

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

АППАРАТЫ ВЫПАРНЫЕ

Нормы и методы расчета на прочность

РД 26-01-55-84

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДЕН Начальником Союзхиммаша

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ПРИКАЗОМ по Всесоюзному промышленному объединению № 53 от "23" мая 1984 г.

ИСПОЛНИТЕЛИ П.С.Марченко (руководитель разработки)
Н.Д.Шарапова
В.Н.Нелюба
Д.Г.Ряузов

СОГЛАСОВАН НИИХИММАШ

УДК

Группа Г 02

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ

АППАРАТЫ ВЫПАРНЫЕ
Нормы и методы расчета
на прочность

РД 26-01-55- 84

Взамен РТМ 26-01-55-73

Приказом по Всесоюзному промышленному объединению
от "23" мая 1984 г. № 53 срок введения
установлен с 01.01.1986

Настоящий руководящий технический материал устанавливает нормы и методы расчета на статическую и малоцикловую прочность сборных единиц и деталей выпарных и опреснительных установок на ЭВМ.

Расчеты на прочность производят для различных состояний, которые могут иметь место при монтаже, пуске, эксплуатации или испытаниях выпарного аппарата с целью выявления максимальных напряжений и определения условных упругих напряжений, необходимых для оценки малоцикловой прочности. Нормативный материал применим при соблюдении требований ГОСТ 14249-80, ОСТ 26-291-79 и ОСТ 26-01-112-79.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

I. РАСЧЕТ ГРЕЮЩИХ КАМЕР

I.I. Исходные данные

I.I.I. Общие

D - внутренний диаметр кожуха ($D = 2a$), мм;

$S_к$ - толщина стенки кожуха,мм;

S_1 - толщина стенки кожуха в зоне присоединения к решетке,мм;

L - длина теплообменных труб,мм;

$l_п$ - максимальное расстояние от решетки до перегородки,мм;

$l_{пр}$ - приведенная длина,мм ($l_{пр} = l_п/3$- если есть перегородки по межтрубному пространству; $l_{пр} = L/2$- если нет перегородок);

$d_т$ - наружный диаметр теплообменной трубы,мм;

$S_т$ - толщина стенки теплообменной трубы,мм;

$d_в$ - внутренний диаметр теплообменной трубы,мм;
$-(d_в = d_т - 2S_т$ или принимается конструктивно);

$f_т$ - площадь сечения теплообменной трубы,мм^2
$(f_т = \pi(d_т - S_т)S_т$ или принимается конструктивно);

t - шаг расположения отверстий в трубной решетке,мм;

f_i - площадь трубной решетки, приходящаяся на одну трубу,мм^2
($f_i = \sqrt{3}\ t^2/2$ - при треугольном размещении труб;
$f_i = t^2$ - при квадратном);

$d_о$ - диаметр отверстий в решетке,мм;

$n_к$ - число канавок в отверстии под теплообменную трубу в том случае, если вальцуются трубы в отверстия с канавками(черт.I);

$b_к$ - ширина канавок,мм;

$h_к$ - глубина канавок,мм;

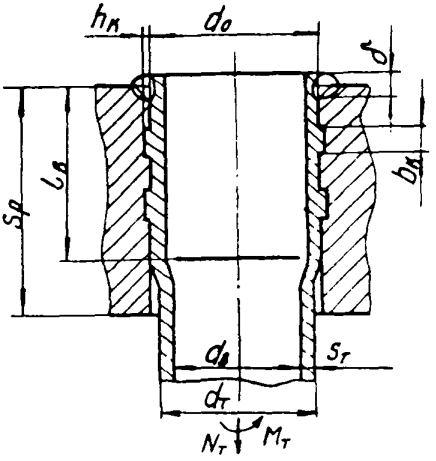
$S_р$ - толщина трубной решетки,мм;

$l_в$ - глубина развальцовки труб,мм;

$X_в$ - расстояние от плоскости вальцевания до серединной плоскости решетки (черт.3),мм;

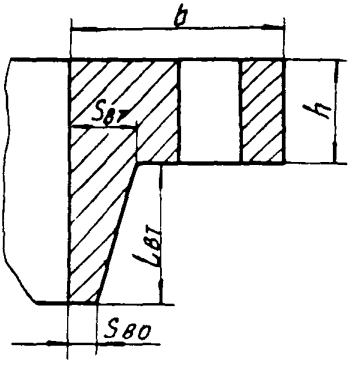
δ - высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке,мм;

Крепление теплообменной трубы к трубной решетке



Черт. I

Фланец с конической втулкой



Черт. 2

$S_{пр}$ - приведенная глубина, мм ($S_{пр} = l_в$ - при креплении труб развальцовкой или приваркой с развальцовкой; $S_{пр} = \delta$ - при креплении труб приваркой) ;

σ_1 - расчетный радиус перфорированной части трубной решетки, мм. Принимается равным расстоянию от оси аппарата до оси наиболее удаленной трубы в трубном пучке (черт.4);

$[y]$ - допускаемый прогиб теплообменных труб, мм. Принимается меньше зазора между трубами с учетом начальной погиби труб ($[y] = 0{,}5 \ldots 0{,}9\ (t - \sigma_т)$) ;

С - сумма необходимых прибавок к расчетной толщине на возможные утонения при изготовлении и эксплуатации, мм. Задается для каждой из рассчитываемых деталей ;

t_0 - начальная температура, °С ($t_0 = 20$ °С);

$\sigma_{тр}, \sigma_{тт}$ - предел текучести материалов решетки и труб при начальной температуре, МПа ;

$\alpha_р, \alpha_т, \alpha_к$ - коэффициенты линейного расширения материалов решетки, труб и кожуха , 1/°С ;

$E_р, E_т, E_к$ - модули продольной упругости материалов решетки, труб и кожуха , МПа.

Для каждого из расчетных режимов задается:

$P_т, P_м$ - давление избыточное (наружное со знаком минус) в трубном и межтрубном пространствах, МПа;

$t_{рт}, t_{рм}$ - температуры решетки со стороны трубного и межтрубного пространств, °С ;

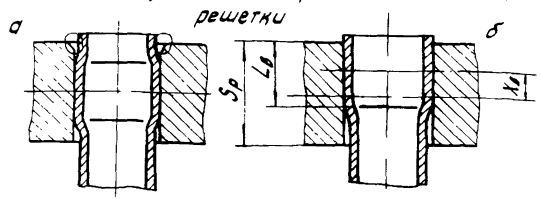
$t_р, t_т, t_к$ - средние значения температуры решетки, труб и кожуха, °С;

N - число циклов нагружения (повторений данного расчетного режима) за весь период эксплуатации ;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение, МПа. Принимается по ГОСТ 14249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей ;

ν - коэффициент Пуассона ($\nu = 0{,}3$) .

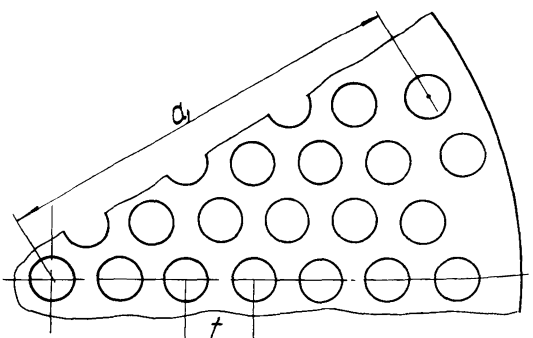
Схемы для определения расстояния от плоскости вальцевания до срединной плоскости решетки



$X_в = 0$ $\qquad X_в = \frac{S_p - l_в}{2}$

черт. 3

Схема для определения расчетного радиуса перфорированной части трубной решетки



При равномерном заполнении площади решетки i трубами $a_i \approx \sqrt{i f_i / \pi}$

черт. 4

I.I.2. Для греющих камер черт.8. . .I2.

$S_э$ – толщина стенки камеры,мм. Отдельные конструкции вместо камеры имеют днище, циркуляционную трубу или другие детали, образующие трубное пространство;

S_2 – толщина стенки камеры в месте присоединения к трубной решетке или фланцу,мм;

$\alpha_э$ – коэффициент линейного расширения материала камеры,I/°C

$E_э$ – модуль продольной упругости материала камеры, МПа;

$t_э$ – расчетная температура камеры в месте присоединения к решетке или фланцу,°C.

I.I.3. Для греющих камер черт.9...II, содержащих фланцевые разъемы

h_1, h_2 – толщина кольца фланца кожуха и камеры,мм;

b_1, b_2 – ширина кольца фланца кожуха и камеры,мм;

R_1, R_2 – средние радиусы поперечных сечений колец фланцев кожуха и камеры,мм;

S_1, S_2 – толщины стенок кожуха и камеры в местах присоединения к фланцу кожуха и камеры,мм.Для фланцев с коническими втулками (черт.2) значения S_I и S_2 принимаются равными $S_э$:

$$S_э = \varkappa S_{BO};\ \varkappa = 1 - \frac{(j_{BT}-1)\chi_{BT}}{\chi_{BT}+j_{BO}+1},\ \chi_{BT} = \frac{4l_{BT}}{\sqrt{DS_{BO}}};\ j_{BT} = \frac{S_{BT}}{S_{BO}};$$

S_{BT}, S_{BO} – толщины стенок конической втулки в месте присоединения к кольцу фланца и оболочке,мм;

l_{BT} – высота конической втулки,мм;

$R_п$ – радиус срединной окружности прокладки;

$S_п$ – толщина прокладки,мм;

$b_п$ – ширина прокладки в зоне сжатия,мм. Для резиновых прокладок принимается приведенная ширина по ОСТ 26-373-78;

$E_п$ – модуль упругости материала прокладки,МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации;

$y_п$ - линейная податливость прокладки, мм/Н ($y_п = \delta_п / 2\pi R_п b_п E_п$);

$q, [q]$ - минимальное и допускаемое удельное давление на прокладку, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 ;

m - прокладочный коэффициент. Принимается по ОСТ 26-373-78 ;

$n_б$ - количество болтов или шпилек ;

$R_б$ - радиус болтовой окружности, мм ;

$d_б$ - диаметр болта или шпильки, мм ;

$f_б$ - площадь поперечного сечения болта или шпильки, мм^2. Определяется по внутреннему диаметру резьбы ;

$l_б$ - расчетная длина болта ($l_б = h_1 + h_2 + S_п + 0{,}3\, d_б$) или шпильки ($l_б = h_1 + h_2 + S_п + 0{,}6\, d_б$) , мм ;

$E_б$ - модуль продольной упругости материала болтов или шпилек, МПа;

$y_б$ - линейная податливость болтов или шпилек, мм/Н ($y_б = l_б / E_б f_б n_б$) ;

$\alpha_б$ - коэффициент линейного расширения материала болтов или шпилек, 1/°С ;

$t_б$ - расчетная температура болтов или шпилек, °С ;

$[\sigma]_б^{20}, [\sigma]_б^{t}$ - допускаемое напряжение для материала болтов или шпилек при 20 °С и при расчетной температуре, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации ;

$Q_б^o$ - усилие затяжки болтов, Н/мм ($Q_б^o \le f_б n_б [\sigma]_б^{20} / 2\pi R_б$) ;

$t_ф$ ($t_{ф1}, t_{ф2}$) - расчетная температура фланца, °С ;

$\alpha_ф$ ($\alpha_{ф1}, \alpha_{ф2}$) - коэффициент линейного расширения материала фланца, 1/°С ;

$E_ф$ ($E_{ф1}, E_{ф2}$) - модули продольной упругости материала фланца, МПа;

$\lambda_ф$ ($\lambda_{ф1}, \lambda_{ф2}$) - приведенные значения податливости фланцев, мм/Н

$$\left(\lambda_{ф1} = 6R_1 (R_б - R_п) D / E_{ф1} b_1 h_1^3 ;\right.$$

$$\left.\lambda_{ф2} = 6R_2 (R_б - R_п) D / E_{ф2} b_2 h_2^3 \right).$$

I.I.4. Для греющей камеры черт.II

$D_н$ - наружный диаметр трубной решетки, мм;

$S_{р1}$ - толщина решетки в зоне присоединения к кожуху, мм.

I.I.5. Для греющей камеры с кольцевой полостью для отвода конденсата (черт.I2)

$L_к$ - длина кожуха, мм;

$L_о$ - длина цилиндрической обечайки в зоне образования полости для отвода конденсата, мм;

$S_о$ - толщина стенки цилиндрической обечайки, мм;

$d_о$ - радиус цилиндрической обечайки, мм;

$S_{пл}$ - толщина кольцевой пластины, мм;

$\alpha_о, \alpha_{пл}$ - коэффициент линейного расширения материалов цилиндрической обечайки и кольцевой пластины, I/°C;

$E_о, E_{пл}$ - модули продольной упругости материалов цилиндрической обечайки и кольцевой пластины, МПа.

I.2. Определение возможности развальцовки труб в решетке

I.2.I. Остаточное давление определяется по формуле

$$P_{ост} = \min\left\{P_{от};\ \frac{1}{B_c}\left[(B_c-1)\,P_{оэ} - P_{от}\right]\right\},$$

где $d_э = \sqrt{\frac{6\sqrt{3}}{\pi} t^2 - 2d_о^2}$ при треугольном размещении труб;

$d_э = \sqrt{\frac{8t^2}{\pi} - d_о^2}$ при квадратном размещении труб;

$$\lambda_т = \frac{d_о}{d_о - 2S_т}; \qquad B_т = \frac{\lambda_т^2 + 1}{\lambda_т^2 - 1} - 0{,}43;$$

$$\lambda_э = \frac{d_э}{d_о}; \qquad B_э = \frac{\lambda_э^2 + 1}{\lambda_э^2 - 1} + 0{,}43;$$

$$K_э = \min\left\{\ln\lambda_э;\ 1\right\}; \qquad B_c = \frac{\lambda_т^2 - 1}{2}\left(B_т + \frac{E_т}{E_р} B_э\right);$$

$$P_{от} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{тт} \ln\lambda_т; \qquad P_{оэ} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{тр} K_э .$$

I.2.2. Условие возможности развальцовки труб в решетке*

$$Р_{ост} > 0.$$

I.2.3. Условие применимости расчетных формул

$$d_э \leqslant 1{,}2(2t - d_о).$$

I.2.4. Требуемая степень развальцовки теплообменных труб рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = (I...I{,}5)\,\frac{(d_{вв} - d_в) - (d_о - d_т)}{d_о}\,100\%,$$

где $$d_{вв} = d_о\left\{1 + \frac{1}{E_р}\left[\sqrt{3}\,\lambda_э^2\,\sigma_{тр} + 0{,}91\,B_э\,(P_{ост} - P_{оэ})\right]\right\};$$

$$\lambda_к = \sqrt{1 + \frac{n_к b_к}{l_в}\left[\frac{(d_о + 2h_к)^2}{d_{ов}^2} - 1\right]}\;;\quad d_{вв} = \sqrt{(\lambda_к d_{ов})^2 - \frac{4f_т}{\pi}}\;.$$

I.3. Определение минимальной толщины трубной решетки

Толщина трубной решетки назначается конструктивно.

I.3.I. Принятая толщина трубной решетки должна удовлетворять условию прочности беструбной зоны:

$$S_р \geqslant 0{,}5\,D_E\sqrt{\frac{P_т - P_м}{[\sigma]}} + C\;,$$

где $$D_E = \max\left\{D'_E,\ D''_E, \ldots\right\}\;;$$

D'_E, D''_E – диаметры окружностей, вписанных в беструбные зоны решетки (черт.5).

I.3.2. Для решеток, у которых крепление теплообменных труб производится развальцовкой или развальцовкой с обваркой, принятая толщина трубной решетки должна удовлетворять:

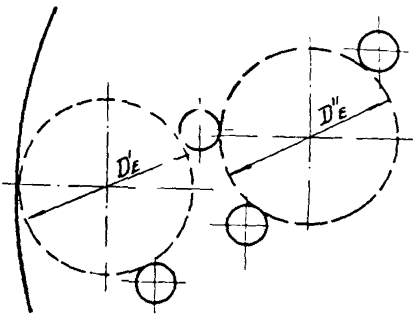
– условию возможности развальцовки

$$S_р \geqslant l_в\;,\quad l_в \geqslant 3{,}5\sqrt{(d_т - S_т)\,S_т}\;;$$

---

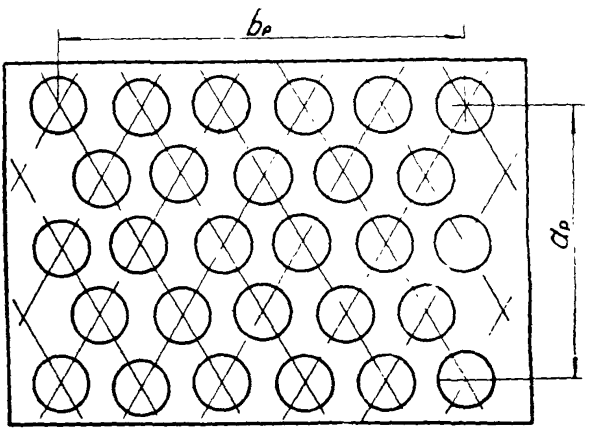
* Отклонения размеров и свойств материалов даже в допустимых по руководящей нормативной документации пределах могут привести к тому, что не будет выполняться это условие. Поэтому гарантированная прочность вальцовых соединений достигается при выполнении технических требований к развальцовке труб, например по ОСТ 26-17-01-83.

Схема для определения диаметра окружности, вписанной в максимальную беструбную зону решетки



Черт. 5

Схема для определения расстояния между осями крайних труб у прямоугольной решетки



Черт.6

- условие устойчивости решетки при развальцовке*

$$S_p \geq 0{,}655\, a_1 \sqrt{\frac{10{,}92\, A_4\, P_{ост}}{\psi_p\, E_{p_2}}}$$ для круглой решетки;

$$S_p \geqslant 0{,}655\ (1{,}3-0{,}45\ \frac{a_p^2}{b_p^2})\ \frac{a_p}{2}\ \sqrt{\frac{10{,}92 A_4\, P_{ост}}{\psi_p\, E_p}}$$ для прямоугольной.

Здесь $A_4 = \frac{1}{\lambda_p} + \varphi_p \frac{1{,}3 - 0{,}7\lambda_p}{1{,}3 + 0{,}7\lambda_p^2}$; $\lambda_p = \frac{t}{d_o}$;

a_p, b_p – расстояния между осями крайних труб на меньшей и большей стороне прямоугольной решетки (черт.6);

φ_p, ψ_p – коэффициенты прочности и жесткости трубной решетки. Принимаются по п.2 приложения I.

I.3.3. Для решетки, выполненной заодно с фланцем, принятая толщина должна быть не менее толщины кольца ответного фланца. Допускается уменьшение толщины решетки по сравнению с толщиной кольца ответного фланца при условии подтверждения плотности и прочности фланцевого соединения расчетом по п.I.8.

I.4. Расчет нагрузок

I.4.I. Греющая камера погружного типа (черт.7)

Такая камера состоит из двух трубных решеток (I), соединенных между собой теплообменными трубами и кожухом (2). Камера помещается внутри выпарного аппарата. Греющий пар поступает в нее через штуцер А. Через штуцер Б сливают конденсат. Помимо расчета характеристик трубной решетки по п.2 приложения I производится расчет коэффициентов B_{II}, B_{I2}, B_{22} по п.3 приложения I при $S = S_1$, $R = a$.

Нагрузки , M, H определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

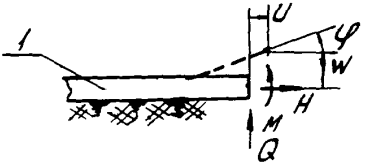
$$\left.\begin{aligned} a_{11} Q a + a_{12} M &= P_1, \\ a_{21} Q a + a_{22} M + a_{23} H S_1 &= P_2, \\ a_{31} Q a + a_{32} M + a_{33} H S_1 &= P_3, \end{aligned}\right\}$$

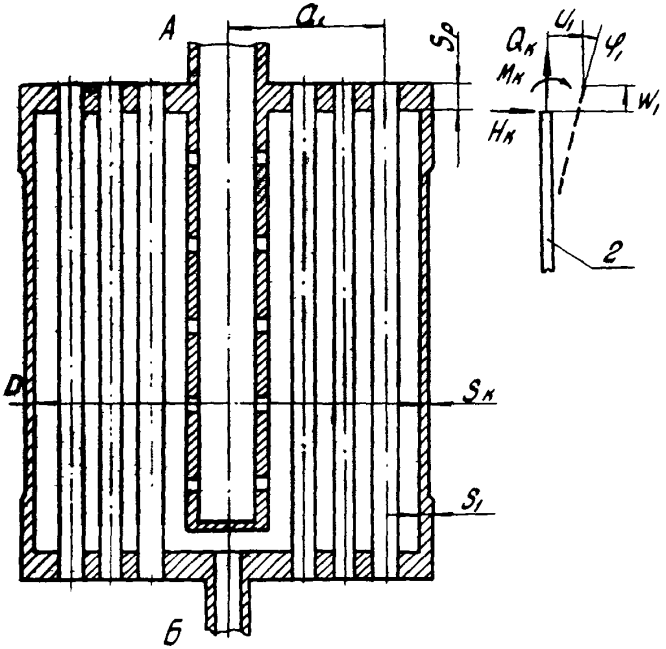
где

$$Q_1 = \frac{D_p L}{2 E_к S_к a^3}; \quad Q_2 = \frac{D_p}{E_к S_1^2 a}; \quad Q_3 = \frac{S_p}{2 S_1};$$

* Допускается применение решеток меньшей толщины при использовании специальных приемов вальцевания труб, препятствующих выпучиванию (потере устойчивости) трубных решеток.

