.3.3.	$(T_s)_4$, $^\circ\text{C}$	100
	$(T_s)_K$, $^\circ\text{C}$	60
<u>Вспомогательные величины</u>		
$R = \frac{z_B}{z_H}$		0,643
$H = \frac{S_4}{S_K}$		0,4
$X_K = \frac{(1+R)}{2(1-R)}$		2,3
$W_K = X_K H^2$		0,368

Продолжение табл.3

Расчетные величины и формулы		
$G_K = 0.91 + W_K^2 +$		
$+ W_K \left(\frac{2.832}{H} \sqrt{\frac{S_4}{z_4}} + 3.304 + 2.57 H \sqrt{\frac{z_4}{S_4}} \right)$		4,272
$\Delta T_K = (T_3)_4 - (T_5)_K$	, °C	40
$\sigma_K^* = E_{\sigma} \Delta T_K$	, МПа	140
$M_K = \frac{S_4^2}{6} \frac{\sigma_K^* (3 W_K - 1.652)}{G_K}$	, МПа мм	-1197
$Q_K = \frac{S_4 \sigma_K^*}{G_K} \left(0.708 \sqrt{\frac{S_4}{z_4}} + W_K H \right)$	, МПа мм	304
$\sigma_M = \frac{6 M_K}{S_4^2}$	, МПа	-18
$\sigma_q = \frac{2.57 Q_K \sqrt{z_4}}{S_4 \sqrt{S_4}}$	, МПа	87
<u>Температурные напряжения в цилиндрической оболочке</u>		
$\sigma_{SH} = \sigma_M$	, МПа	-18
$\sigma_{SB} = -\sigma_{SH}$	, МПа	92
$\sigma_{OH} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M$	, МПа	18
$\sigma_{OB} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M$	, МПа	102
<u>Температурные напряжения в кольце</u>		
$\sigma_\theta = \frac{(1-R)}{R} \chi_K^2 \left(\frac{Q_K}{S_K} + \frac{6 M_K}{S_K^2} \right)$	, МПа	9,4
Узел IY (см.рис.6)		
<u>Узел сопряжения цилиндрической оболочки с пластиной (см.рис.4)</u>		
<u>Исходные данные</u>		
См. п. I.4. Материал	12X18H10T	

Продолжение табл.

Расчетные величины и формулы		
См. п.1.4.	E , МПа	$1,97 \cdot 10^5$
	α_T , $1/^\circ\text{C}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$
См. рис. 4	S_4 , мм	20
	z_4 , мм	100
	$S_{\text{пл}}$, мм	20
	z_H , мм	140
	z_B , мм	90
	$z_{\text{пл}}$, мм	90
См. п.3.3.	$(T_s)_4$, $^\circ\text{C}$	100
	$(T_s)_{\text{пл}}$, $^\circ\text{C}$	80
<u>Вспомогательные величины</u>		
$R = \frac{z_B}{z_H}$		0,643
$H = \frac{S_4}{S_{\text{пл}}}$		1,0
$X_{\text{пл}} = \frac{1,3 + 0,7 R^2}{(1 - R^2)}$		0,932
$W_{\text{пл}} = X_{\text{пл}} H^2$		0,932
$G_{\text{пл}} = 0,91 + W_{\text{пл}}^2 +$		
$+ W_{\text{пл}} \left(\frac{0,708}{H} \sqrt{\frac{S_4}{z_4}} + 2,57 H \sqrt{\frac{z_4}{S_4}} \right)$		7,42
$\Delta T_{\text{пл}} = (T_s)_4 - (T_s)_{\text{пл}}$, $^\circ\text{C}$		20
$\sigma_{\text{пл}}^* = E \alpha_T \Delta T_{\text{пл}}$, МПа		70
$M_{\text{пл}} = -1,652 \frac{\sigma_{\text{пл}}^* S_4^2}{G_{\text{пл}} \cdot 6}$, МПа мм ²		-1039
$Q_{\text{пл}} = \frac{\sigma_{\text{пл}}^* S_4}{G_{\text{пл}}} \left(0,708 \sqrt{\frac{S_4}{z_4}} + W_{\text{пл}} H \right)$, МПа мм		235
$\sigma_M = \frac{6 M_{\text{пл}}}{S_4^2}$, МПа		-16