Греющая камера погружного типа





черт. 7

$$a_{11}=T_{11}+\rho_{11};\ a_{12}=a_{21}=T_{12};\ W_T=\frac{1}{K}(\alpha_1 P_M-\alpha P_T)+\frac{0{,}3L}{4E_T S_T}(d_T P_M-d_B P_T);$$

$$P_1=\left[\alpha_K(t_K-t_0)-\alpha_T(t_T-t_0)-\frac{2W_T}{L}\right]\frac{D_P L}{2a^2}+(0{,}3\rho_1-T_{13})(P_T-P_M)a^2;$$

$$a_{22}=T_{22}+\rho_2 B_{11}^{K};\ a_{23}=-\rho_2(B_{12}^{K}+\rho_3 B_{11}^{K});\ P_2=T_{23}(P_M-P_T)a^2;$$

$$a_{31}=0{,}3;\ a_{32}=B_{12}^{K}+\rho_3 B_{11}^{K};\ a_{33}=-B_{22}^{K}-\frac{E_K a T_{33}}{E_P S_P}-\rho_3(2B_{12}^{K}+\rho_3 B_{11}^{K});$$

$$P_3=(\alpha_P-\alpha_K)(t_K-t_0)E_K S_1 a+(P_T-P_M)a^2.$$

Нагрузки остальных деталей определяются по формулам:

$Q_K = -Q$; $M_K = M - 0{,}5HS_P$; $H_K = -H$.

I.4.2. Греющая камера с решетками, вваренными в кожух (черт.5)

Рассматриваемая греющая камера состоит из двух трубных решеток (I) кожуха (2) и днищ, или других деталей выпарного аппарата (3). Помимо расчета характеристик трубной решетки по п.2 приложения I производится расчет коэффициентов B_{II}^{K}, B_{I2}^{K}, B_{22}^{K}, K_Q, K_P по п.3 приложения I при $S=S_1$, $R=a$. Значения коэффициентов B_{II}^{∂}, B_{I2}^{∂}, B_{22}^{∂} принимаются по п.3 приложения I при $S=S_2$, $R=a$.

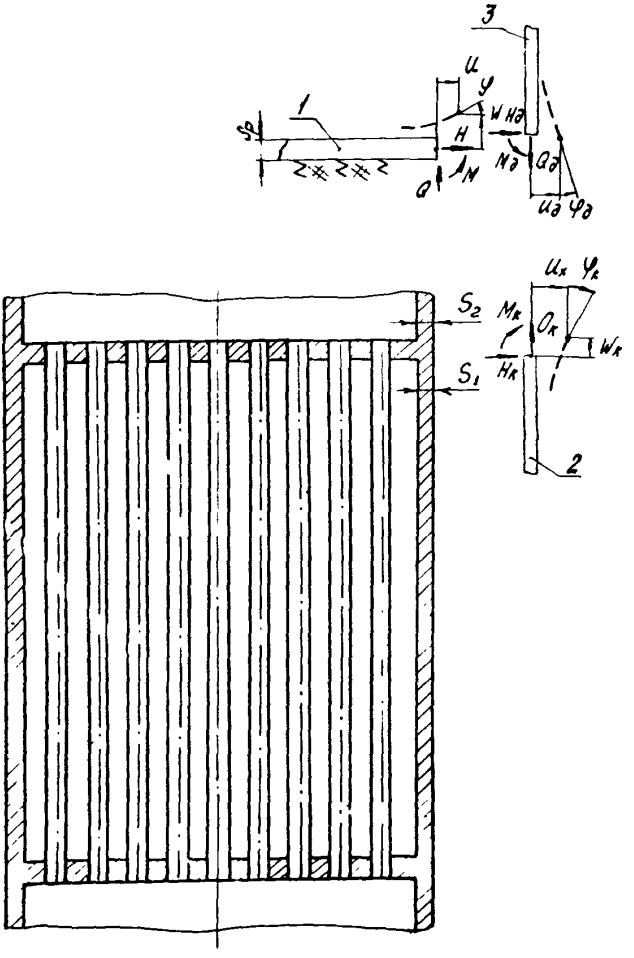
Нагрузки Q , M, H определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left.\begin{aligned} a_{11}Qa + a_{12}M &= P_1,\\ a_{21}Qa + a_{22}M + a_{23}HS_1 &= P_2;\\ a_{31}Qa + a_{32}M + a_{33}HS_1 &= P_3, \end{aligned}\right\}$$

где $\rho_1=\frac{D_P L}{2E_K S_K a^3}$; $\rho_2=\frac{D_P}{E_K S_1^2 a}$; $\rho_3=\frac{S_P}{2S_1}$;

$\rho_4=\frac{E_K S_1}{E_\partial S_2}$; $\rho_5=\frac{S_P}{2S_2}$;

Греющая камера с решетками, вваренными в кожух



Черт. 8

$$B_{11}^{к}=B_{11}^{к}+\rho_4\frac{S_1B_{11}^{д}}{S_2};\qquad \bar{B}_{12}^{к}=B_{12}^{к}-\rho_4\left(B_{12}^{д}+\frac{B_{11}^{д}S_p}{S_2}\right);$$

$$\bar{B}_{21}^{к}=B_{12}^{к}-\rho_4B_{12}^{д}+\frac{B_{11}^{к}S_p}{S_1};\qquad \bar{B}_{22}^{к}=B_{22}^{к}+\frac{B_{12}^{к}S_p}{S_1}+\frac{\rho_4}{S_1}\left(B_{12}^{д}S_p+B_{22}^{д}S_2\right);$$

$$\Delta=\bar{B}_{11}^{к}\bar{B}_{22}^{к}-\bar{B}_{12}^{к}\bar{B}_{21}^{к};\qquad \Delta_{11}=\frac{\bar{B}_{11}^{к}}{\Delta};\qquad \Delta_{12}=\frac{\bar{B}_{12}^{к}}{\Delta};$$

$$\Delta_{21}=\frac{\bar{B}_{21}^{к}}{\Delta};\qquad \Delta_{22}=\frac{\bar{B}_{22}^{к}}{\Delta};\qquad \bar{B}_{11}^{д}=\rho_4\frac{B_{11}^{д}S_1}{S_2};$$

$$\bar{B}_{12}^{д}=\rho_4\left(B_{12}^{д}+\rho_5B_{11}^{д}\right);\qquad \bar{B}_{21}^{д}=\rho_4B_{12}^{д};\qquad \bar{B}_{22}^{д}=\rho_4\left(B_{22}^{д}+\rho_5B_{12}^{д}\right);$$

$$P_4=(\alpha_д-\alpha_к)(t_p-t_0)E_кS_1a+(0{,}15+0{,}85\rho_4)P_та^2-P_ма^2;$$

$$\Delta_{2м}=\Delta_{12}\bar{B}_{21}^{д}+\Delta_{22}\bar{B}_{11}^{д};\qquad \Delta_{2н}=\frac{S_2}{S_1}\Delta_{12}\bar{B}_{22}^{д}+\Delta_{22}\bar{B}_{12}^{д};$$

$$\Delta_{3м}=\Delta_{11}\bar{B}_{21}^{д}+\Delta_{21}\bar{B}_{11}^{д};\qquad \Delta_{3н}=\frac{S_2}{S_1}\Delta_{11}\bar{B}_{22}^{д}+\Delta_{21}\bar{B}_{12}^{д};$$

$$a_{11}=T_{11}+\rho_1K_q;\quad a_{12}=T_{12};\quad w_T=\frac{1}{K}(\alpha_1P_м-\alpha P_т)+\frac{0{,}3L}{4E_тS_т}(d_тP_м-d_вP_т);$$

$$P_1=\left[\alpha_к(t_к-t_0)-\alpha_т(t_т-t_0)-\frac{2w_т}{L}\right]\frac{D_pL}{2a^2}+\rho_1(0{,}5K_q\rho_т-0{,}3K_p\rho_м)a^2+T_{13}(P_м-P_т)a^2;$$

$$a_{21}=T_{12}+0{,}3\rho_2\left(B_{11}^{к}\Delta_{12}-B_{12}^{к}\Delta_{11}\right);\quad a_{22}=T_{22}+\rho_2\left(B_{11}^{к}\Delta_{2м}-B_{12}^{к}\Delta_{3м}\right);\quad a_{23}=\rho_2\left(B_{11}^{к}\Delta_{2н}-B_{12}^{к}\Delta_{3н}\right),$$

$$P_2=T_{23}(P_м-P_т)a^2+\rho_2\left(B_{11}^{к}\Delta_{12}-B_{12}^{к}\Delta_{11}\right)P_4;$$

$$a_{31}=0{,}3\left[\Delta_{11}\left(B_{22}^{к}+\rho_3B_{12}^{к}\right)-\Delta_{12}\left(B_{12}^{к}+\rho_3B_{11}^{к}\right)-1\right];\quad a_{32}=\Delta_{3м}\left(B_{22}^{к}+\rho_3B_{12}^{к}\right)-\Delta_{2м}\left(B_{12}^{к}+\rho_3B_{11}^{к}\right);$$

$$a_{33}=\frac{E_кaT_{33}}{E_pS_p}-\Delta_{2н}\left(B_{12}^{к}+\rho_3B_{11}^{к}\right)+\Delta_{3н}\left(B_{22}^{к}+\rho_3B_{12}^{к}\right);$$

$$P_3=\left[(\alpha_к-\alpha_p)(t_p-t_0)E_кS_1a+P_ма^2-0{,}15P_та^2+\left[\Delta_{11}\left(B_{22}^{к}+\rho_3B_{12}^{к}\right)-\Delta_{12}\left(B_{12}^{к}+\rho_3B_{11}^{к}\right)\right]P_4.\right.$$

Нагрузки остальных деталей определяются по формулам:

$$Q_к=0{,}5P_та-Q;\qquad M_к=\Delta_{12}(0{,}3Qa-P_4)+\Delta_{2м}M+\Delta_{2н}HS_1;$$

$$H_к=\frac{1}{\bar{B}_{12}^{к}S_1}\left(\bar{B}_{11}^{д}M+\bar{B}_{12}^{д}HS_1-\bar{B}_{11}^{к}M_к\right);\qquad Q_д=\frac{P_та}{2};$$

$$M_д=M_к-H_кS_p-M-0{,}5HS_p;\qquad H_д=-H-H_к.$$

I.4.3. Греющая камера с решетками, выполненными заодно с плоскими фланцами (черт.9)

Такая камера состоит из трубных решеток (I), кожуха (2), днищ (3) и фланцев кожуха (4) и днища (5). Помимо расчета характеристик трубной решетки по п.2 приложения I производится расчет коэффициентов $B_{II}^{к}, B_{I2}^{к}, B_{22}^{к}$, K_φ, K_P по п.3 приложения I при $S = S_1$, $R = a$. Значения коэффициентов B_{II}^{∂} , B_{I2}^{∂} , B_{22}^{∂} принимаются по п. 3 приложения I при $S = S_2$, $R = a$.

Начальные значения φ°, M°, H°, возникающие при затяжке болтов фланцевого разъема, определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений

$$\left.\begin{aligned} a_{11} Q_a^\circ + a_{12} M^\circ &= 0, \\ a_{21} Q_a^\circ + a_{22} M^\circ + a_{23} H^\circ S_1 &= 0, \\ a_{31} Q_a^\circ + a_{32} M^\circ + a_{33} H^\circ S_1 &= \frac{R_\delta - R_n}{a} Q_\delta^\circ R_\delta . \end{aligned}\right\}$$

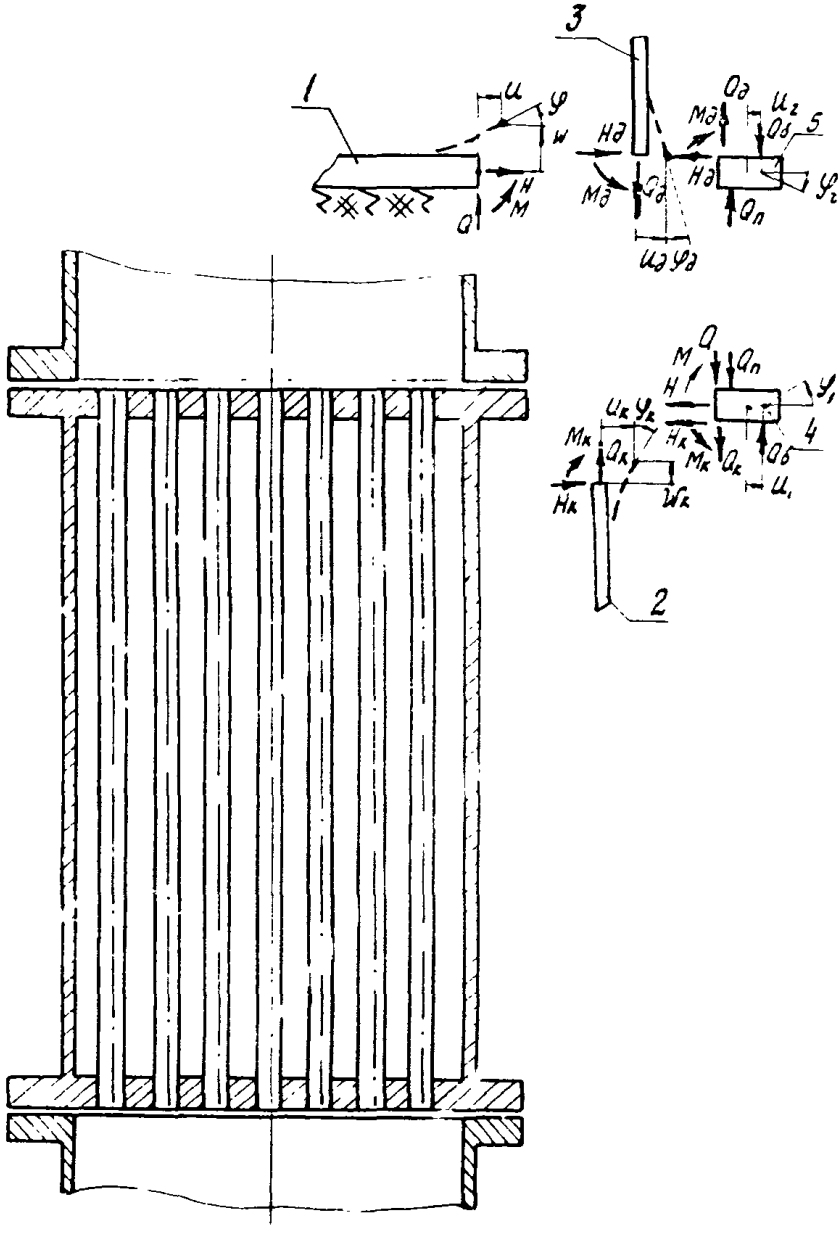
Приращения нагрузок Q', M', H', возникающие при разогреве и подаче давлений в трубное и межтрубное пространства, определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left.\begin{aligned} a_{11} Q_a' + a_{12} M' &= P_1 , \\ a_{21} Q_a' + a_{22} M' + a_{23} H' S_1 &= P_2 , \\ \bar{a}_{31} Q_a' + \bar{a}_{32} M' + \bar{a}_{33} H' S_1 &= P_3 . \end{aligned}\right\}$$

Здесь $P_1 = \frac{D_P L}{2 E_к S_к a^3}$; $P_2 \frac{D_P}{E_к S_1^2 a}$; $P_3 = \frac{S_P}{2 S_1}$; $P_4 = \frac{h_2}{2 S_2}$;

$$P_5 = 1 + \frac{b_1 h_1}{R_1 S_P} T_{33}; \; P_6 = \frac{E_P b_1 h_1^3}{12 R_1 D_P}; \; P_7 = \frac{E_{\phi 2} b_2 h_2^3}{12 E_\partial R_2 S_2^2 a}; \; P_8 = \frac{E_\partial R_2 a}{E_{\phi 2} b_2 h_2};$$

Греющая камера с решетками, выполняющими заодно с плоскими фланцами



Черт. 9

$$a_{11}=T_{11}+\rho_1 K_q,\ a_{12}=T_{12},\ W_T=\frac{1}{K}(\alpha_1 P_M-\alpha P_T)+\frac{0{,}3L}{4E_T S_T}(d_T P_M-d_B$$

$$P_1=\left[\alpha_K(t_K-t_0)-\alpha_T(t_T-t_0)-\frac{2W_T}{L}\right]\frac{D_P L}{2a^2}+T_{13}(P_M-P_T)a^2+\rho_1(0{,}5K_q P_T-0{,}3h$$

$$a_{51}=\frac{1}{B_{12}^K+\rho_3 B_{11}^K},\ a_{53}=a_{51}\left[\frac{E_K a T_{33}}{E_P S_P}+\rho_5(B_{22}^K+\rho_3 B_{12}^K)\right];$$

$$P_5=a_{51}\left[(\alpha_P-\alpha_K)(t_K-t_0)E_K S_1 a+(0{,}15P_T-P_M)a^2\right];\ a_{21}=T_{12}-0{,}3\rho_2 B_{11}'$$

$$a_{22}=T_{22};\ a_{23}=\rho_2(B_{11}^K a_{53}-\rho_5 B_{12}^K);\ P_2=T_{23}(P_M-P_T)a^2-\rho_2 B_{11}^K P_5;$$

$$a_{31}=\rho_6 T_{12}+0{,}3a_{51};\ a_{32}=1+\rho_6 T_{22};\ a_{33}=-\left(a_{53}+\rho_5\frac{h_1}{2S_1}\right);$$

$$\bar{P}_3=\rho_6 T_{23}(P_M-P_T)a^2+\left(R_n+\frac{b_1}{2}-R_1\right)\frac{P_T a}{2}+P_5;$$

$$a_{44}=\frac{B_{12}^{\partial}+\rho_4 B_{11}^{\partial}}{B_{22}^{\partial}+\rho_4 B_{12}^{\partial}+\rho_8};\ P_6=\frac{(\alpha_{\phi 2}-\alpha_{\partial})(t_{\partial}-t_0)E_{\partial}S_2 a+(\rho_8 h_2 S_2-0{,}85a$$

$$a_{45}=\frac{1}{1+\rho_7(B_{11}^{\partial}-a_{44}B_{12}^{\partial})+\rho_4 a_{44}};\ P_7=a_{45}\left[\left(R_n+\frac{b_2}{2}-R_2\right)\frac{P_T a}{2}+(\rho_7 B_{12}^{\partial}$$

$$\Delta_t=\alpha_{\phi 1}h_1(t_{\phi 1}-t_0)+\alpha_{\phi 2}h_2(t_{\phi 2}-t_0)-\alpha_{\delta}(h_1+h_2)(t_{\delta}-t_0);$$

$$\lambda_{np}=\lambda_{\phi 1}+\lambda_{\phi 2}\left[1-a_{45}(1+\rho_4 a_{44})\right]+\frac{2\pi a(y_{\delta}+y_n)}{R_{\delta}-R_n};$$

$$a_{41}=\frac{0{,}3\lambda_{\phi 1}}{\lambda_{np}}a_{51};\ a_{42}=\frac{\lambda_{\phi 1}}{\lambda_{np}},\ a_{43}=\frac{\lambda_{\phi 1}}{\lambda_{np}}\left(a_{53}+\rho_5\frac{h_1}{2S_1}\right.$$

$$P_4=\frac{1}{\lambda_{np}}\left\{\Delta_t+\left[2\pi a y_n-\lambda_{\phi 1}\left(R_n+\frac{b_1}{2}-R_1\right)-\lambda_{\phi 2}\left(R_n+\frac{b_2}{2}-R_2\right)\right]-\right.$$

$$\left.-\lambda_{\phi 1}P_5+\lambda_{\phi 2}\left[P_7+\rho_4(P_6+a_{44}P_7)\right]\right\},\ P_3=\bar{P}_3+P_4;$$

$$\bar{a}_{31}=a_{31}-a_{41};\ \bar{a}_{32}=a_{32}-a_{42},\ \bar{a}_{33}=a_{33}+a_{43}$$

Приращение нагрузки болтов фланцевого разъема определяется по формуле

$$Q_б' = \frac{a}{R_б(R_б - R_п)}\left(P_4 + a_{41}Q'a + a_{42}M' - a_{43}H'S_1\right).$$

В расчетном состоянии нагрузки Q, M, H, $Q_б$ определяются по формулам:

$$Q = Q^o + Q'; \quad M = M^o + M'; \quad H = H^o + H'; \quad Q_б = Q_б^o + Q_б'$$

Нагрузки остальных деталей в расчетном состоянии, их начальные значения или приращения определяются по формулам:

$$Q_п = \frac{1}{R_п}\left(Q_б R_б - 0{,}5P_т a^2\right); \qquad Q_к = 0{,}5P_т a - Q;$$

$$M_к = P_5 - 0{,}3a_{51}Qa + a_{53}HS_1; \qquad H_к = -P_5 H;$$

$$Q_д = 0{,}5P_т a; \qquad M_д = -\left(P_7 + a_{45}\frac{R_б - R_п}{a}Q_б R_б\right);$$

$$H_д = \frac{1}{S_2}\left(P_6 - a_{44}M_д\right).$$

Углы поворота фланцев определяются по формулам:

$$\varphi_1 = -\frac{1}{E_к S_1^2}\left(B_{11}^к M_к + B_{12}^к H_к S_1\right), \quad \varphi_2 = -\frac{1}{E_д S_2^2}\left(B_{11}^д M_д + B_{12}^д H_д S_2\right).$$

I.4.4. Греющая камера с решетками, вваренными во фланцы с конической втулкой (черт.10)

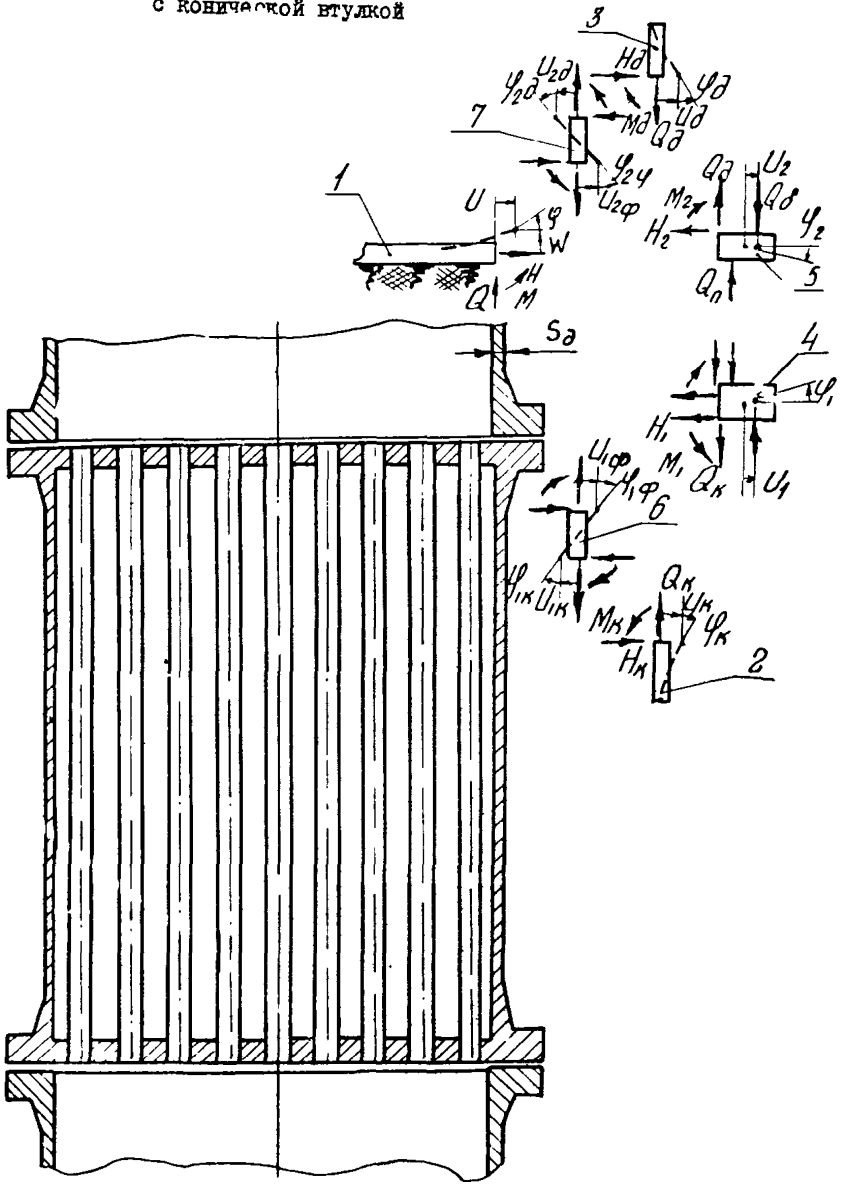
Данная камера состоит из трубных решеток (I), кожуха (2), днищ (3), фланца кожуха (4), фланца днища (5) и втулок (6,7), выполненных заодно с фланцами. Помимо расчета характеристик трубной решетки по п. 2 приложения I производится расчет коэффициентов $B_{II}^к$, $B_{I2}^к$, $B_{22}^к$, K_q, K_P, по п. 3 приложения I при $S = S_к$, $R = a$.

Значения коэффициентов B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{22}, B_{24} принимаются по п. 3 приложения I при $S = S_э, R = a, L = l_{вт}, R = a$, Значения коэффициентов $B^{д}_{11}$, $B^{д}_{12}$, $B^{д}_{22}$ принимаются по п. 3 приложения I при $S = S_д, R = a$.

Начальные значения $Q_к^0$, $M_к^0$, $H_к^0$, M_1^0, H_1^0, M_2^0, H_2^0, $M_д^0$, $H_д^0$, M^0, H^0, возникающие при затяжке болтов фланцевого разъема, определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

$$
\left.
\begin{aligned}
&a_{1.1} Q_к^0 + a_{1.10} M^0 = 0,\\
&a_{2.2} M_к^0 + a_{2.3} H_к^0 + a_{2.4} M_1^0 + a_{2.5} H_1^0 = 0,\\
&a_{3.1} Q_к^0 + a_{3.2} M_к^0 + a_{3.3} H_к^0 + a_{3.4} M_1^0 + a_{3.5} H_1^0 = 0,\\
&a_{4.2} M_к^0 + a_{4.3} H_к^0 + a_{4.4} M_1^0 + a_{4.5} H_1^0 + a_{4.10} M^0 + a_{4.11} H^0 = -a_{4.12} Q_б^0,\\
&a_{5.1} Q_1^0 + a_{5.2} M_к^0 + a_{5.3} H_к^0 + a_{5.4} M_1^0 + a_{5.5} H_1^0 + a_{5.11} H^0 = 0;\\
&a_{6.6} M_2^0 + a_{6.7} H_2^0 + a_{6.8} M_д^0 + a_{6.9} H_д^0 = -a_{6.12} Q_б^0,\\
&a_{7.6} M_2^0 + a_{7.7} H_2^0 + a_{7.8} M_д^0 + a_{7.9} H_д^0 = 0,
\end{aligned}
\right\}
$$

Греющая камера с решетками, вварными во фланцы с конической втулкой



Черт. 10

$$a_{8,6}M_2^\circ + a_{8,7}H_2^\circ + a_{8,8}M_\partial^\circ + a_{8,9}H_\partial^\circ = 0$$
$$a_{9,6}M_2^\circ + a_{9,7}H_2^\circ + a_{9,8}M_\partial^\circ + a_{9,9}H_\partial^\circ = 0$$
$$a_{10,1}Q_к^\circ + a_{10,4}M_1^\circ + a_{10,5}H_1^\circ + a_{10,10}M^\circ + a_{10,11}H^\circ = a_{10,12}Q_б^\circ,$$
$$a_{11,1}Q_к^\circ + a_{11,5}H_1^\circ + a_{11,10}M^\circ + a_{11,11}H^\circ = 0$$

Приращения нагрузок $Q_к'$, $M_к'$, $H_к'$, M_1', H_1', M_2', H_2', M_∂', H_∂', M', H', $Q_б'$, возникающие под действием давлений и разогрева, определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений

$$a_{1,1}Q_к' + a_{1,10}M' = P_1',$$
$$a_{2,2}M_к' + a_{2,3}H_к' + a_{2,4}M_1' + a_{2,5}H_1' = 0,$$
$$a_{3,1}Q_к' + a_{3,2}M_к' + a_{3,3}H_к' + a_{3,4}M_1' + a_{3,5}H_1' = P_3',$$
$$a_{4,2}M_к' + a_{4,3}H_к' + a_{4,4}M_1' + a_{4,5}H_1' + a_{4,10}M' + a_{4,11}H' + a_{4,12}Q_б' = P_4',$$
$$a_{5,1}Q_к' + a_{5,2}M_к' + a_{5,3}H_к' + a_{5,4}M_1' + a_{5,5}H_1' + a_{5,11}H' = P_5',$$
$$a_{6,6}M_2' + a_{6,7}H_2' + a_{6,8}M_\partial' + a_{6,9}H_\partial' + a_{6,12}Q_б' = P_6',$$
$$a_{7,6}M_2' + a_{7,7}H_2' + a_{7,8}M_\partial' + a_{7,9}H_\partial' = P_7',$$
$$a_{8,6}M_2' + a_{8,7}H_2' + a_{8,8}M_\partial' + a_{8,9}H_\partial' = 0,$$
$$a_{9,6}M_2' + a_{9,7}H_2' + a_{9,8}M_\partial' + a_{9,9}H_\partial' = P_9',$$
$$a_{10,1}Q_к' + a_{10,4}M_1' + a_{10,5}H_1' + a_{10,10}M' + a_{10,11}H' + a_{10,12}Q_б' = P_{10}',$$
$$a_{11,1}Q_к' + a_{11,5}H_1' + a_{11,10}M' + a_{11,11}H' = P_{11}',$$
$$a_{12,4}M_1' + a_{12,5}H_1' + a_{12,6}M_2' + a_{12,7}H_2' + a_{12,10}M' + a_{12,11}H' + a_{12,12}Q_б' = P_{12}'.$$

Здесь

$$a_{1,1} = (T_{11} + \varphi_1 K_q)a; \quad a_{1,10} = -T_{12} \quad P_1' = (0{,}3\varphi_1 K_p - T_{13} + \varphi_2 \frac{d_T}{S_T} + \varphi_3\alpha_1)p_н a^2 + \left(\frac{T_{11}}{2} + T_{13} - \varphi_2\frac{d_2}{S_T} - \varphi_3\alpha\right)p_T a^2 + [\alpha_T(t_T - t_0) - \alpha_к(t_к - t_0)]\frac{D_0 L}{2a^2};$$

$$a_{2,2} = B_н + \varphi_4 B_н^к \frac{S_э}{S_к}; \quad a_{2,3} = (B_{12} - \varphi_4 B_{12}^к)S_э; \quad a_{2,4} = B_{13}; \quad a_{2,5} = B_н S_э;$$

$$a_{3,1} = 0{,}3(1-\varphi_4)a; \quad a_{3,2} = B_{12} - \varphi_4 B_{12}^к; \quad a_{3,3} = B_{22}S_э + \varphi_4 B_{22}^к S_к; \quad a_{3,4} = B_{14};$$

$$a_{3,5} = B_{24}S_э; \quad P_3' = (1-\varphi_4)p_н a^2 + (\alpha_{\varphi 1} - \alpha_к)(t_к - t_0)E_{\varphi 1} a S_э;$$

$a_{4.2}=B_{13}$, $a_{4.3}=B_{14}S_э$; $a_{4.4}=B_{11}+\varphi_5$; $a_{4.5}=B_{12}S_э-\varphi_5\frac{h_1}{2}$; $a_{4.10}=-\varphi_5$;

$a_{4.11}=\varphi_5\frac{h_1-S_p}{2}$; $a_{4.12}=\varphi_5\frac{R_б-R_п}{a}R_б$; $P_4=\varphi_5\left(R_1-R_п-\frac{b_1}{2}\right)\frac{a}{2}p_т$;

$a_{5.1}=-0{,}3a$; $a_{5.2}=B_{14}+B_{13}\frac{h_1}{2S_э}$; $a_{5.3}=B_{24}S_э+B_{14}\frac{h_1}{2}$; $a_{5.4}=B_{12}+B_{11}\frac{h_1}{2S_э}$;

$a_{5.5}=B_{22}S_э+B_{12}\frac{h_1}{2}+\frac{aR_1S_э}{b_1h_1}$; $a_{5.11}=\frac{aR_1S_э}{b_1h_1}$; $P_5=-p_м a^2+p_м\frac{R_1aS_э(h_1-S_д)}{b_1h_1}$;

$a_{6.6}=B_{11}+\varphi_6$; $a_{6.7}=B_{12}S_э-\varphi_6\frac{h_2}{2}$; $a_{6.8}=B_{13}$; $a_{6.9}=B_{14}S_э$;

$a_{6.12}=\varphi_6R_б\frac{R_б-R_п}{a}$; $P_6=\varphi_6\left(R_2-R_п-\frac{b_2}{2}\right)\frac{a}{2}p_т$;

$a_{7.6}=B_{12}+B_{11}\frac{h_2}{2S_э}$; $a_{7.7}=B_{22}S_э+B_{12}\frac{h_2}{2}+\frac{aR_2S_э}{b_2h_2}$; $a_{7.8}=B_{14}+B_{13}\frac{h_2}{2S_э}$;

$a_{7.9}=B_{24}S_э+B_{14}\frac{h_2}{2}$; $P_7=-0{,}85p_т a^2+\frac{R_2aS_э}{b_2}p_т$;

$a_{8.6}=B_{13}$; $a_{8.7}=B_{14}S_э$; $a_{8.8}=B_{11}+\varphi_7B_{11}^{д}\frac{S_д}{S_э}$; $a_{8.9}=(B_{12}-\varphi_7B_{12}^{д})S_э$;

$a_{9.6}=B_{14}$; $a_{9.7}=B_{24}S_э$, $a_{9.8}=B_{12}-\varphi_7B_{12}^{д}$, $a_{9.9}=B_{22}S_э+\varphi_7B_{22}^{д}S_д$;

$P_9=0{,}85(1-\varphi_7)p_т a^2+(\alpha_{ф2}-\alpha_д)(t_д-t_0)E_{ф2}aS_э$,

$a_{10.1}=-T_{12}a$; $a_{10.4}=-\varphi_8$; $a_{10.5}=\varphi_8\frac{h_1}{2}$; $a_{10.10}=T_{22}+\varphi_8$, $a_{10.11}=-\varphi_8\frac{h_1-S_p}{2}$;

$a_{10.12}=-\varphi_8R_б\frac{R_б-R_п}{a}$; $P_{10}=\varphi_8\left(\frac{b_1}{2}+R_п-R_1\right)\frac{a}{2}p_т-\frac{T_{12}}{2}p_т a^2-T_{23}(p_т-p_м)a^2$;

$a_{11.1}=-\varphi_9T_{12}a$, $a_{11.5}=\varphi_{10}a$; $a_{11.10}=\varphi_9T_{22}$; $a_{11.11}=(T_{33}+\varphi_{10})a$;

$P_{11}=(\alpha_{ф1}-\alpha_p)(t_{ф1}-t_0)E_p aS_p-\frac{\varphi_9T_{12}}{2}p_т a^2-\varphi_9T_{23}(p_т-p_м)a^2+\varphi_{10}(h_1-S_p)p_м a$;

$a_{12.4}=\lambda_{ф1}$; $a_{12.5}=-\frac{\lambda_{ф1}h_1}{2}$; $a_{12.6}=\lambda_{ф2}$, $a_{12.7}=-\frac{\lambda_{ф2}h_2}{2}$; $a_{12.10}=-\lambda_{ф1}$;

$a_{12.11}=\lambda_{ф1}\frac{h_1-S_p}{2}$; $a_{12.12}=\left[2\pi(y_б+y_п)+\frac{R_б-R_п}{a}(\lambda_{ф1}+\lambda_{ф2})\right]R_б$;

$P_{12}=\left[2\pi a y_п-\lambda_{ф1}\left(\frac{b_1}{2}+R_п-R_1\right)-\lambda_{ф2}\left(\frac{b_2}{2}+R_п-R_2\right)\right]\frac{a}{2}p_т+\alpha_{ф1}h_1(t_{ф1}-t_0)+$
$+\alpha_{ф2}h_2(t_{ф2}-t_0)-\alpha_б(h_1+h_2)(t_б-t_0)$;

$\varphi_1=\frac{D_pL}{2E_кS_кa^3}$; $\varphi_2=\frac{0{,}3D_pL}{4E_т a^4}$; $\varphi_3=\frac{D_p}{\kappa a^4}$;

$\varphi_4=\frac{E_{ф1}S_э}{E_кS_к}$; $\varphi_5=\frac{12R_1aS_э^2}{b_1h_1^3}$, $\varphi_6=\frac{12R_2aS_э^2}{b_2h_2^3}$,

$\varphi_7=\frac{E_{ф2}S_э}{E_дS_д}$; $\varphi_8=\frac{12R_1D_p}{E_{ф1}b_1h_1^3}$; $\varphi_9=\frac{E_pS_paS_p(h_1-S_p)}{2D_p}$;

$\varphi_{10}=\frac{E_pS_pR_1}{E_{ф1}b_1h_1}$.

Нагрузки остальных деталей в расчетном состоянии, их начальные значения или приращения определяются по формулам:

$$Q = \frac{P_T a}{2} - Q_к \quad , \quad Q_д = \frac{P_T a}{2}, \quad Q_п = \frac{Q_б R_б}{R_п} - \frac{P_T a^2}{2 R_п} .$$

Углы поворота фланцев кожуха и днища определяются по формулам

$$\varphi_1 = \frac{12 R_1 a}{E_{\varphi 1} b_1 h_1^3} \left[M_1 - M + \frac{b_1}{2}(Q_к + Q) - \frac{h_1}{2} H_1 + \frac{h_1 - S_ф}{2} H + \frac{R_1 - R_п}{a} Q_п R_п + \frac{R_б - R_1}{a} Q_б R_б \right],$$

$$\varphi_2 = \frac{12 R_2 a}{E_{\varphi 2} b_2 h_2^3} \left(M_2 + \frac{b_2}{2} Q_д - \frac{h_2}{2} H_2 + \frac{R_2 - R_п}{a} Q_п R_п + \frac{R_б - R_2}{a} Q_б R_б \right).$$

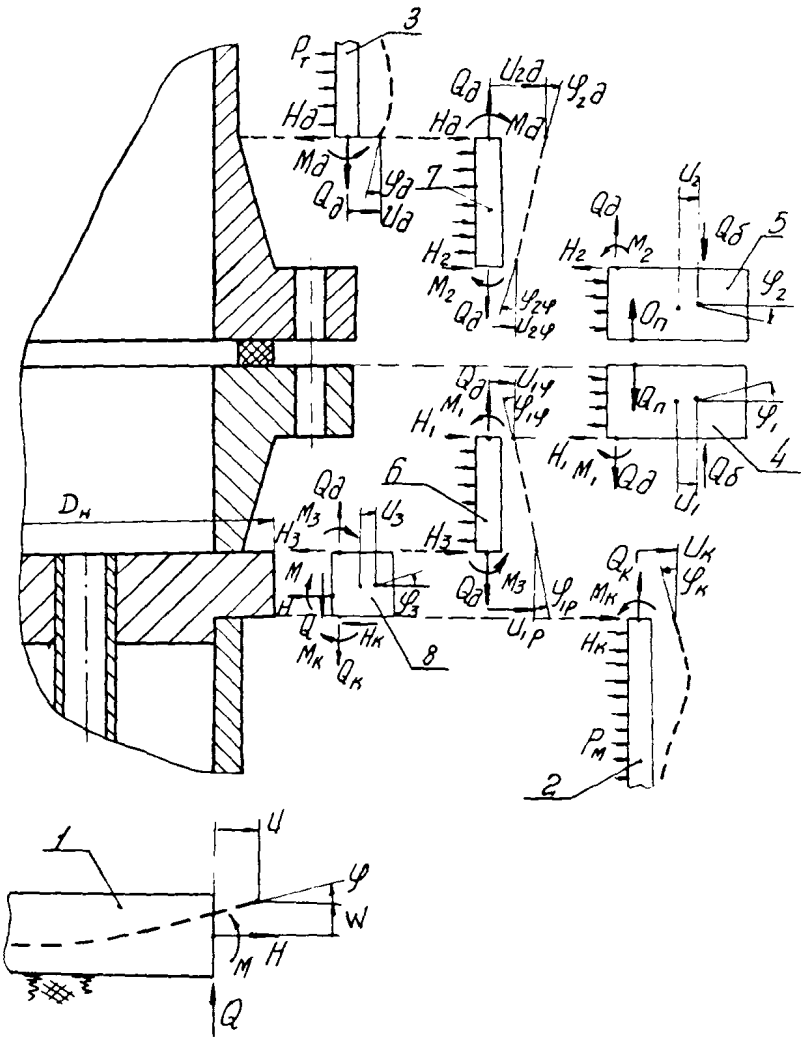
I.4.5. Греющая камера с фланцами с конической втулкой, приваренными втавр к решетке (черт. II)

Такая камера состоит из решеток (1), кожуха (2), днища (3), фланцев (4,5) со втулками (6,7). В месте соединения решетки, кожуха и фланца выделяется тонкое кольцо (8). Помимо расчета вспомогательных величин по п.2 приложения 1, производится расчет коэффициентов $B^к_{11}, B^к_{12}, B^к_{22}, K_ф, K_р$, по п.3 приложения I при $S = S_к$, $R = a$. Значения коэффициентов $B^д_{11}, B^д_{12}, B^д_{22}$ принимаются по п.3 приложения I при $S = S_д$, $R = a$, а значения коэффициентов $B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{22}, B_{24}$ принимаются при $S = S_э$, $L = l_{вт}$, $R = a$.