Продолжение табл.3

Расчетные величины и формулы	
$\sigma_q = \frac{2.57 Q_{\text{пл}} \sqrt{r_4}}{S_4 \sqrt{S_4}}, \text{ МПа}$	68
<u>Температурные напряжения в цилиндрической оболочке</u>	
$\sigma_{SH} = \sigma_M, \text{ МПа}$	-16
$\sigma_{SB} = -\sigma_{SH}, \text{ МПа}$	72
$\sigma_{OH} = \sigma_q - 0.25 \sigma_M, \text{ МПа}$	16
$\sigma_{OB} = \sigma_q - 0.85 \sigma_M, \text{ МПа}$	82
<u>Температурные напряжения в пластине</u>	
$\sigma_z = \frac{Q_{\text{пл}}}{S_{\text{пл}}} + \frac{6M_{\text{пл}}}{S_{\text{пл}}^2}, \text{ МПа}$	3,8
$\sigma_\theta = -\frac{(1+R^2)}{(1-R^2)} \left(\frac{Q_{\text{пл}}}{S_{\text{пл}}} + \frac{6M_{\text{пл}}}{S_{\text{пл}}^2} \right), \text{ МПа}$	9,2

Упрощенный расчет температурных напряжений
в модельном узле корпуса для предельных
тепловых режимов

Таблица 4

Расчетные величины и формулы		
<u>Упрощенный расчет температурных напряжений при квазистационарных режимах</u>		
<u>Исходные данные</u>		
См. п. I.4	Материал	12X18H10T
	E , МПа	$1,95 \cdot 10^5$
	α_r , 1/°C	$1,74 \cdot 10^{-5}$
	ν	0,3
4.4.1.2	a , мм ² /сек	4,7
См. рис. I	S_{4r} , мм	20
	S_{4n} , мм	30
См. п. 4.4.1	T_0 , °C	20
	T_{cp} , °C	300
	νF , °C/сек	0,084
<u>Предельное число Фурье</u>		
$ Fo_* = \frac{a (T_{cp} - T_0)}{\nu F S^2}$		39
Условие $ Fo_* \geq 7,3$ (выполнено, не выполнено)		выполнено
<u>Температурные напряжения</u>		
$ \sigma_v = \frac{\nu F S^2 E \alpha_r}{3 a (1-\nu)}$, МПа		11,6

Продолжение табл.4

Расчетные величины и формулы		
См. п. 4.4.5.1	$\sigma_{\text{укл.}}$, МПа	9,4
Условие $\sigma_v < \sigma_{\text{укл}}$ (выполнено, не выполнено)		выполнено
<u>Температурные напряжения вдали от зоны сопряжения</u>		
$\sigma_{SH} = \sigma_{\theta H} = 0,5 \sigma_v$, МПа		5,6
$\sigma_{SB} = \sigma_{\theta B} = -\sigma_v$, МПа		-11,6
<u>Вспомогательные величины</u>		
$H = \frac{S_{4I}}{S_{4II}}$		0,667
См. п. 4.4.5.1	f_{SH}	0,13
	f_{SB}	-0,13
	$f_{\theta H}$	0,3
	$f_{\theta B}$	0,36
<u>Температурные напряжения в зоне сопряжения</u>		
$\sigma_{SH} = 0,5 \sigma_v + 2,1 \sigma_v f_{SH}$, МПа		8,4
$\sigma_{\theta H} = \sigma_v (0,5 + 2,1 f_{\theta H})$, МПа		13,1
$\sigma_{SB} = \sigma_v (-1 + 2,1 f_{SB})$, МПа		-14,8
$\sigma_{\theta B} = \sigma_v (-1 + 2,1 f_{\theta B})$, МПа		-2,8
<u>Упрощенный расчет температурных напряжений при термоударах</u>		
$\sigma_{SH} = \sigma_{\theta H} = \frac{0,112}{(1-\nu)} E \alpha_r (T_{cp} - T_0)$, МПа		152
$\sigma_{SB} = \sigma_{\theta B} = -\frac{0,887}{(1-\nu)} E \alpha_r (T_{cp} - T_0)$, МПа		-1204

Литература

1. Отчеты п/я А-7899, 1987-88 гг. по исследованию температурных напряжений в осесимметричных элементах корпусов трубопроводной арматуры.
2. "Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок", ПИБ АЭ Г-7-002-86.
3. Основы термоупругости. А.Д.Коваленко - Киев, Наукова Думка, 1976 г., с. 307.
4. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник, том I, под редакцией И.А.Биргера и Л.Г.Пановко. - М., Машиностроение, 1968 г., с. 831.
5. *Klečka . Nestacionární teplotní pole a napjatost ve stacionárních částech. - SNTA, Praha, 1979.*
6. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. Справочник под ред. Б.Е.Неймарк. - М.-Л., Энергия 1967.

Лист 26-07- 270 -88

изме- нения	Номер листа	замене- го	ново- го	анну- лиро- ван- ного	Номер доку- мента	Под- пись	Дата внесения измене- ния	Дата введения изменения