Начальные значения $Q_к, M_к, H_к, M^0, H^0, M^0_3, H^0_3, M^0_I, H^0_I, M^0_2, H^0_2, M^0_б, H^0_д$, возникающие при затяжке болтов фланцевого разъема, определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
a_{1.1} Q^0_к + a_{1.4} M^0 &= 0, \\
a_{2.1} Q^0_к + a_{2.2} M^0_к + a_{2.3} H^0_к &= 0, \\
a_{3.1} Q^0_к + a_{3.2} M^0_к + a_{3.3} H^0_к + a_{3.5} H^0 + a_{3.7} H^0_3 &= 0, \\
a_{4.1} Q^0_к + a_{4.2} M^0_к + a_{4.3} H^0_к + a_{4.4} M^0 + a_{4.5} H^0 + a_{4.6} M^0_3 + a_{4.7} H^0_3 &= 0, \\
a_{5.1} Q^0_к + a_{5.3} H^0_к + a_{5.4} M^0 + a_{5.5} H^0 + a_{5.7} H^0_3 &= 0, \\
a_{6.2} M^0_к + a_{6.3} H^0_к + a_{6.4} M^0 + a_{6.5} H^0 + a_{6.6} M^0_3 + a_{6.7} H^0_3 + a_{6.8} M^0_I + a_{6.9} H^0_I &= 0, \\
a_{7.3} H^0_к + a_{7.5} H^0 + a_{7.6} M^0_3 + a_{7.7} H^0_3 + a_{7.8} M^0_I + a_{7.9} H^0_I &= 0, \\
a_{8.6} M^0_3 + a_{8.7} H^0_3 + a_{8.8} M^0_I + a_{8.9} H^0_I &= -a_{8.4} Q^0_б
\end{aligned}$$

Элементы греющей камеры, имеющей фланцы с конической втулкой, приваренные втавр к решетке



Черт. II

$$
\begin{aligned}
a_{96}M_3^{\circ}+a_{97}H_3^{\circ}+a_{98}M_4^{\circ}+a_{99}H_4^{\circ} &= 0,\\
a_{\alpha 10}M_1^{\circ}+a_{\alpha 11}H_1^{\circ}+a_{\alpha 12}M_2^{\circ}+a_{\alpha 13}H_2^{\circ}-a_{\alpha 14}Q_6^{\circ} &= 0,\\
a_{\alpha 15}M_1^{\circ}+a_{\alpha 16}H_1^{\circ}+a_{\alpha 17}M_2^{\circ}+a_{\alpha 18}H_2^{\circ} &= 0,\\
a_{\beta 10}M_1^{\circ}+a_{\beta 11}H_1^{\circ}+a_{\beta 12}M_2^{\circ}+a_{\beta 13}H_2^{\circ} &= 0,\\
a_{\gamma 10}M_1^{\circ}+a_{\gamma 11}H_1^{\circ}+a_{\gamma 12}M_2^{\circ}+a_{\gamma 13}H_2^{\circ} &= 0.
\end{aligned}
$$

Приращения нагрузок Q_K', M_K', H_K', M', H', M_3', H_3', M_I', H_I', M_2', H_2', M_δ', H_δ', Q_δ', возникающие под действием давлений и разогрева, определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

$$
\begin{aligned}
a_{11}Q_K' + a_{14}M' &= P_1,\\
a_{23}Q_K' + a_{22}M_K' + a_{25}H_K' + a_{24}M' &= P_2,\\
a_{31}Q_K' + a_{32}M_K' + a_{33}H_K' + a_{35}H' + a_{37}H_3' &= P_3,\\
a_{41}Q_K' + a_{42}M_K' + a_{43}H_K' + a_{44}M' + a_{45}H' + a_{46}M_3' + a_{47}H_3' &= P_4,\\
a_{51}Q_K' + a_{53}H_K' + a_{54}M' + a_{55}H' + a_{57}H_3' &= P_5,\\
a_{62}M_K' + a_{63}H_K' + a_{64}M' + a_{65}H' + a_{66}M_3' + a_{67}H_3' + a_{68}M_4' + a_{69}H_4' &= 0,\\
a_{73}H_K' + a_{75}H' + a_{76}M_3' + a_{77}H_3' + a_{78}M_4' + a_{79}H_4' &= P_7,\\
a_{86}M_3' + a_{87}H_3' + a_{88}M_4' + a_{89}H_4' + a_{8\kappa}Q_6' &= P_8,\\
a_{96}M_3' + a_{97}H_3' + a_{98}M_4' + a_{99}H_4' &= P_9,\\
a_{\alpha 10}M_1' + a_{\alpha 11}H_1' + a_{\alpha 12}M_2' + a_{\alpha 13}H_2' + a_{\alpha 14}Q_6' &= P_{10},\\
a_{\alpha 15}M_1' + a_{\alpha 16}H_1' + a_{\alpha 17}M_2' + a_{\alpha 18}H_2' &= P_{11},\\
a_{\beta 10}M_1' + a_{\beta 11}H_1' + a_{\beta 12}M_2' + a_{\beta 13}H_2' &= 0,\\
a_{\gamma 10}M_1' + a_{\gamma 11}H_1' + a_{\gamma 12}M_2' + a_{\gamma 13}H_2' &= P_{13},\\
a_{\alpha 8}M_1' + a_{\alpha 9}H_1' + a_{\alpha 10}M_2' + a_{\alpha 11}H_2' + a_{\alpha 14}Q_6' &= P_{14}
\end{aligned}
$$

Связь:

$$a_{1\,1}=(T_{11}+\varphi_1 K_\varphi)a;\quad a_{1\,4}=-T_{12};\quad P_1=(0{,}3\varphi_1 K_p-T_{13}+\varphi_2\frac{d_T}{S_T}+\varphi_3 a_1)P_M a^2+$$
$$+\left(\frac{T_{11}}{2}+T_{13}-\varphi_2\frac{d_e}{S_T}-\varphi_3 a\right)P_T a^2+[a_T(t_T-t_0)-a_K(t_K-t_0)]\frac{D_0 L}{2a^2};$$
$$a_{2\,1}=T_{12}a;\quad a_{2\,2}=\varphi_4 B_M^K,\quad a_{2\,3}=-\varphi_4 B_{12}^K S_K;\quad a_{2\,4}=-T_{22};$$
$$P_2=\frac{T_{12}}{2}P_T a^2+T_{23}(P_T-P_M)a^2;$$
$$a_{3\,1}=-0{,}3a,\quad a_{3\,2}=-B_{12}^K-B_{11}^K\frac{S_{P1}}{2S_K},\quad a_{3\,3}=(B_{22}^K+\varphi_5)S_K+B_{12}^K\frac{S_{P1}}{2},$$
$$a_{3\,5}=\varphi_5 S_K;\quad a_{3\,7}=\varphi_5 S_K;\quad P_3=(a_P-a_K)(t_K-t_0)E_K S_K a-P_M a^2;$$
$$a_{4\,1}=T_{12}a;\quad a_{4\,2}=-\varphi_6;\quad a_{4\,3}=-\varphi_6\frac{S_{P1}}{2};\quad a_{4\,4}=-\varphi_6-T_{22},\quad a_{4\,5}=-\varphi_6\frac{S_0-S_{P1}}{2};$$
$$a_{4\,6}=-\varphi_6;\quad a_{4\,7}=\varphi_6\frac{S_{P1}}{2};\quad P_4=\frac{T_{12}}{2}P_T a^2+T_{23}(P_T-P_M)a^2;$$
$$a_{5\,1}=\varphi_7 T_{12}a;\quad a_{5\,3}=\varphi_8 a;\quad a_{5\,4}=-\varphi_7 T_{22};\quad a_{5\,5}=(\varphi_8+T_{33})a;$$
$$a_{5\,7}=\varphi_8 a,\quad P_5=\varphi_7\left[\frac{T_{12}}{2}P_T a^2+T_{23}(P_T-P_M)a^2\right];$$
$$a_{6\,2}=1;\quad a_{6\,3}=\frac{S_{P1}}{2},\quad a_{6\,4}=1;\quad a_{6\,5}=\frac{S_0-S_{P1}}{2};\quad a_{6\,6}=1+\varphi_9 B_{11};\quad a_{6\,7}=\varphi_9 B_{12}S_3-\frac{S_{P1}}{2};$$
$$a_{6\,8}=\varphi_9 B_{13};\quad a_{6\,9}=-\varphi_9 B_{14}S_3,$$
$$a_{7\,3}=\varphi_{10}S_3;\quad a_{7\,5}=\varphi_{10}S_3;\quad a_{7\,6}=B_{11}\frac{S_{P1}}{2S_3}+B_{12};\quad a_{7\,7}=(B_{22}+\varphi_{10})S_3+B_{12}\frac{S_{P1}}{2};$$
$$a_{7\,8}=B_{13}\frac{S_{P1}}{2S_3}+B_{14};\quad a_{7\,9}=-B_{24}S_3-B_{14}\frac{S_{P1}}{2};\quad P_7=(a_P-a_\Phi)(t_\partial-t_c)f_\Phi S_3 a-0{,}85P_T a^2;$$
$$a_{8\,6}=B_{13};\quad a_{8\,7}=B_{14}S_3;\quad a_{8\,8}=\varphi_{11}+B_{11};\quad a_{8\,9}=\varphi_{11}\frac{h_\Phi}{2}-B_{12}S_3;$$
$$a_{3\,14}=-\varphi_{11}R_\partial\frac{R_\partial-R_\Pi}{a};\qquad P_8=\left(\frac{b_\Phi}{2}+R_\Pi-R_\Phi\right)\frac{a}{2}P_T\rho_{11};$$
$$a_{9\,6}=B_{14}+B_{13}\frac{h_\Phi}{2S_3};\quad a_{9\,7}=B_{24}S_3+B_{14}\frac{h_\Phi}{2};\quad a_{9\,8}=B_{12}+B_{11}\frac{h_\Phi}{2S_3};$$
$$a_{9\,9}=-(B_{22}+\varphi_{12})S_3-B_{12}\frac{h_\Phi}{2};\quad P_9=(0{,}85a^2-\varphi_{12}h_\Phi S_3)P_T;$$
$$a_{10\,10}=\varphi_{11}+B_{11};\quad a_{10\,11}=\varphi_{11}\frac{h_\Phi}{2}-B_{12}S_3;\quad a_{10\,12}=B_{13};\quad a_{10\,13}=B_{14}S_3;$$
$$a_{12\,14}=-\varphi_{11}R_\partial\frac{R_\Sigma-R_\Pi}{a};\quad P_{10}=\left(\frac{b_\Phi}{2}+R_\Pi-R_\Phi\right)\frac{a}{2}P_T\rho_{11};$$
$$a_{11\,10}=B_{12}+B_{11}\frac{h_\Phi}{2S_3};\quad a_{11\,11}=-(\varphi_{12}+B_{22})S_3-B_{12}\frac{h_\Phi}{2},\quad a_{11\,12}=B_{14}+B_{13}\frac{h_\Phi}{2S_3};$$

$a_{11\,13} = B_{24} S_э + B_{14} \frac{h_ф}{2}$; $P_{11} = (0{,}85 a^2 - Q_{12} h_ф S_э) P_т$;

$a_{12\,10} = B_{13}$; $a_{12\,11} = -B_{14} S_э$; $a_{12.12} = B_{11} + Q_{13} B_{11}^{∂} \frac{S_э}{S_∂}$; $a_{12.13} = (B_{12} - Q_{13} B_{12}^{∂}) S_э$;

$a_{13.10} = -B_{14}$; $a_{13.11} = B_{24} S_э$; $a_{13\,12} = Q_{13} B_{12}^{∂} - B_{12}$; $a_{13.13} = -Q_{13} B_{22}^{∂} S_∂ - B_{22} S_э$;

$P_{13} = 0{,}85(1 - Q_{13}) P_т a^2 + (α_ф - α_∂)(t_∂ - t_0) E_ф S_э a$;

$a_{14.8} = -\lambda_ф$; $a_{14.9} = -\lambda_ф \frac{h_ф}{2}$; $a_{14\,10} = -\lambda_ф$; $a_{14\,11} = -\lambda_ф \frac{h_ф}{2}$;

$a_{14\,14} = 2\left[\pi(y_б + y_п) + \lambda_ф \frac{R_б - R_п}{a}\right] R_б$; $P_{14} = \left[α_ф(t_ф - t_0) - α_б(t_б - t_0)\right](h_1 + h_2) +$

$+ \left[\lambda_ф a (R_ф - R_п - \frac{b_ф}{2}) + \pi y_п a^2\right] P_т$;

$Q_1 = \frac{O_р L}{2 E_к S_к a^3}$, $Q_2 = \frac{0{,}3 O_р L}{4 E_т a^4}$; $Q_3 = \frac{O_р}{к a^4}$;

$Q_4 = \frac{O_р}{E_к S_к^2 a}$, $Q_5 = \frac{E_к R_э a}{E_р b_э S_{р1}}$; $Q_6 = \frac{12 R_э O_р}{L_р b_э S_{р1}^3}$;

$Q_7 = \frac{E_р S_р (S_р - S_{р1}) a}{2 O_р}$, $Q_8 = \frac{S_р R_э}{S_{р1} b_э}$; $Q_9 = \frac{E_р b_э S_{р1}^3}{12 E_ф R_э S_э^2 a}$.

$Q_{10} = \frac{E_ф R_э a}{E_р b_э S_{р1}}$; $Q_{11} = \frac{12 R_ф S_э^2 a}{b_ф h_ф^3}$, $Q_{12} = \frac{R_ф a}{b_ф h_ф}$;

$Q_{13} = \frac{E_ф S_э}{E_∂ S_∂}$; $R_э = \frac{D_н + D}{4}$; $b_э = \frac{D_н - D}{2}$.

Нагрузки остальных деталей в расчетном состоянии, их начальные значения или приращения определяются по формулам:

$Q = \frac{P_т a}{2} - Q_к$, $Q_∂ = \frac{P_т a}{2}$, $Q_п = \frac{Q_б R_б}{R_п} - \frac{P_т a^2}{2 R_п}$.

Углы поворота фланцев определяются по формулам:

$\varphi_1 = \frac{12 R_ф a}{E_ф b_ф h_ф^3} \left(\frac{R_б - R_ф}{a} Q_б R_б + \frac{R_ф - R_п}{a} Q_п R_п + \frac{b_ф}{2} Q_∂ - \frac{h_ф}{2} H_1 - M_1 \right)$,

$$\varphi_2=\frac{12R_\varphi a}{E_\varphi b_\varphi h_\varphi^3}\left(\frac{R_б-R_\varphi}{a}Q_б R_б+\frac{R_в-R_n}{a}Q_n R_n+\frac{b_\varphi}{2}Q_д-\frac{h_\varphi}{2}H_2-M_2\right).$$

I.4.6. Греющая камера с кольцевой полостью для отвода конденсата (черт.I2)

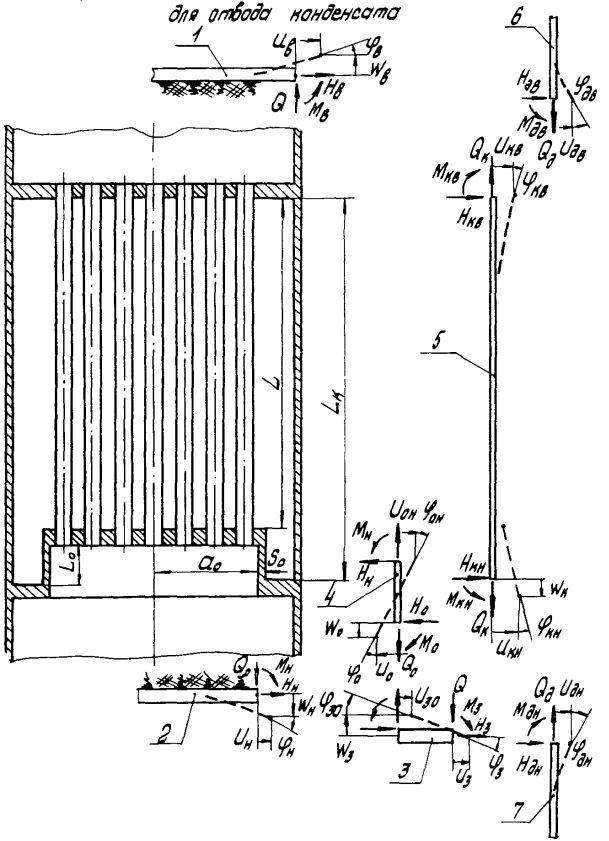
Камера состоит из трубных решеток (I,2) кольцевой пластины (3) и цилиндрических оболочек (4...7).Для такой камеры необходимо определить характеристики трубной решетки по п.2 приложения I для верхней решетки(при $\beta_n^в=\frac{a_1}{a}$) и нижней решетки (при $\beta_n^н=\frac{a_1}{a_a}$) раздельно . Кроме того,по п.I приложения I определяются характеристики кольцевой пластины $A_{II}, A_{I2}, A_{I3}, A_{I4}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}$ при $\beta_n=a_0/a$.

По формулам п.3 приложения I вычисляются $B_{II}, B_{I2}, B_{I3}, B_{I4}, B_{22}, B_{24}$ при $L=L_o$, $R=a_o$, $S=S_o$; $B_{II}^к, B_{I2}^к, B_{22}^к$ при $S=S_1$; $R=a$ и $B_{II}^д, B_{I2}^д, B_{22}^д$ при $S=S_2$, $R=a$.

Нагрузки $Q_к, M_{кв}, H_{кв}, M_{дв}, H_{дв}, M_{дн}$, $H_{дн}, M_{кн}, H_{кн}, M_o, H_o, M_н, H_н$ определяются при решении системы линейных алгебраических уравнений:

$$\left.\begin{aligned}
&a_{1.1}Q_к+a_{1.2}M_{кв}+a_{1.3}H_{кв}+a_{1.4}M_{дв}+a_{1.5}H_{дв}+a_{1.6}M_{дн}+a_{1.7}H_{дн}+a_{1.8}M_{кн}+a_{1.9}H_{кн}+a_{1.10}M_o+a_{1.11}H_o+a_{1.12}M_н+a_{1.13}H_н=P_1,\\
&a_{2.1}Q_к+a_{2.2}M_{кв}+a_{2.3}H_{кв}+a_{2.4}M_{дв}+a_{2.5}H_{дв}=P_2,\\
&a_{3.1}Q_к+a_{3.2}M_{кв}+a_{3.3}H_{кв}+a_{3.5}H_{дв}=P_3,\\
&a_{4.2}M_{кв}+a_{4.3}H_{кв}+a_{4.4}H_{дв}+a_{4.5}H_{дв}=0,\\
&a_{5.3}H_{кв}+a_{5.4}H_{дв}+a_{5.5}H_{дв}=P_5,\\
&a_{6.6}M_{дн}+a_{6.7}H_{дн}+a_{6.8}M_{кн}+a_{6.9}H_{кн}=0,\\
&a_{7.6}M_{дн}+a_{7.7}H_{дн}+a_{7.9}H_{кн}+a_{7.11}H_o=P_7,\\
&+a_{8.6}M_{дн}+a_{8.7}H_{дн}+a_{8.8}M_{кн}+a_{8.9}H_{кн}+a_{8.10}M_o+a_{8.11}H_o=P_8,\\
a_{8.1}Q_к\quad&+a_{9.7}H_{дн}+a_{9.8}M_{кн}+a_{9.9}H_{кн}+a_{9.11}H_o=P_9,\\
a_{9.1}Q_к\quad&+a_{10.6}M_{дн}+a_{10.7}H_{дн}+a_{10.8}M_{кн}+a_{10.9}H_{кн}+a_{10.10}M_o+a_{10.11}H_o+a_{10.12}M_н+a_{10.13}H_н=P_{10},\\
a_{10.1}Q_к\quad&+a_{11.7}H_{дн}+a_{11.9}H_{кн}+a_{11.10}M_o+a_{11.11}H_o+a_{11.12}M_н+a_{11.13}H_н=P_{11},\\
a_{11.1}Q_к\quad&+a_{12.10}M_o+a_{12.11}H_o+a_{12.12}M_н+a_{12.13}H_н=P_{12},\\
a_{12.1}Q_к\quad&+a_{13.10}M_o+a_{13.11}H_o+a_{13.12}M_н+a_{13.13}H_н=P_{13},\\
a_{13.1}Q_к\quad&
\end{aligned}\right\}$$

Греющая камера с кольцевой полостью для отвода конденсата



Здесь

$$a_{11}=(T_{11}^{\theta}+\beta_n^2 T_{11}^{н}+2\varrho_1 K_g+\varrho_4+\varrho_5 A_{11})a,\quad a_{1.2}=-T_{12}^{\theta};\quad a_{1.3}=T_{12}^{\theta}\frac{S_p}{2};$$

$$a_{14}=T_{12}^{\theta};\quad a_{1.5}=-T_{12}^{\theta}\frac{S_p}{2};\quad a_{1.6}=\varrho_5 A_{13};\quad a_{1.7}=-\varrho_5 A_{13}\frac{S_{пл}}{2};\quad a_{1.8}=-\varrho_5 A_{13};$$

$$a_{1.9}=\varrho_5 A_{13}\frac{S_{пл}}{2};\quad a_{1.10}=\varrho_5 A_{12};\quad a_{1.11}=-\varrho_5 A_{12}\frac{S_{пл}}{2};\quad a_{1.12}=-\beta_n^2 T_{12}^{н};\quad a_{1.13}=\beta_n^2 T_{12}^{н}\frac{S_p}{2};$$

$$P_1=T_{11}^{\theta}\frac{a^2}{2}P_T+0{,}6\varrho_1 K_p P_н a^2+(\beta_n^2 T_{11}^{н}+\varrho_4+\varrho_5 A_{11})\left(\frac{a^2-a_0^2}{2}P_н+\frac{a_0^2}{2}P_T\right)+$$

$$+(T_{13}^{\theta}+\beta_n^4 T_{13}^{н}-0{,}3\beta_n^2\varrho_4+A_{11}\varrho_5)(P_T-P_н)a^2+2\varrho_2 a^2\left(\frac{d_T}{S_T}P_н-\frac{d_0}{S_T}P_T\right)+$$

$$+2\varrho_3 a^2(\alpha_t P_н-\alpha P_T)-\left[\alpha_к(t_к-t_0)L_к-(\alpha_T L+\alpha_0 L_0)(t_T-t_0)\right]\frac{D_p}{a^2};$$

$$a_{2.1}=-T_{12}^{\theta}a;\quad a_{2.2}=T_{22}^{\theta}+\varrho_6 B_{11}^{к};\quad a_{2.3}=\varrho_6 B_{12}^{к}S_1-T_{22}^{\theta}\frac{S_p}{2};\quad a_{2.4}=-T_{22}^{\theta};$$

$$a_{2.5}=T_{22}^{\theta}\frac{S_p}{2};\quad P_2=T_{23}^{\theta}(P_н-P_T)a^2-T_{12}^{\theta}\frac{a^2}{2}P_T.$$

$$a_{3.1}=-0{,}3a;\quad a_{3.2}=B_{12}^{к}+B_{11}^{к}\frac{S_p}{2S_1};\quad a_{3.3}=(B_{22}^{к}+\varrho_7 T_{33}^{\theta})S_1+B_{12}^{к}\frac{S_p}{2};$$

$$a_{3.5}=\varrho_7 T_{33}^{\theta}S_1,\quad P_3=(\alpha_p-\alpha_к)(t_к-t_0)E_к S_1 a-P_н a^2;$$

$$a_{4.2}=B_{11}^{к};\quad a_{4.3}=B_{12}^{к}S_1;\quad a_{44}=\varrho_8 B_{11}^{д};\quad a_{4.5}=\varrho_8 B_{12}^{д}S_2;$$

$$a_{5.3}=\varrho_9 T_{33}^{\theta}S_2;\quad a_{5.4}=B_{12}^{д}+B_{11}^{д}\frac{S_p}{2S_2};\quad a_{5.5}=(B_{22}^{д}+\varrho_9 T_{33}^{\theta})S_2+B_{12}^{д}\frac{S_p}{2}.$$

$$P_5=(\alpha_p-\alpha_д)(t_д-t_0)E_д S_2 a-0{,}85P_T a^2;$$

$$a_{6.6}=\varrho_8 B_{11}^{\theta};\quad a_{6.7}=\varrho_8 B_{12}^{д}S_2;\quad a_{68}=B_{11}^{к};\quad a_{6.9}=B_{12}^{к}S_1;$$

$$a_{7.6}=B_{12}^{д}+B_{11}^{д}\frac{S_{пл}}{2S_2};\quad a_{7.7}=(B_{22}^{д}+\varrho_{10}A_{33})S_2+B_{12}^{д}\frac{S_{пл}}{2};\quad a_{7.9}=\varrho_{10}A_{33}S_2;$$

$$a_{2.11}=-\varrho_{10}A_{23}S_2;\quad P_7=(\alpha_{пл}-\alpha_0)(t_д-t_0)E_д S_2 a+\varrho_{10}A_{23}S_2 S_{пл}P_T-0{,}85P_T a^2;$$

$$a_{8.1}=A_{13}a;\quad a_{8.6}=A_{33};\quad a_{8.7}=-A_{33}\frac{S_{пл}}{2};\quad a_{8.8}=-(A_{33}+\varrho_{11}B_{11}^{к});$$

$$a_{8.9}=A_{33}\frac{S_{пл}}{2}-\varrho_{11}B_{12}^{к}S_1;\quad a_{8.10}=A_{23};\ a_{8.11}=-A_{25}\frac{S_{пл}}{2};\ P_8=A_{13}\left(\frac{a^2-a_0^2}{2}P_н+\frac{a_0^2}{2}P_T\right)-A_{34}(P_н-P_T)a^2;$$

$$a_{9.1}=-0{,}3a;\quad a_{9.7}=\varrho_{12}A_{33}S_1;\quad a_{9.8}=B_{12}^{к}+B_{11}^{к}\frac{S_{пл}}{2S_1};\quad a_{9.9}=(B_{22}^{к}+\varrho_{12}A_{33})S_1+B_{12}^{к}\frac{S_{пл}}{2};$$

$$a_{9.11}=-\varrho_{12}A_{23}S_1;\quad P_9=(\alpha_{пл}-\alpha_к)(t_к-t_0)E_к S_1 a+\varrho_{12}A_{23}S_1 S_{пл}P_T-P_н a^2;$$

$a_{10.1} = A_{12} a_1$; $a_{10.6} = A_{23}$; $a_{10.7} = -A_{23}\frac{S_{пл}}{2}$; $a_{10.8} = -A_{23}$, $a_{10.9} = A_{23}\frac{S_{пл}}{2}$;

$a_{12.10} = A_{22} + Q_{13} B_{11}$; $a_{10.11} = Q_{13} B_{12} S_0 - A_{22}\frac{S_{пл}}{2}$; $a_{10.12} = -Q_{13} B_{13}$; $a_{10.13} = -Q_{13} B_{14} S_0$;

$P_{10} = A_{26}\left(\frac{a^2 - a_0^2}{2} P_{11} + \frac{a_0^2}{2} P_1\right) - A_{24}(P_{11} - P_1)a^2$;

$a_{11.1} = Q_3 3a$; $a_{11.7} = Q_{14} A_{23} S_0$; $a_{11.9} = Q_{14} A_{23} S_0$; $a_{11.10} = -B_{12} - B_{11}\frac{S_{пл}}{2S_0}$;

$a_{11.11} = -(B_{22} + Q_{14} A_{12}) S_0 - B_{12}\frac{S_{пл}}{2}$; $a_{11.12} = B_{11} + B_{13}\frac{S_{пл}}{2S_0}$; $a_{11.13} = B_{24} S_0 + B_{14}\frac{S_{пл}}{2}$;

$P_{11} = (\alpha_{11.1} - \alpha_0)(t_1 - t_0) E_0 S_0 a_0 + (P_{11} - P_1)a_0^2 + Q_3 3\left(\frac{a^2 - a_0^2}{2} P_{11} + \frac{a_0^2}{2} P_1\right) + Q_{14} A_{22} S_0 S_{пл} P_{11}$;

$a_{12.1} = -Q_{15} T_{12}'' a_1$; $a_{12.10} = -B_{13}$; $a_{12.11} = -B_{14} S_0$; $a_{12.12} = B_{11} + Q_{15} T_{22}''$;

$a_{12.13} = B_{12} S_0 - Q_{15} T_{22}''\frac{S_p}{2}$; $P_{12} = Q_{15}\left[T_{23}''(P_{11} - P_1)a_0^2 - T_{12}''\left(\frac{a^2 - a_0^2}{2} P_{11} + \frac{a_0^2}{2} P_1\right)\right]$;

$a_{13.1} = Q_3 3 a_1$; $a_{13.10} = B_{11} + B_{13}\frac{S_p}{2S_0}$; $a_{13.11} = B_{24} S_0 + B_{14}\frac{S_p}{2}$; $a_{13.12} = -B_{12} - B_{11}\frac{S_p}{2S_0}$;

$a_{13.13} = -(B_{22} + Q_{15} T_{33}'') S_0 - B_{12}\frac{S_p}{2}$; $P_{13} = (\alpha_p - \alpha_0)(t_p - t_0) E_0 S_0 a_0 + Q_3 3\left(\frac{a^2 - a_0^2}{2} P_{11} + \frac{a_0^2}{2} P_1\right) + (P_{11} - P_1)$

$Q_1 = \frac{D_p L_K}{2 E_K S_K a^3}$; $Q_2 = \frac{Q_3 3 D_p L}{4 E_T a^4}$; $Q_3 = \frac{D_p}{K a^4}$;

$Q_4 = \frac{D_p L_0}{E_0 S_0 a_0 a^2}$; $Q_5 = \frac{10,92 D_p \beta_2^2}{E_{пл} S_{пл}^2}$;

$Q_6 = \frac{D_p}{E_K S_1^2 a}$; $Q_7 = \frac{E_K a}{E_p S_p}$; $Q_8 = \frac{E_K S_1^2}{E_3 S_2^2}$;

$Q_9 = \frac{E_3 a}{E_p S_p}$; $Q_{10} = \frac{Q,91 \beta_{11} a_0 E_3}{E_{пл} S_{пл}}$; $Q_{11} = \frac{E_{пл} S_{пл}^2}{10,92 \beta_2 E_K S_1^2 a_0}$;

$Q_{12} = \frac{Q,91 E_K a_0 \beta_{11}}{E_{пл} S_{пл}}$; $Q_{13} = \frac{E_{пл} S_{пл}^2}{10,92 E_0 S_0^2 a_0}$; $Q_{14} = \frac{Q,91 E_0 a_0}{E_{пл} S_{пл}}$;

$Q_{15} = \frac{E_0 S_0^2 a_0}{D_p}$; $Q_{16} = \frac{E_0 a_0}{E_p S_p}$

Нагрузки остальных деталей определяются по формулам:

$$Q = \frac{a}{2} P_T - Q_K; \qquad Q_Д = \frac{a}{2} P_T;$$

$$Q_0 = \frac{a^2 - a_0^2}{2a_0}(P_H - P_T) + \frac{a}{a_0} Q; \qquad Q_a = \frac{a}{a_1} Q + \frac{a^2 - a_1^2}{2a_1}(P_H - P_T);$$

$$M_B = M_{KB} - M_{ДB} + \frac{S_P}{2}(H_{ДB} - H_{KB}); \qquad H_B = -(H_{ДB} + H_{KB});$$

$$M_З = M_{KH} - M_{ДH} - \frac{S_{ПР}}{2}(H_{KH} - H_{ДH}); \qquad H_З = -(H_{ДH} + H_{KH});$$

$$M_a^B = \frac{1}{A_{22}^B}\left[\bar{A}_{12}^B Q_a a_1 + A_{23}^B M_B + A_{24}^B (P_T - P_H) a_1^2\right];$$

$$M_a^H = \frac{1}{A_{22}^H}\left[\bar{A}_{12}^H Q_a a_1 + A_{23}^H \left(M_H - \frac{S_P}{2} H_H\right) + A_{24}^H (P_T - P_H) a_1^2\right];$$

$$H_a^B = \frac{A_{23}^B H_B}{A_{22}^B + \frac{1}{\xi_3 \psi_P}}; \qquad H_a^H = \frac{A_{23}^H H_H}{A_{22}^H + \frac{1}{\xi_3 \psi_P}};$$

$$N_T^B = f_1 (a_1 P_H - a P_T) + \frac{f_1}{a_1}(\varphi_1 Q_a + \varphi_2 \beta M_a^B);$$

$$M_T^B = \frac{E_T J_T \beta}{K a_1 l_{np}}(\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a^B);$$

$$N_T^H = f_1 (a_1 P_H - a P_T) + \frac{f_1}{a_1}(\varphi_1 Q_a + \varphi_2 \beta M_a^H);$$

$$M_T^H = \frac{E_T J_T \beta}{K a_1 l_{np}}(\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a^H);$$

$$M_a = \max\{|M_a^B|; |M_a^H|\} \operatorname{sign} M_a;$$

$$H_a = \max\{|H_a^B|; |H_a^H|\} \operatorname{sign} H_a;$$

$$N_T = \max\{|N_T^B|; |N_T^H|\} \operatorname{sign} N_T;$$

$$M_T = \max\{|M_T^B|; |M_T^H|\} \operatorname{sign} M_T .$$

I.5. Расчет трубных решеток

I.5.I. Расчет прочности трубных решеток

Расчет напряжений, возникающих в области закрепления труб и в месте соединения решетки с кожухом или фланцем, производится по формулам п.2.3 приложения I при $S = S_p - c$ или $S = S_{p1} - C$

Условия прочности трубных решеток:

$$\sigma_м \le 1{,}3[\sigma], \qquad \sigma \le 2{,}5[\sigma]$$

где $\sigma = \max[\sigma_1]$; $\qquad \sigma_1 = \sigma_м + \sigma_и$

Для конструкций 4,5,7 (черт.I3) требуется проверка условия прочности приварки решетки к кожуху или фланцу по формуле

$$\tau < 0{,}5[\sigma]$$

Оценка малоцикловой прочности трубной решетки в зоне соединения ее с кожухом или фланцем производится по ГОСТ 25859-83 при $\sigma_1 = \sigma_м + \sigma_и$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$. Значения K_σ принимаются по черт.I3.

I.5.2. Расчет жесткости трубной решетки

Условие жесткости трубной решетки

$$W \le [W],$$

где

$$W = \max\{[W_1]; [W_0]; [W_1 + W_0]\}; \quad [W] = 0{,}2 S_p;$$

$$W_1 = \frac{a^2}{D_p}\left[T_н Q a + T_{12} M + T_{13}(P_т - P_м) a^2\right];$$

$W_0 = 0$ - если $l_в = S_p$ или $l_в < S_p$ но $X_в = 0$ (вальцевание производится симметрично срединной плоскости решетки (черт.3,а);

$W_0 = \frac{X_в}{\Phi}$ - если $l_в < S_p$ и $X_в \neq 0$ (вальцевание производится несимметрично срединной плоскости решетки, черт.3,б).

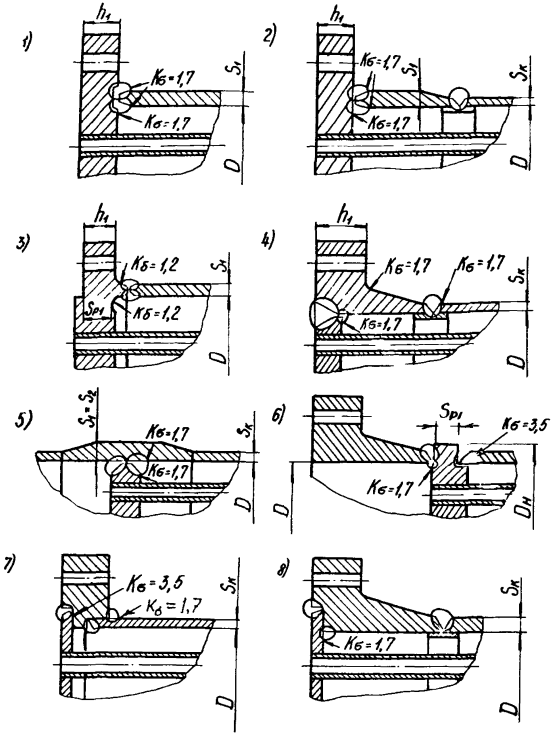
Значения коэффициента Φ принимаются по табл.I в зависимости от

$$\alpha_в = \frac{A_5 a_1}{S_p}\sqrt{\frac{l_в}{S_p}},$$

где

$$A_5 = \sqrt{\frac{10{,}92\, A_4\, P_{ост}}{\psi_p E_p}}.$$

Схемы присоединения трубных решеток к пожуху или фланцу



Черт. 13

Таблица I

Коэффициенты Ф

α_e	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Ф	259,34	64,34	28,23	I5,59	9,74	6,56	4,65	3,4I

Продолжение табл.I

α_e	0,9	I,0	I,I	I,2	I,3	I,4	I,5	I,6
Ф	2,555	I,947	I,498	I,I57	0,892	0,683	0,5I5	0,378

Продолжение табл. I

α_e	I,7	I,8	I,9	2,0	2,02	2,04	2,048	$\geqslant$2,05
Ф	0,265	0,I725	0,0943	0,0284	0,0I65	0,00498	0,00047	0

В тех случаях, когда к жесткости трубных решеток предъявляются дополнительные требования, определение $[W]$ производится по ОСТ 26-II85-8I.

I.6. Расчет теплообменных труб

Помимо давления в трубном и межтрубном пространствах на теплообменные трубы воздействуют осевая нагрузка N_T и изгибающий момент M_T, максимальные (по абсолютной величине) значения которых определяются по формулам :

$$N_T = f_i\left(\alpha_1 P_H - \alpha P_T\right) + \frac{f_i}{a_1}\left(\varphi_1 Q_a + \varphi_2 \beta M_a\right), \quad M_T = \frac{E_T J_T \beta}{K a_1 l_{mp}}\left(\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a\right).$$

I.6.I. Расчет прочности теплообменных труб

Оценка прочности теплообменных труб производится по формулам

$$\sigma_{M1} \le 1{,}3[\sigma], \quad \sigma_{M2} \le [\sigma], \quad \sigma \le 2{,}5[\sigma],$$

где $\sigma_{M1} = \dfrac{[N_T]}{f_T}$; $\sigma_{M2} = \dfrac{(d_B + S_T)[P_T - P_M]}{2S_T}$;

$$\sigma = \frac{[N_T]}{f_T} + \frac{d_T[M_T]}{2J_T}$$

Оценка малоцикловой прочности теплообменных труб производится по ГОСТ 25859-83 при

$$\sigma_1 = \frac{[N_T]}{f_T} + \frac{d_T[M_T]}{2J_T}, \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0, \quad K_\sigma = 1$$

I.6.2. Расчет жесткости теплообменных труб.

При $N_T < 0$ производится оценка жесткости теплообменных труб по формулам:

$$y \le [y], \qquad \lambda \le 1,$$

где $\lambda = \dfrac{[N_T] l_{пр}^2}{E_T J_T}$; $y = A_6 \dfrac{[M_T]}{[N_T]}$;

$$A_6 = \frac{1 - \cos\sqrt{\lambda}}{\cos\sqrt{\lambda}}.$$

Значения коэффициентов A_6 приведены в табл.2.

Таблица 2

Коэффициенты A_6

λ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
A_6	0,05	0,11	0,17	0,24	0,32	0,40	0,49	0,60	0,72	0,85

Допускается изготовление грекущих камер, у которых не выполняется условие жесткости теплообменных труб. В этом случае толщина решетки должна быть не менее

$$S_p \geq \frac{D}{4,2}\sqrt{\frac{|P_м - P_т|}{\varphi_p [\sigma]}} + c,$$

где $P_м$, $P_т$ и $[\sigma]$ принимается для того расчетного режима, в котором не выполнено условие жесткости теплообменных труб.

1.6.3. Расчет плотности крепления теплообменных труб способом развальцовки

Если $P_м > 0$, производится оценка плотности крепления теплообменных труб по формуле:

$$P_м \leq [P_м]$$

где $$[P_п] = \frac{P_{ост} + A_т P_т + A_т P_т - A_м P_м}{2,4\,(1 + A_м A_1)};\quad A_м = \frac{A_т\,(d_o - S_т)^2}{4 d_o S_т};$$

$$A_т = \frac{1,82\,A_т}{\lambda_т^2 - 1};\qquad A_м = 0,3 A_т;$$

$$A_т = \frac{1}{0,91 B_т + \frac{E_т}{E_p} B_p};\qquad P_т = E_т (a_т - a_p)(t_p - t_o);$$

$$P_м = \frac{N_т}{\pi d_o S_т};\qquad B_p = \frac{0,91\,(\lambda_p^2 - 1)}{1,3 + 0,7\lambda_p^2}.$$

Значения коэффициентов $A_т$ принимаются по табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты A_I

Размеры, мм

Способ развальцовки трубы	Толщина трубы	Коэффициент A_I при наружном диаметре трубы			
		20	25	38	57
Без канавок	I,5	I,000	I,000	I,000	I,000
	2,0	I,000	I,000	I,000	I,000
С одной канавкой	I,5	0,785	0,802	0,834	0,846
	2,0	0,825	0,843	0,878	0,894
С двумя и более канавками	I,5	0,208	0,255	0,354	0,437
	2,0	0,282	0,333	0,429	0,504

I.6.4. Расчет прочности крепления теплообменных труб способом развальцовки

Оценка прочности крепления труб производится по формуле:

$$|N_T| \le [N_T],$$

где

$$[N_T] = N_B + n_K N_K; \qquad N_K = \min\{N_{CM}; N_{CP}\};$$

$$N_{CM} = \pi\left(d_0 + \frac{h_K}{2}\right) h_K [\sigma]; \qquad N_{CP} = 0{,}5\pi d_0 b_K [\sigma];$$

$$N_B = \frac{A_2}{2{,}4}\left(P_{OCT} + A_T P_T + A_T P_T - A_3 P_M\right).$$

При $N_T > 0$:

$$A_2 = \frac{\pi d_0 S_T}{0{,}3\, A_T}\left(1 - e^{-\omega_T}\right); \quad \omega_T = \frac{0{,}3\, \alpha_{TP} A_T l_B}{S_T};$$

$$A_3 = A_M \omega_T \frac{(\omega_T + \omega_B)\left(e^{\omega_T} - e^{-\omega_B}\cos\omega_B\right) + \omega_B e^{-\omega_B}\sin\omega_B}{\left(e^{\omega_T} - 1\right)\left[(\omega_T + \omega_B)^2 + \omega_B^2\right]}; \quad \omega_B = \frac{1{,}285\, l_B}{\sqrt{(d_0 - S_T) S_T}};$$

α_{TP} =0,4÷0,5 – при развальцовке стальных труб в стальные решетки;

α_{TP} =0,I ÷0,I5– при развальцовке латунных труб в стальные или латунные решетки.

При $N_T < 0$:

$$A_2 = \frac{\pi d_0 S_T}{0{,}3\, A_T}\left(e^{\omega_T} - 1\right);$$

$$A_3 = A_M \omega_T \frac{(\omega_T - \omega_B)\left[e^{(\omega_T-\omega_B)}\cos\omega_B - 1\right] + \omega_B e^{(\omega_T-\omega_B)}\sin\omega_B}{(e^{\omega_T}-1)\left[(\omega_T-\omega_B)^2+\omega_B^2\right]}$$

I.6.5. Расчет прочности крепления теплообменных труб способом приварки

Оценка статической прочности крепления труб способом приварки производится по формуле:

$$\tau \leq [\tau] \ ,$$

где $$\tau = \frac{|N_T|/d_T + 4|M_T|}{\pi d_T^2 \delta} \ , \quad [\tau] = 0{,}5\,[\sigma] .$$

Оценка малоцикловой прочности крепления труб способом приварки производится по формуле

$$\tau_a \leq [\tau_a],$$

где $$\tau_a = \frac{1}{2}|\tau - \tau_0| \ ; \quad [\tau_a] = \frac{\varphi_c}{2}[\sigma];$$

τ – напряжение в сварном соединении при максимальной нагрузке цикла, МПа;

τ_0 – напряжение в сварном соединении при минимальной нагрузке цикла, МПа;

φ_c – коэффициент уменьшения циклической прочности сварных соединений труб с решетками. При $N \leq 50000$ вычисляется по формуле

$$\varphi_c = 0{,}95 - 0{,}2\,lg\,N \ .$$

Если несколько расчетных режимов циклически повторяются, должно выполняться условие

$$\frac{N_1}{[N_1]} + \frac{N_2}{[N_2]} \ldots \leq 1,$$

где $N_1, N_2, \ldots$ – число циклов нагружения каждого типа;

$[N_1], [N_2], \ldots$ – допускаемое число циклов нагружения каждого типа.

Принимается $[N] \leq 50000$ по формуле

$$[N] = 5\left(0{,}95 - \frac{\tau_a}{[\sigma]}\right)$$

I.6.6. Расчет прочности крепления теплообменных труб способом приварки с развальцовкой

Оценка прочности крепления труб способом приварки с развальцовкой производится по формуле

$$\frac{[\tau]}{\tau} + 0{,}6\,\frac{[N_T]}{[N_T]} \geq 1.$$

I.7. Расчет прочности обечаек

Расчет напряжений, возникающих в цилиндрических оболочках 2 (черт.7), 2,3 (черт.8,9), 2,3,6,7 (черт.10,11),4,5,6,7 (черт.12), производится по формулам п.3.3 приложения I с учетом фактического направления действия нагрузок и толщины $S = S_i - C$, где S_i -толщина соответствующей оболочки.

Помимо расчета прочности обечаек по ГОСТ 14249-80 или другой аналогичной руководящей нормативной документации, производится оценка прочности соединения обечаек с решеткой, фланцем или другими деталями по формулам:

$$\sigma_м \leq 1{,}3[\sigma] \qquad \sigma \leq 2{,}5[\sigma]$$

где $\sigma_м = max\{[\sigma_{мх}]; [\sigma_{мф}]; [\sigma_{мх} - \sigma_{мф}]\}$ $\sigma = max\{[\sigma_1]; [\sigma_2]; [\sigma_1 - \sigma_2]\}$;

$\sigma_1 = \sigma_{мх} + \sigma_{их}$; $\sigma_2 = \sigma_{мф} + \sigma_{иф}$.

Оценка прочности приварки оболочки к другим деталям производится по формуле $\tau \leq 0{,}5[\sigma]$ 0,5

Оценка малоцикловой прочности производится по ГОСТ 25859-83 при $\sigma_1 = \sigma_{мх} + \sigma_{их}$, $\sigma_2 = \sigma_{мф} + \sigma_{иф}$, $\sigma_3 = 0$. Значения K_σ принимаются по черт.13,18 в зависимости от принятого конструктивного исполнения.

I.8. Расчет деталей фланцевого разъема

I.8.1. Условие прочности болтов или шпилек $\sigma_б^t \leq [\sigma]_б^t$,

где $\sigma_б^t = \frac{2\pi R_б Q_б}{n_б f_б}$

I.8.2. Условие прочности прокладки $q_{max} \leq [q]$,

где $q_{max} = max\{q_o, q_п\}$; $q_o = \frac{Q_п^o}{b_п}$; $q_п = \frac{Q_п}{b_п}$.

I.8.3. Условие предварительного обжатия прокладки

$$q_o \geq q .$$

I.8.4. Условие плотности фланцевого соединения

$$q_п \geq m p_т .$$

I.8.5. Условие жесткости фланцев

$$\varphi_{max} \leq 0{,}013 ,$$

2. РАСЧЕТ ОСЕВЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

2.1. Исходные данные

D - внутренний диаметр цилиндрической оболочки, на которой установлен компенсатор, мм ;

$d_к$ - внутренний диаметр компенсатора (черт.14) ,мм ;

$D_к$ - наружный диаметр компенсатора,мм ;

P - расчетное давление (абсолютное значение), МПа;

$P_и$ - давление при испытаниях, МПа ;

$\delta_к$ - толщина компенсатора (уточняется при расчете), мм ;

C - сумма необходимых прибавок к расчетной толщине на возможные утонения при изготовлении и эксплуатации, мм ;

E - модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа. Принимается по ГОСТ 14249-80 или другой руководящей нормативной документации ;

ν - коэффициент Пуассона (ν =0,3) ;

$\sigma_т$ - предел текучести при расчетной температуре,МПа;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение при расчетной температуре,МПа. Принимается по ГОСТ 14249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей ;

N - число циклов нагружения компенсатора ;

Δ - осевое смещение,которое необходимо скомпенсировать данным компенсатором (абсолютное значение), мм;

$n_{ком}$ - число волн компенсатора (уточняется при расчете);

$n_ш$ - число шпилек (стяжек) линзового компенсатора (черт.15) ;

$d_з$ - внутренний диаметр резьбы шпильки,мм. Принимается по ГОСТ 11708-66;

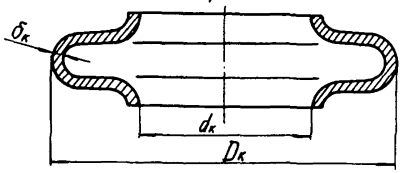
$D_ш$ - диаметр окружности расположения шпилек, мм ;

S - толщина цилиндрической оболочки в месте установки стяжек,мм;

$S_п, S_р, S_к$ -толщина пластин, ребер и колец, мм ;

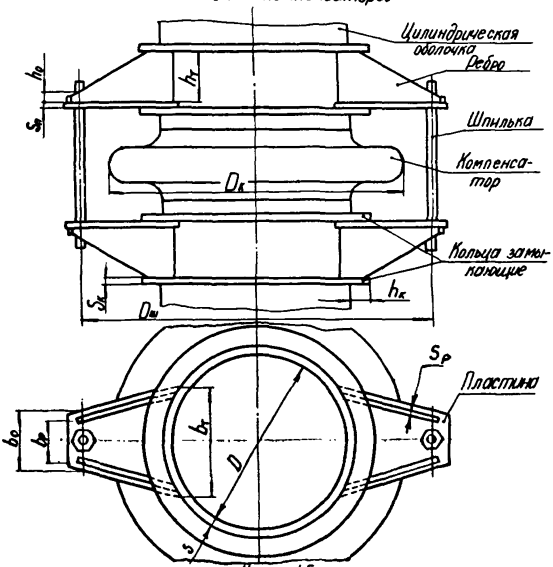
$b_0, b_т, b_р$ -ширина пластины в месте установки шпилек,в месте приварки к трубопроводу и расстояние между осями ребер в месте установки шпилек, мм ;

Компенсатор линзовый



Черт. 14

Стяжки для компенсаторов



Черт. 15

$h_0; h_T, h_K$ - высота ребра в месте установки шпилек, в месте приварки к трубопроводу и высота колец, мм.

2.2. Расчет линзовых компенсаторов

2.2.1. Расчетная толщина компенсатора δ_R определяется по давлению при испытаниях P_u и соответствующей температуре (20 °С) по формуле:

$$\delta_K = \lambda d_K \sqrt{\frac{1{,}1 P_u}{\sigma_T}},$$

где $$\lambda = \sqrt{\frac{(1-\beta_K)(1-\beta_K^2)}{8\beta_K^2(3+\beta_K)}}, \quad \beta_K = \frac{d_K + \delta_K}{D_K - \delta_K}.$$

Исполнительная толщина компенсатора δ_K (черт.14) назначается с учетом прибавки С по формуле

$$\delta_K \geqslant \delta_R + C$$

2.2.2. Компенсирующая способность одной волны компенсатора принимается в зависимости от расчетного числа циклов нагружения N по формуле

$$\Delta_1 = \frac{2\varepsilon d_K^2}{A_1 \delta_K},$$

где $$A_1 = \frac{8\sqrt{1-\nu+\nu^2}}{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{\beta_K^2(1-\beta_K^2) + 2\beta_K^4 \ln\beta_K}{(1-\beta_K^2)^2 - 4\beta_K^2 \ln^2\beta_K}$$ при $\beta_K \leqslant 0{,}9$;

$$A_1 \approx \frac{4\sqrt{1-\nu+\nu^2}}{(1-\nu^2)(1-\beta_K)^2}\left[1 - \frac{7}{3}(1-\beta_K) + \frac{97}{60}(1-\beta_K)^2 - \frac{11}{45}(1-\beta_K)^3\right]$$ при $\beta_K > 0{,}9$;

$$\varepsilon = \frac{0{,}0225}{K_c \sqrt[5]{N}};$$

Кс - коэффициент запаса. Для углеродистых и низколегированных сталей и титановых сплавов Кс = 1,5, для легированных сталей аустенитного класса Кс = 1,1.

Если в расчете должна учитываться ползучесть материала или в условиях эксплуатации недопустима работа материала линзы в области пластических деформаций, или в исходных данных для расчета не оговоре-

но число циклов нагружения, допускаемую амплитуду интенсивности деформаций ε необходимо ограничить величиной

$$\varepsilon = 1{,}3\,\frac{[\sigma]}{E}.$$

2.2.3. Число витков компенсатора определяется по формуле $n_{кол} \geq \frac{\Delta}{\Delta_1}$.

Если при эксплуатации будет иметь место только сжатие компенсатора, то при установке рекомендуется предварительно растянуть его на величину $\Delta_п \approx \Delta/2$. Если только растяжение – предварительно сжать на эту же величину.

2.2.4. Условие применимости формул $\varepsilon_{max} \leq 0{,}002$,

где $\varepsilon_{max} = \frac{\Delta\delta_к A_1}{2n_{кол} d_к^2} + \frac{P d_к^2 B_1}{E(\delta_к - C)^2}$;

$$B_1 = \frac{3\sqrt{1-\nu+\nu^2}}{64\beta_к^2}\left[2-(1-\beta_к^2)\frac{2\beta_к^2(3+\beta_к^2)\ln\beta_к + (1-\beta_к^2)(1+3\beta_к^2)}{(1-\beta_к^2)^2 - 4\beta_к^2 l_n^2 \beta_к}\right] \quad \text{при } \beta_к \leq 0{,}9;$$

$$B_1 \approx \frac{\sqrt{1-\nu+\nu^2}}{16}(1-\beta_к)^2\left[1+\frac{9}{5}(1-\beta_к)+\frac{31}{12}(1-\beta_к)^2+\frac{3533}{1050}(1-\beta_к)^3\right] \quad \text{при } \beta_к > 0{,}9.$$

2.2.5. Жесткость компенсатора $K_к$ (усилие, возникающее при осевом растяжении или сжатии его на единицу длины) определяется по формуле:

$$K_к = \frac{E\,\delta_к^3 A_2}{n_{кол} d_к^2},$$

где $$A_2 = \frac{8\pi}{3(1-\nu^2)}\,\frac{\beta_к^2(1-\beta_к^2)}{(1-\beta_к^2)^2 - 4\beta_к^2 l_n^2 \beta_к} \quad \text{при } \beta_к \leq 0{,}9,$$

$$A_2 \approx \frac{4\pi}{(1-\nu^2)(1+\beta_к)^3}\left[1-\frac{5}{2}(1-\beta_к)+\frac{61}{30}(1-\beta_к)^2-\frac{11}{20}(1-\beta_к)^3\right] \quad \text{при } \beta_к > 0{,}9.$$

2.2.6. Температурный распор компенсатора P_1 (абсолютное значение) определяется по формуле:

$$P_1 = K_к(\Delta - \Delta_п).$$

2.2.7. Усилие в компенсаторе, вызванное воздействием давления на линзу компенсатора P_2 (абсолютное значение), определяется по формуле

$$P_2 \approx \frac{\pi(D_к^2 - d_к^2)P}{8}.$$

2.2.8. Значения коэффициентов λ, A_1, B_1, A_2 при $\nu = 0{,}3$ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты λ , A_I, B_I, A_2

$\beta_к$	λ	A_I	B_I	A_2
0,65	0,1280	11,8	0,01490	113
0,66	0,1230	13,0	0,01350	128
0,67	0,1170	14,3	0,01270	145
0,68	0,1120	15,6	0,01170	164
0,69	0,1080	17,3	0,01040	188
0,70	0,1030	18,9	0,01010	212
0,71	0,0980	21,1	0,00872	245
0,72	0,0935	23,3	0,00792	281
0,73	0,0891	25,9	0,00719	324
0,74	0,0847	28,9	0,00650	375
0,75	0,0805	32,1	0,00586	436
0,76	0,0764	35,9	0,00527	509
0,77	0,0724	40,3	0,00473	597
0,78	0,0684	45,4	0,00423	704
0,79	0,0646	51,3	0,00376	834
0,80	0,0608	58,2	0,00333	996
0,81	0,0572	66,4	0,00294	1200
0,82	0,0536	76,1	0,00258	1450
0,83	0,0501	87,7	0,00225	1770
0,84	0,0466	102,0	0,00195	2190
0,85	0,0433	119,0	0,00168	2740
0,86	0,0400	140,0	0,00143	3460
0,87	0,0367	167,0	0,00121	4450
0,88	0,0336	202,0	0,00101	5820
0,89	0,0305	246,0	0,00083	7770
0,90	0,0274	306,0	0,00067	10600

2.3. Расчет стяжек для линзовых компенсаторов

В отдельных случаях для предотвращения растяжения компенсатора при испытаниях устанавливают специальные стяжки (черт.15), расчет которых производится для условий испытаний при соответствующей температуре.

2.3.1. Расчет шпилек

Условие прочности шпилек

$$\sigma_ш \le [\sigma]_ш ,$$

где

$$\sigma_ш = \frac{4 N_ш}{\pi d_з^2} ; \qquad N_ш = \frac{\pi (D_к^2 + D^2) P_ш}{8 n_ш} ; \qquad [\sigma]_ш = \frac{\sigma_т}{2} .$$

2.3.2. Расчет пластины и ребра

С целью выяснения максимальных напряжений расчет производится для нескольких сечений при $0 < x \le l_п$;

где

$$l_п = \frac{D_ш - D}{2}$$

В этих сечениях вычисляются

$$h_р = h_0 + \frac{h_т - h_0}{l_п} x \quad ; \qquad b_п = b_0 + \frac{b_т - b_0}{l_п} x \quad ;$$

$$F_р = h_р S_р \quad ; \qquad F_п = b_п S_п \quad ;$$

$$Z_р = \frac{(h_р + S_п) F_п}{2(2F_р + F_п)} \quad ; \qquad Z_п = \frac{h_р + S_п}{2} - Z_р \quad ;$$

$$I_р = \frac{S_р h_р^3}{12} \quad ; \qquad I_п = \frac{b_п S_п^3}{12} \quad ;$$

$$I = 2I_р + 2Z_р^2 F_р + I_п + Z_п^2 F_п \quad ;$$

$$W_р = \frac{2I}{h_р + 2Z_р} \quad ; \qquad W_п = \frac{2I}{S_п + 2Z_п} \quad ;$$

$$\sigma_р = \frac{N_ш x}{W_р} \quad ; \qquad \sigma_п = \frac{N_ш x}{W_п} \quad .$$

Условие прочности ребра

$$\sigma_р^{max} = max \{|\sigma_р|\} \le [\sigma] .$$

Условие прочности пластины

$$\sigma_п^{max} = max \{|\sigma_п|\} \le [\sigma] .$$

Границы применимости формул

$$h_т \leqslant 20 S_р . \qquad b_р \leqslant 20 S_п .$$

2.3.3. Расчет колец замыкающих

Силы, действующие на кольцо, определяются по формуле

$$N_к = \frac{N_ш l_п}{2h},$$

где $h = h_т + S_п + S_к$.

Вспомогательные величины

$$l_0 = min\{h ; (S_к + 1,1\sqrt{DS})\};$$

$$F_к = S_к h_к ; \qquad F_0 = S l_0 ;$$

$$Z_0 = \frac{(h_к + S) F_к}{2(F_к + F_0)} ; \qquad R_к = \frac{D+S}{2} + Z_0 .$$

При $F_0 \geqslant F_к$:

$$Z = \frac{F_0 + F_к}{2 l_0} ; \qquad W_к = F_к \left(\frac{h_к}{2} + S - Z\right) + \frac{l_0}{2}\left[Z^2 + (S-Z)^2\right].$$

При $F_к > F_0$:

$$Z = \frac{F_0 + F_к}{2 S_к} ; \qquad W_к = \frac{S_к}{2}\left[(h_к - Z)^2 + Z^2\right] + F_0\left(\frac{S}{2} + h_к - Z\right).$$

Условие прочности кольца $\sigma_к \leqslant [\sigma]$,

где $$\sigma_к = \frac{N_к R_к}{2{,}2 W_к}\left(1 - \frac{b_т}{2R_к}\right) .$$

2.4. Расчет и конструирование пружинных компенсаторов

2.4.1. Описание конструкции

Компенсатор пружинный (черт. 16) ,устанавливаемый под опору-лапу, состоит из нескольких винтовых цилиндрических пружин (1),устанавливаемых между опорной (2) и нажимной (3) плитами. Опоры-лапы устанавливаются на нажимные плиты компенсаторов так, чтобы отжимные винты попадали в посадочные гнезда (4). Опорная плита устанавливается на проектную отметку так, чтобы было обеспечено полное прилегание, и кре -

пится двумя болтами через отверстия (5). К нажимной плите привариваются ограничительные втулки (6) , а в опорную плиту заворачиваются направляющие стержни (7). Втулки (6) служат для ограничения максимального сжатия пружин и контроля остаточной деформации пружин путем замера расстояния между нижним торцом втулки и плоскостью опорной плиты в рабочем состоянии. Перед установкой аппарата на пружинные компенсаторы не допускается сжимать пружины шпильками (8). Они предназначены для сборки самих пружинных компенсаторов и демонтажа одного из них при эксплуатации.

Пружинные компенсаторы используются в тех случаях, когда по условиям эксплуатации нельзя применить линзовые или волнистые компенсаторы. Кроме того, они позволяют более равномерно распределить нагрузку между всеми опорами-лапами. Границы применимости пружинных компенсаторов соответствуют границам применимости винтовых цилиндрических пружин по ГОСТ 13764-68.

2.4.2. Определение размеров

Определение размеров винтовых цилиндрических пружин производится по ГОСТ 13765-68. Исходными величинами являются рабочий ход h , равный разности температурных удлинений, которую необходимо скомпенсировать. Сила пружины при предварительной деформации P_1 определяется по формуле

$$P_1 = \frac{G_м}{n_{оп} n_п} ,$$

где $G_м$ – вес аппарата, устанавливаемого на пружинные опоры при монтаже;

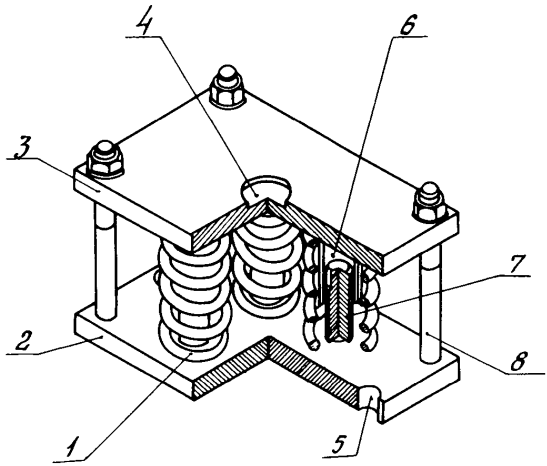
$n_{оп}$ – число опор-лап на аппарате ;

$n_п$ – число пружин в каждом пружинном компенсаторе.

Чтобы скомпенсировать заданную разность температурных удлинений h необходимо, чтобы сила пружины при рабочей деформации P_2 была близка к значению, определяемому по формуле

$$P_2 = \frac{G_р}{n_{оп} n_п} ,$$

Компенсатор пружинный



черт. 16

где G_P - вес аппарата в рабочем состоянии с учетом веса обрабатываемого продукта.

Размеры пружин подбираются такими, чтобы

$$P_3 \approx (1{,}5 \ldots 2{,}0)\, P_2 ; \quad n \geqslant 2{,}5 ; \quad H_0 \leq 5\,(D-d),$$

где Но - высота пружины в свободном состоянии ;

n - число рабочих витков пружины ;

P_3, d, D - сила пружины при максимальной деформации, диаметр проволоки и наружный диаметр пружины (принимаются по ГОСТ 13766-68 ... ГОСТ 13776-68).

Высоту ограничительной втулки (6) выбирают такой, чтобы предотвратить соприкосновение витков при максимальном сжатии:

$$H_в \geqslant H_0 - n f_3 ,$$

где $H_в$ - высота ограничительной втулки 6 (черт. 16) ;

f_3 - наибольший прогиб одного витка (принимается по ГОСТ 13766-68... ГОСТ 13776-68).

Жесткость опорного устройства, состоящего из пружинных компенсаторов, устанавливаемых под все опоры лапы, определяется по формуле

$$Z_{on} = Z n_{on} n_n$$

где $Z = \frac{Z_1}{n}$,

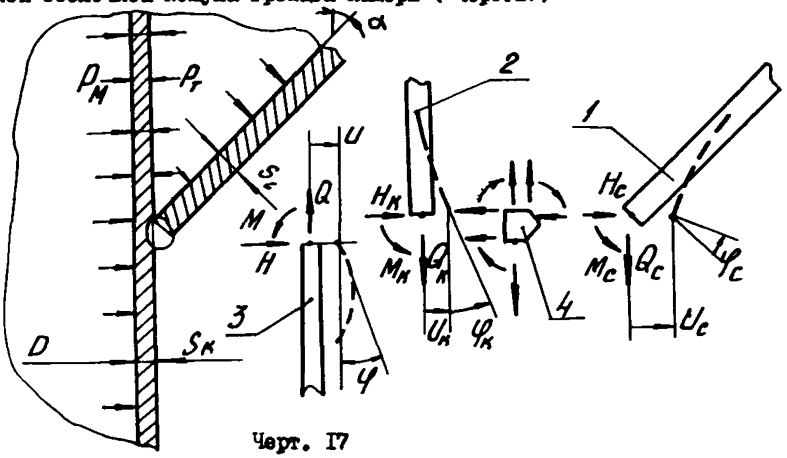
Z - жесткость одной пружины ;

Z_1 - жесткость одного витка пружины (принимается по ГОСТ 13766-68... ГОСТ 13776-68) ;

Z_{on} - жесткость опорного устройства (силы, под действием которой аппарат проседает на пружинной опоре на единицу длины).

3. РАСЧЕТ МЕСТ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНО НАГРУЖЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ

3.I. Место пересечения конической оболочки сепаратора с цилиндрической оболочкой кожуха греющей камеры (черт.I7)



Черт. I7

3.I.I. Исходные данные

$D, S_к$ – внутренний диаметр и толщина цилиндрической оболочки кожуха греющей камеры, мм ;

S_c – толщина конической оболочки сепаратора, мм ;

α – половина угла при вершине конической оболочки, град ;

t – расчетная температура, °С ;

t_0 – начальная температура, °С ($t_0 = 20$ °С) ;

$\chi_к, \alpha_c$ – коэффициент линейного расширения материалов кожуха и сепаратора, I/°С ;

$E_к, E_c$ – модули продольной упругости материалов кожуха и сепаратора , МПа ;

$p_т, p_м$ – давление в трубном и межтрубном пространствах, МПа;

$Q_к, Q_c$ – осевые нагрузки кожуха и сепаратора, отнесенные к единице длины рассматриваемого сечения, Н/мм ;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение , МПа. Принимается по ГОСТ I4249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей.

3.1.2. Вспомогательные величины

3.1.2.1. Для цилиндрической оболочки

$$R=\frac{D+S_к}{2}\ ;\qquad S=S_к\ ;\qquad \omega=\sqrt[4]{\frac{2,73R^2}{S^2}}\ ;$$

$$B_{11}=\frac{4S}{R}\omega^3\qquad B_{12}=2\omega^2;\qquad B_{22}=\frac{2R}{S}\omega$$

3.1.2.2. Для конической оболочки

$$R_1=\frac{D}{2}+S_к+\frac{S_к\cos\alpha}{2};\qquad S=S_c\ ;\qquad \omega_1=\sqrt[4]{\frac{2,73R_1^2}{S^2}}\ ;$$

$$B_{11}=4\sqrt{\frac{2,73}{\cos\alpha}}\ ;\qquad B_{12}=2\ ;\qquad B_{22}=2\sqrt{\frac{\cos\alpha}{2,73}}\ ,$$

$$C_{11}=B_{11}\omega_1\ ;\qquad C_{12}=C_{21}=B_{12}\omega_1^2;\qquad C_{15}=tg\alpha\left(\frac{1}{\cos\alpha}+C_{12}\right);$$

$$C_{16}=-\frac{2R_1tg\alpha}{S\cos\alpha};\qquad C_{22}=B_{22}\omega_1^3;\qquad C_{25}=tg\alpha C_{22}-\frac{0,3R_1}{S\cos\alpha}\ ;$$

$$C_{26}=\frac{R_1^2}{S^2\cos\alpha}\ .$$

3.1.3. Нагрузки

3.1.3.1. Для определения M_0, H_c, $M_к$, $H_к$ необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений

$$\begin{cases} a_{11}M_c+a_{12}H_cS_c+a_{13}M_к+a_{14}H_кS_к=b_1\ ,\\ a_{21}M_c+a_{22}H_cS_c+a_{23}M_к+a_{24}H_кS_к=b_2\ ,\\ a_{31}M_c+a_{32}H_cS_c+a_{33}M_к+a_{34}H_кS_к=b_3\ ,\\ \qquad\qquad a_{42}H_cS_c+a_{43}M_к+a_{44}H_кS_к=b_4\ , \end{cases}$$

где $a_{11}=C_{11}$; $a_{12}=a_{21}=C_{12}$; $a_{13}=-A_1B_{11}$; $a_{14}=-A_1B_{12}$;

$b_1=-C_{15}Q_cS_c-C_{16}P_TS_c^2$;

$$a_{22}=C_{22}; \quad a_{23}=-A_2(B_{12}+A_3B_{11}); \quad a_{24}=-A_2(B_{22}+A_3B_{12});$$

$$b_2=(\alpha_к-\alpha_c)(t-t_0)E_cS_cR-0{,}3A_2Q_кR-C_{25}Q_cS_c+A_2(P_{м}-P_т)R^2-C_{26}Q_тS_c^2;$$

$$a_{31}=\frac{R_1}{R}; \quad a_{32}=\frac{R_1\sin\alpha}{2R}-\frac{R_1}{R}\left(\frac{1}{\sin\alpha}+\frac{B_{12}S_к}{B_{11}S_c}\right); \quad a_{33}=2; \quad a_{34}=-A_4;$$

$$b_3=\frac{R_1}{R}(R_1-R)Q_c; \qquad b_4=q_тR^2-0{,}3Q_cR_1;$$

$$a_{42}=\frac{R_1S_к}{RS_c}\left(B_{22}-\frac{B_{12}^2}{B_{11}}\right); \quad a_{43}=2B_{12}+A_4B_{11}; \quad a_{44}=2B_{22}+A_4B_{12};$$

$$A_1=\frac{E_cS_c^2}{E_кS_к^2}; \quad A_2=\frac{E_cS_c}{E_кS_к}; \quad A_3=\frac{S_c\sin\alpha}{2S_к}; \quad A_4=\frac{S_c}{S_к\sin\alpha}.$$

3.1.3.2. Остальные нагрузки определяются по формулам

$$M=-M_к+\frac{S_cH_к}{\sin\alpha}-\frac{R_1}{R}M_c+\left(\frac{R_1}{R\sin\alpha}-\frac{R_1\sin\alpha}{2R}\right)S_cH_c+\frac{R_1}{R}(R_1-R)Q_c,$$

$$H=-H_к-\frac{R_1}{R}H_c;$$

$$Q=Q_к+\frac{R_1}{R}Q_c.$$

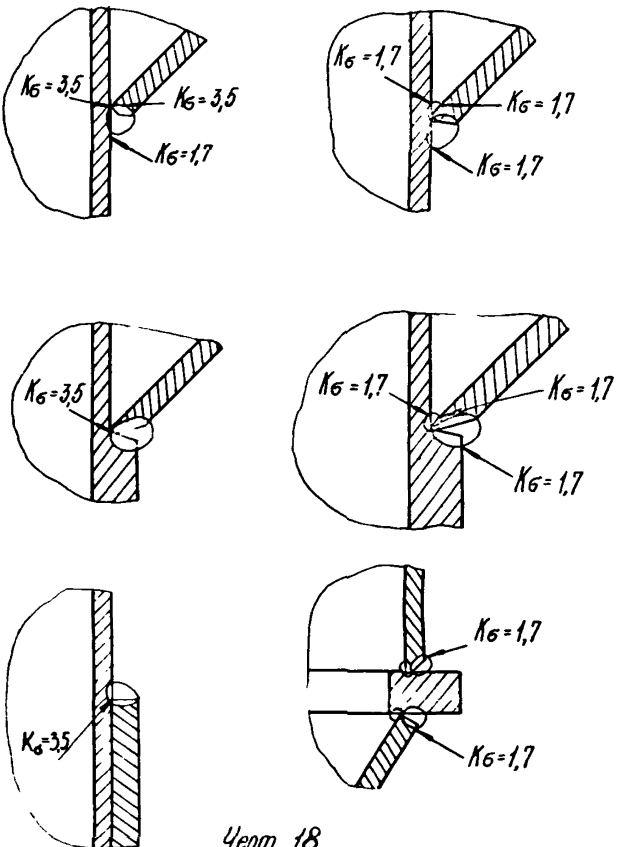
3.1.4. Расчет прочности

Расчет напряжений, возникающих в конической оболочке (I), производится по формулам п.4.3., а в цилиндрических оболочках (2,3) - по формулам п.3.3 приложения I с учетом фактического направления действия нагрузок и толщины $S=S_i-C$.

Оценка прочности обечаек производится по формулам п.I.7.

Значения коэффициентов K_σ принимаются по черт.I8 в зависимости от принятого конструктивного исполнения.

Схемы соединения оболочек вращения



Черт. 18

3.2. Место перехода конической оболочки сепаратора с цилиндрической оболочкой кожуха греющей камеры, подкрепленное ступенчатой цилиндрической оболочкой (черт. 19)

На кожухе греющей камеры a установлено опорное кольцо δ , к которому приваривается нижняя часть сепаратора β .При расчете прочности этого узла выделены отдельные элементы I...9 .

3.2.I. Исходные данные

D – внутренний диаметр кожуха греющей камеры, мм ;

$S_1 \cdot S_4 \cdot S_5 \cdot S_6$ – толщины оболочек кожуха, верхней и нижней частей, опорного кольца и сепаратора в месте соединения с кожухом, мм ;

$l_3 \cdot l_4 \cdot l_5$ – высота опорного кольца, его верхней и нижней частей, мм ;

α – половина угла при вершине конической обечайки сепаратора, град ;

$P_м, P_т$ – давления в межтрубном и в трубном пространствах , МПа ;

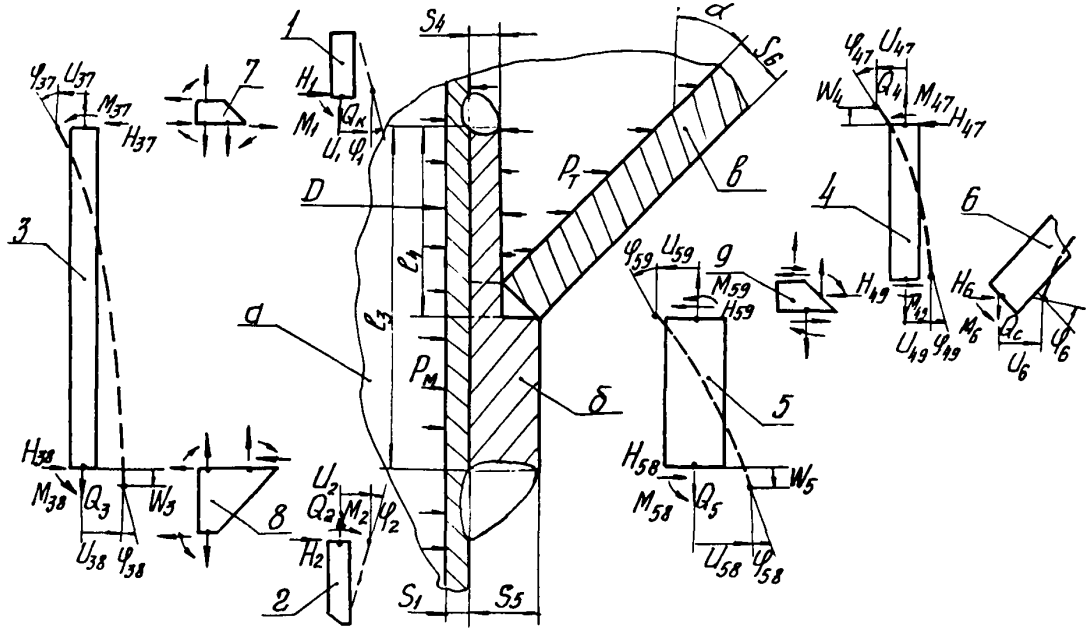
$t_к \cdot t_у \cdot t_с \cdot t_0$ – средние температуры стенок кожуха,опорного кольца и сепаратора и начальная температура,°С ,($t_0 \approx 20$ °С) ;

$\alpha_к \cdot \alpha_у \cdot \alpha_с$ – коэффициенты линейного расширения материалов кожуха, опорного кольца и сепаратора, I/°С ;

$E_к \cdot E_у \cdot E_с$ – модули продольной упругости материалов кожуха,опорного кольца и сепаратора, МПа ;

$Q_к \cdot Q_с$ – осевые нагрузки кожуха и сепаратора,распределенные по срединным окружностям, Н/мм ;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение,МПа.Принимается по ГОСТ I4249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей.



1
2
3
4
5
6
7
8
а
б
в
g
D
S_4
S_1
S_5
S_6
P_T
P_M
ℓ_3
ℓ_4
H_1
M_1
Q_K
U_1
φ_1
U_2
Q_2
M_2
φ_2
H_2
φ_{37}
U_{37}
M_{37}
H_{37}
H_{38}
M_{38}
Q_3
W_3
U_{38}
φ_{38}
φ_{47}
U_{47}
Q_4
M_{47}
H_{47}
W_4
H_{49}
M_{49}
U_{49}
φ_{49}
H_6
M_6
Q_c
U_6
φ_6
φ_{59}
U_{59}
M_{59}
H_{59}
H_{58}
M_{58}
Q_5
W_5
U_{58}
φ_{58}

Черт 19

3.2.2. Вспомогательные величины

3.2.2.1. Для цилиндрических оболочек ($i = 1,2$)

$$R_1 = R_2 = \frac{D+S_1}{2} \; ; \quad S_1 = S_2 \; ; \quad \omega_i = \sqrt[4]{\frac{2{,}73\,R_i^2}{S_i^2}} \; ;$$

$$B_{11}^{(i)} = \frac{4S_i}{R_i}\omega_i^3 \; ; \quad B_{12}^{(i)} = 2\omega_i^2 \; ; \quad B_{22}^{(i)} = \frac{2R_i}{S_i}\omega_i \; .$$

3.2.2.2. Для цилиндрических оболочек ($i = 3,4,5$)

$$R_3 = R_1 \; ; \quad S_3 = S_1 \; ;$$

$$R_4 = \frac{D+2S_1+S_4}{2} \; ; \quad R_5 = \frac{D+2S_1+S_5}{2} \; ;$$

$$B_{11}^{(i)} = \frac{4S_i\omega_i^3}{R_i}\varphi_{11}^{(i)} \; ; \quad B_{12}^{(i)} = 2\omega_i^2\varphi_{12}^{(i)} \; ;$$

$$B_{13} = \frac{4S_i\omega_i^3}{R_i}\varphi_{13}^{(i)} \qquad B_{14} = 4\omega_i^2\varphi_{14}^{(i)} \; ;$$

$$B_{22} = \frac{2R_i\omega_i}{S_i}\varphi_{22}^{(i)} \; ; \quad B_{24} = \frac{2R_i\omega_i}{S_i}\varphi_{24}^{(i)} \; ,$$

где $\omega_i = \sqrt[4]{\frac{2{,}73\,R_i^2}{S_i^2}}$; $\lambda_i = l_i\sqrt[4]{\frac{2{,}73}{R_i^2S_i^2}}$;

$$\varphi_{11}^{(i)} = \frac{sh\lambda_i ch\lambda_i + \sin\lambda_i\cos\lambda_i}{sh^2\lambda_i - \sin^2\lambda_i} \; ; \quad \varphi_{12}^{(i)} = \frac{sh^2\lambda_i + \sin^2\lambda_i}{sh^2\lambda_i - \sin^2\lambda_i}$$

$$\varphi_{13}^{(i)} = \frac{sh\lambda_i\cos\lambda_i + ch\lambda_i\sin\lambda_i}{sh^2\lambda_i - \sin^2\lambda_i} \; ; \quad \varphi_{14}^{(i)} = \frac{sh\lambda_i\sin\lambda_i}{sh^2\lambda_i - \sin^2\lambda_i} \; ;$$

$$\varphi_{22}^{(i)} = \frac{sh\lambda_i ch\lambda_i - \sin\lambda_i\cos\lambda_i}{sh^2\lambda_i - \sin^2\lambda_i}$$

$$\varphi_{24}^{(i)} = \frac{ch\lambda_i\sin\lambda_i - sh\lambda_i\cos\lambda_i}{sh^2\lambda_i - \sin^2\lambda_i} \; .$$

3.2.2.3. Для конической оболочки ($i = 6$)

$$R_6 = \frac{D}{2} + S_1 + S_5 \cdot \frac{S_6\cos\alpha}{2} \; ;$$

$$\omega_6 = \sqrt[4]{\frac{2{,}73 R_6^2}{S_6^2}}; \qquad B_{11} = 4\sqrt{\frac{2{,}73}{\cos\alpha}}; \qquad B_{12} = 2;$$

$$B_{22} = 2\sqrt{\frac{\cos\alpha}{2{,}73}}; \qquad C_{11}^{(6)} = B_{11}\omega_6; \qquad C_{12}^{(6)} = C_{21}^{(6)} = B_{12}\omega_6^2;$$

$$C_{15}^{(6)} = tg\alpha\left(\frac{1}{\cos\alpha} + C_{12}\right); \quad C_{16}^{(6)} = \frac{2R_6 tg\alpha}{S_6\cos\alpha}; \quad C_{22}^{(6)} = B_{22}\omega_6^3;$$

$$C_{25}^{(6)} = tg\alpha C_{22} - \frac{0{,}3R_6}{S_6\cos\alpha}; \qquad C_{26}^{(6)} = \frac{R_6^2}{S_6^2\cos\alpha}.$$

3.2.3. Нагрузки

Для определения нагрузок M_1, H_1, M_2, H_2, M_{37}, H_{37}, M_{38}, H_{38}, M_{47}, H_{47}, M_{49}, H_{49}, M_{59}, H_{59}, M_{58}, H_{58}, M_6, H_6, Q_3, Q_4, Q_5 необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений, состоящую из 21 уравнения:

$$M_1 + M_{37} - S_4 H_{37} + M_{47} - S_4 H_{47} + (R_4 - R_1)Q_4 = 0;$$

$$H_1 - H_{37} - H_{47} = S_4(P_{47} - P_1);$$

$$M_2 - M_{38} + S_5 H_{38} - M_{58} + S_5 H_{58} + (R_3 - R_2)Q_5 = 0;$$

$$H_2 + H_{38} + H_{58} = S_5 P_{47};$$

$$\frac{B_{11}^{(1)}}{S_1^2}M_1 + \frac{B_{12}^{(1)}}{S_1}H_1 - \frac{B_{11}^{(3)}}{S_3^2}M_{37} - \frac{B_{12}^{(3)}}{S_3}H_{37} - \frac{B_{13}^{(3)}}{S_3^2}M_{38} - \frac{B_{14}^{(3)}}{S_3}H_{38} = 0;$$

$$\left(\frac{B_{12}^{(1)}}{S_1} + \frac{B_{11}^{(1)}S_4}{S_1^2}\right)M_1 + \left(B_{22}^{(1)} + \frac{B_{12}^{(1)}S_4}{S_1}\right)H_1 + \frac{B_{12}^{(3)}}{S_3}M_{37} + B_{22}^{(3)}H_{37} + \frac{B_{14}^{(3)}}{S_3}M_{38} +$$

$$+ B_{24}^{(3)}H_{38} + \frac{0{,}3R_3}{S_3}Q_3 = \frac{0{,}3R_1}{S_1}Q_K + \frac{R_1^2}{S_1}P_T;$$

$$\frac{B_{11}^{(2)}}{S_2^2}M_2 + \frac{B_{12}^{(2)}}{S_2}H_2 + \frac{B_{13}^{(3)}}{S_3^2}M_{37} + \frac{B_{14}^{(3)}}{S_3}H_{37} + \frac{B_{11}^{(3)}}{S_3^2}M_{38} + \frac{B_{12}^{(3)}}{S_3}H_{38} = 0;$$

$$\left(\frac{B_{12}^{(2)}}{S_2} + \frac{B_{11}^{(2)}S_5}{S_2^2}\right)M_2 + \left(B_{22}^{(2)} + \frac{B_{12}^{(2)}S_5}{S_2}\right)H_2 - \frac{B_{14}^{(3)}}{S_3}M_{37} - B_{24}^{(3)}H_{37} - \frac{B_{12}^{(3)}}{S_3}M_{38} - B_{22}^{(3)}H_{38} +$$

$$+ \frac{0{,}3R_3}{S_3}Q_3 = \frac{0{,}3R_2}{S_2}\left(Q_K + \frac{R_6 Q_C}{R_2}\right);$$

9) $$\frac{E_y B_{11}^{(1)}}{E_K S_1^2} M_1 + \frac{E_y B_{12}^{(1)}}{E_K S_1} H_1 - \frac{B_{11}^{(4)}}{S_4^2} M_{47} - \frac{B_{12}^{(4)}}{S_4} H_{47} - \frac{B_{14}^{(4)}}{S_4} H_{49} - \frac{B_{13}^{(4)}}{S_4^2} M_{49} = 0;$$

10) $$\left(\frac{B_{12}^{(1)}}{S_1} + \frac{B_{11}^{(1)} S_4}{S_1^2}\right)\frac{E_y}{E_K} M_1 + \left(B_{22}^{(1)} + \frac{B_{12}^{(1)} S_4}{S_1}\right)\frac{E_y}{E_K} H_1 + \frac{B_{12}^{(4)}}{S_4} M_{47} + B_{22}^{(4)} H_{47} + \frac{B_{14}^{(4)}}{S_4} M_{49} + B_{24}^{(4)} H_{49} +$$
$$+ \frac{0{,}3 R_4}{S_4} Q_4 = \frac{0{,}3 R_1 E_y}{S_1 E_K} Q_K - \frac{R_1^2 E_y}{S_1 E_K}(P_M - P_T) + \left[\alpha_y (t_y - t_0) R_4 - \alpha_K (t_K - t_0) R_1\right] E_y - \frac{R_4^2}{S_4} P_T;$$

11) $$\frac{C_{11}^{(6)} E_y}{S_6^2 E_c} M_6 + \frac{C_{12}^{(6)} E_y}{S_6 E_c} H_6 - \frac{B_{13}^{(4)}}{S_4^2} M_{47} - \frac{B_{14}^{(4)}}{S_4} H_{47} - \frac{B_{11}^{(4)}}{S_4^2} M_{49} - \frac{B_{12}^{(4)}}{S_4} H_{49} = -\frac{C_{15}^{(6)} E_y}{S_6 E_c} Q_c - \frac{C_{16}^{(6)} E_y}{E_c} P_T;$$

12) $$\left(\frac{C_{21}^{(6)}}{S_6} - \frac{S_5 - S_4}{2 S_6^2} C_{11}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} M_6 + \left(C_{22}^{(6)} - \frac{S_5 - S_4}{2 S_6} C_{12}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} H_6 - \frac{B_{14}^{(4)}}{S_4} M_{47} - B_{24}^{(4)} H_{47} - \frac{B_{12}^{(4)}}{S_4} M_{49} - B_{22}^{(4)} H_{49} +$$
$$+ \frac{0{,}3 R_4}{S_4} Q_4 = \left(\frac{S_5 - S_4}{2 S_6} C_{15}^{(6)} - C_{25}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} Q_c - \left(C_{26}^{(6)} S_6 - \frac{S_5 - S_4}{2} C_{16}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} P_T - \frac{R_4^2}{S_4} P_T +$$
$$+ \left[\alpha_y (t_y - t_0) R_4 - \alpha_c (t_c - t_0) R_4\right] E_y;$$

13) $$\frac{C_{11}^{(6)} E_y}{S_6^2 E_c} M_6 + \frac{C_{12}^{(6)} E_y}{S_6 E_c} H_6 - \frac{B_{11}^{(5)}}{S_5^2} M_{59} - \frac{B_{12}^{(5)}}{S_5} H_{59} - \frac{B_{13}^{(5)}}{S_5^2} M_{58} - \frac{B_{14}^{(5)}}{S_5} H_{58} = -\frac{C_{15}^{(6)} E_y}{S_6 E_c} Q_c - \frac{C_{16}^{(6)} E_y}{E_c} P_T;$$

14) $$\left(\frac{C_{21}^{(6)}}{S_6} + \frac{S_5 - S_4}{2 S_6^2} C_{11}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} M_6 + \left(C_{22}^{(6)} + \frac{S_5 - S_4}{2 S_6} C_{12}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} H_6 + \frac{B_{12}^{(5)}}{S_5} M_{59} + B_{22}^{(5)} H_{59} +$$
$$+ \frac{B_{14}^{(5)}}{S_5} M_{58} + B_{24}^{(5)} H_{58} + \frac{0{,}3 R_5}{S_5} Q_5 = -\left(\frac{S_5 - S_4}{2 S_6} C_{15}^{(6)} + C_{25}^{(6)}\right)\frac{E_y}{E_c} Q_c -$$
$$- \left(\frac{S_5 - S_4}{2} C_{16}^{(6)} + C_{26}^{(6)} S_6\right)\frac{E_y}{E_c} P_T + \left[\alpha_y (t_y - t_0) R_5 - \alpha_c (t_c - t_0) R_5\right] E_y;$$

15) $$\frac{B_{11}^{(2)}E_y}{S_2^2E_к}M_2+\frac{B_{12}^{(2)}E_y}{S_2E_к}H_2+\frac{B_{13}^{(5)}}{S_5^2}M_{59}+\frac{B_{14}^{(5)}}{S_5}H_{59}+\frac{B_{11}^{(5)}}{S_5^2}M_{58}+\frac{B_{12}^{(5)}}{S_5}H_{58}=0;$$

16) $$\left(\frac{B_{12}^{(2)}}{S_2}+\frac{B_{11}^{(2)}S_5}{S_2^2}\right)\frac{E_y}{E_к}M_2+\left(B_{22}^{(2)}+\frac{B_{12}^{(2)}S_5}{S_2}\right)\frac{E_y}{E_к}H_2-\frac{B_{14}^{(5)}}{S_5}M_{59}-B_{24}^{(5)}H_{59}-\frac{B_{12}^{(5)}}{S_5}M_{58}-$$
$$-B_{22}^{(5)}H_{58}+\frac{0{,}3R_5}{S_5}Q_5=\frac{E_yR_2}{E_кS_2}\left[0{,}3\left(Q_к+\frac{R_6Q_c}{R_2}\right)R_2P_м\right]+\left[\alpha_y\left(t_y-t_o\right)R_2-\alpha_к\left(t_к-t_o\right)R_2\right]E_y;$$

17) $$M_{49}+M_{59}-\left(S_6-S_4\right)H_{59}+M_6+\frac{S_5-S_4}{2}H_6+\left(R_5-R_4\right)Q_5=\left(R_6-R_4\right)Q_c;$$

18) $$H_{49}-H_{59}+H_6=0;$$

19) $$\frac{l_3E_y}{S_3E_к}Q_3-\frac{l_4}{S_4}Q_4-\frac{l_5}{S_5}Q_5=0{,}3\left(\frac{l_3R_3E_y}{S_3E_к}P_м+\frac{l_4R_4}{S_4}P_т\right)+\left[\alpha_y\left(t_y-t_o\right)-\alpha_к\left(t_к-t_o\right)\right]l_3E_y;$$

20) $$R_3Q_3+R_4Q_4=R_1Q_к;$$

21) $$R_5Q_5-R_4Q_4=R_6Q_c.$$

$$Q_2=Q_к+\frac{Q_cR_6}{R_1}.$$

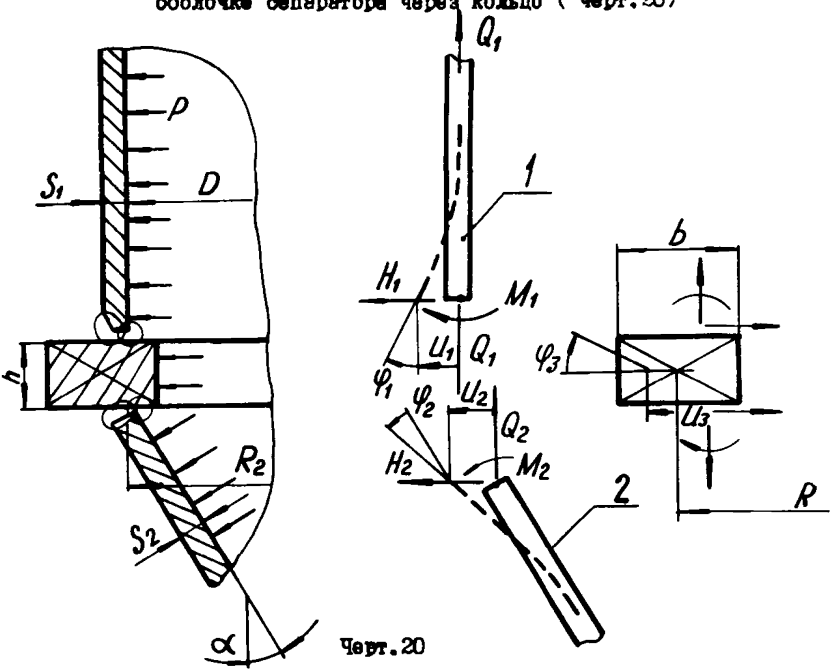
3.2.4. Расчет прочности

Расчет напряжений, возникающих в цилиндрических оболочках 1.2. 3.4.5 (черт.19), производится по формулам п.3.3. а в конической 6- по формулам п.4.3. приложения I с учетом фактического направления действия нагрузок и толщины $S=S_i-C$.

Оценка прочности обечаек производится по формуле п.1.7.

Значения коэффициента K_σ принимаются по черт.18 в зависимости от принятого конструктивного исполнения.

3.3. Место крепления конической оболочки к цилиндрической оболочке сепаратора через кольцо (черт.20)



Черт.20

3.3.1. Исходные данные

D, S_1 – внутренний диаметр и толщина цилиндрической оболочки кожуха греющей камеры, мм;

S_2 – толщина конической оболочки сепаратора, мм;

α – половина угла при вершине конической оболочки,

R_2 – радиус срединной поверхности в основании конической оболочки, мм;

Q_1 – осевая нагрузка цилиндрической оболочки, отнесенная к единице длины рассматриваемого сечения, н/мм;

h, b, R - высота, ширина и срединный радиус кольца, мм ;

t - расчетная температура, °С ;

t_0 - начальная температура, °С ($t_0 = 20$ °С);

$a_ц, a_c, a_к$ - коэффициенты линейного расширения материалов цилиндрической оболочки, конической оболочки, сепаратора и кольца, $1/°C$;

$E_ц, E_c, E_к$ - модули продольной упругости материалов цилиндрической оболочки, конической оболочки сепаратора и кольца, МПа;

Р - расчетное давление, МПа;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение, МПа. Принимается по ГОСТ 14249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей.

3.3.2. Вспомогательные величины

3.3.2.1. Для цилиндрической оболочки I :

$$R_I = \frac{D + S_1}{2} ; \qquad \omega_I = \sqrt[4]{\frac{2{,}73\, R_1^2}{S_1^2}} ;$$

$$B_{II} = \frac{4 S_1}{R_1} \omega_1^3 ; \quad B_{12} = 2\omega_1^2 ; \quad B_{21} = B_{12} ; \quad B_{22} = \frac{2 R_1}{S_1} \omega_1 .$$

3.3.2.2. Для конической оболочки 2 :

$$\omega_2 = \sqrt[4]{\frac{2{,}73 \cdot R_2^2}{S_2^2}} ; \quad C_{33} = 4\omega_2 \sqrt{\frac{2{,}73}{\cos\alpha}} ; \quad C_{34} = 2\omega_2^2 ;$$

$$\bar{C}_{35} = \left(C_{34} + \frac{1}{\cos\alpha}\right) tg\alpha ; \quad \bar{C}_{36} = \frac{2 R_2 tg\alpha}{S_2 \cos\alpha} ; \quad C_{44} = 2\omega_2^3 \sqrt{\frac{\cos\alpha}{2{,}73}} ;$$

$$\bar{C}_{45} = C_{44} tg\alpha + \frac{0{,}3 R_2}{S_2 \cos\alpha} ; \quad \bar{C}_{46} = \frac{R_2^2}{S_2^2 \cos\alpha} .$$

3.3.3. Нагрузки

3.3.3.1. Для определения M_1, M_2, H_1, H_2 необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений :

$$a_{11} M_1 + a_{12} M_2 + a_{13} H_1 S_1 + a_{14} H_2 S_2 = b_1 ,$$

$$a_{21} M_1 + a_{22} M_2 + a_{23} H_1 S_1 + a_{24} H_2 S_2 = b_2 ,$$

$$a_{31} M_1 + a_{33} H_1 S_1 + a_{34} H_2 S_2 = b_3 ,$$

$$a_{42} M_2 + a_{43} H_1 S_1 + a_{44} H_2 S_2 - b_4 ,$$

где

$$a_{11} = 1 + A_1 B_{11}; \qquad a_{12} = -\frac{R_2}{R_1}; \qquad a_{13} = A_1 B_{12} - \frac{h}{2S_1};$$

$$a_{14} = \frac{R_2 h}{2R_1 S_2}; \qquad b_1 = (R_1 - R_2)\left(Q_1 - \frac{R_1^2 - R_2^2}{4R_1} p\right);$$

$$a_{21} = A_2 B_{11}; \qquad a_{22} = C_{33}; \qquad a_{23} = A_2 B_{12};$$

$$a_{24} = C_{34}; \qquad b_2 = \frac{\bar{C}_{35} S_2}{R_2} Q_1 R_1 - \left(\bar{C}_{36} + \frac{R_1^2 - R_2^2}{2R_2 S_2} \bar{C}_{35}\right) p S_2^2;$$

$$a_{31} = B_{12} + \frac{h}{2S_1} B_{11}; \quad a_{33} = A_3 + B_{22} + \frac{h}{2S_1} B_{12}; \quad a_{34} = A_3 \frac{R_2 S_1}{R_1 S_2};$$

$$b_3 = E_4 R_1 S_1 (\alpha_k - \alpha_4)(t - t_0) + A_3 \frac{2R - b}{2R_1} h S_1 p - R_1^2 p + 0{,}3 Q_1 R_1;$$

$$a_{42} = C_{34} + \frac{h}{2S_2} C_{33}; \quad a_{43} = A_4 \frac{R_1 S_2}{R_2 S_1}; \quad a_{44} = A_4 + C_{44} + \frac{h}{2S_2} C_{34};$$

$$b_4 = E_c R_2 S_2 (\alpha_k - \alpha_c)(t - t_0) + \frac{R_1 S_2}{R_2}\left(\bar{C}_{45} + \frac{h}{2S_2} \bar{C}_{35}\right) Q_1 +$$

$$+ \left[A_4 \frac{2R - b}{2R_2} \frac{h}{S_2} - \bar{C}_{46} - \frac{h}{2S_2} \bar{C}_{36} - \frac{R_1^2 - R_2^2}{2R_2 S_2}\left(\bar{C}_{45} + \frac{h}{2S_2} \bar{C}_{35}\right)\right] p S_2^2;$$

$$A_1 = \frac{E_k b h^3}{12 E_4 R R_1 S_1^2}; \quad A_2 = \frac{E_c S_2^2}{E_4 S_1^2}; \quad A_3 = \frac{E_4 R R_1}{E_k b h}; \quad A_4 = \frac{E_c R R_2}{E_k b h}.$$

3.3.3.2. Остальные нагрузки

$$Q_2 = \frac{R_1}{R_2} Q_1 - \frac{R_1^2 - R_2^2}{2R_2} p .$$

3.3.4. Расчет прочности

Расчет напряжений, возникающих в цилиндрической оболочке I (черт.20), производится по формулам п.3.3, а в конической оболочке 2- по формулам п.4.3 приложения I с учетом фактического направления действия нагрузок и толщин $S = S_i - C$.

Оценка прочности обечаек производится по формулам п.1.7.

Значения коэффициента K_{σ} принимаются по черт. 18 в зависимости от принятого конструктивного исполнения.

4. РАСЧЕТ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

4.I. Фланцевое соединение сепаратора с кожухом греющей камеры (черт. 2I)

При расчете на прочность выделяются кольца прямоугольного поперечного сечения (I,2), цилиндрические оболочки (3,4) и коническая оболочка (5).

4.I.I. Исходные данные

$R_1, R_2, R_п, R_к, R_с, R_б$ – средние радиусы фланцевых колец, прокладки, кожуха греющей камеры, конической оболочки сепаратора в месте присоединения к фланцевому кольцу и радиус болтовой окружности, соответственно, мм;

b_1, b_2 – ширина фланцевых колец, мм ;

h_1, h_2 – высота фланцевых колец, мм ;

$S_к, S_с, S_в$ – толщина цилиндрической оболочки кожуха (3), конической оболочки сепаратора (5) и верхней части кожуха (4), разделяющей трубное и межтрубное пространства, мм ;

α – половина угла при вершине конической оболочки сепаратора, град ;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_б, \alpha_к, \alpha_с, \alpha_в$ – коэффициенты линейного расширения материалов фланцевых колец, болтов или шпилек, кожуха, сепаратора и верхней части кожуха, I/°C ;

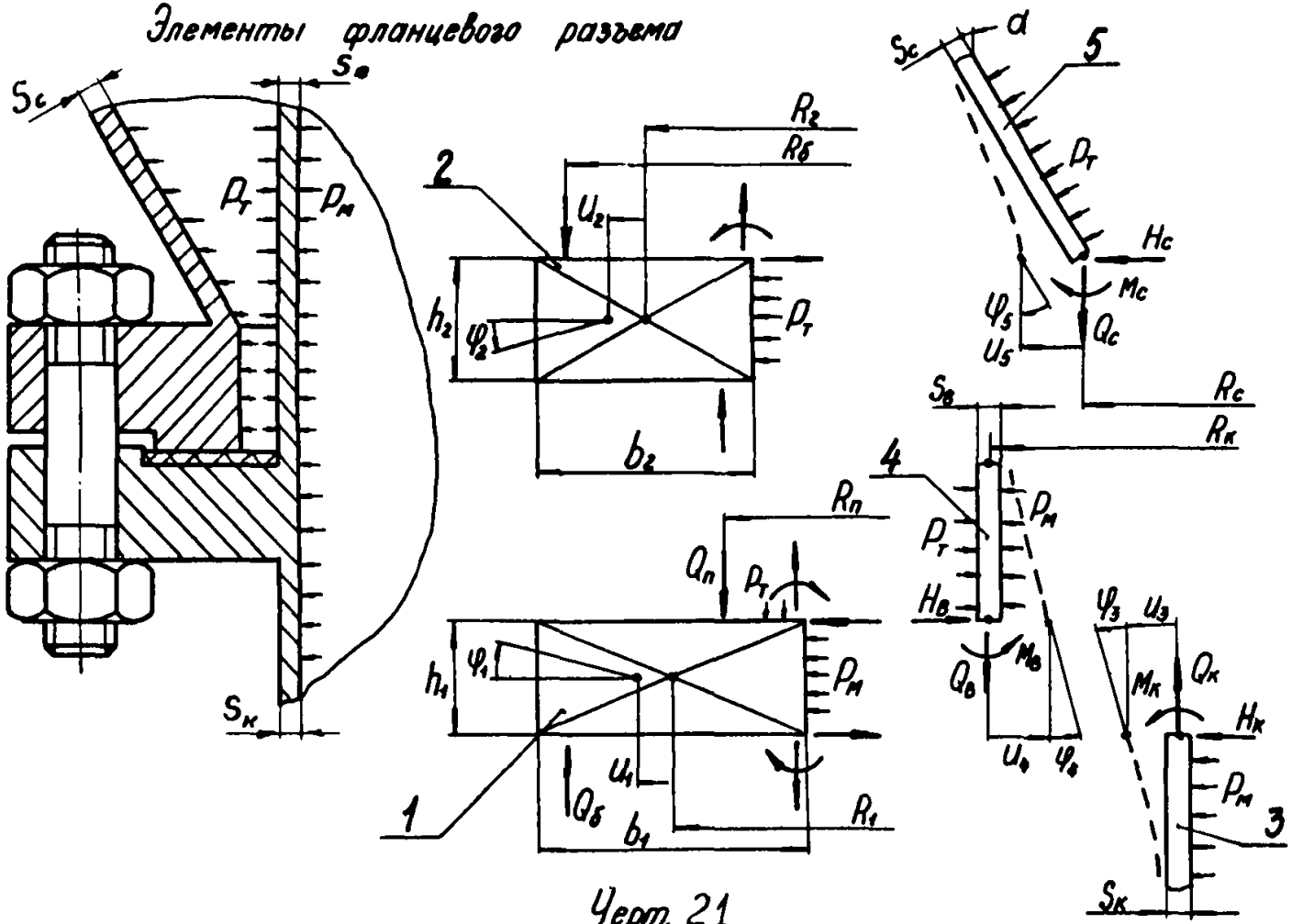
$t_ф, t_б, t_к, t_с, t_в$ – расчетная температура фланцевых колец, болтов или шпилек, кожуха , сепаратора и верхней части кожуха, °C;

t_0 – начальная температура, °C (t_0 = 20 °C) ;

$P_т, P_м$ – давление избыточное (наружное со знаком минус) в трубном и межтрубном пространствах, МПа ;

$E_1, E_2, E_к, E_с, E_в, E_б$ – модуль продольной упругости материалов фланцевых колец, кожуха, сепаратора, верхней части кожуха и болтов МПа. Принимается по ГОСТ I4249-80 или другой руководящей нормативной документации ;

Элементы фланцевого разъема



Черт. 21

$Q_в$ - осевая нагрузка верхней части кожуха, Н/мм. Определяется при расчете греющей камеры;

G_c - вес сепаратора, Н;

$S_п$ - толщина прокладки, мм;

$b_п$ - ширина прокладки в зоне сжатия, мм. Для резиновых прокладок принимается приведенная ширина по ОСТ 26-373-78;

$E_п$ - модуль упругости материала прокладки, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации;

$y_п$ - линейная податливость прокладки, мм/Н ($y_п = S_п / 2\pi R_п b_п E_п$);

$q, [q]$ - минимальное и допускаемое удельное давление на прокладку, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78;

m - прокладочный коэффициент. Принимается по ОСТ 26-373-78;

$n_б$ - количество болтов или шпилек;

$d_б$ - диаметр болта или шпильки, мм;

$l_б$ - расчетная длина болта ($l_б = h_1 + h_2 + S_п + 0{,}3 d_б$) или шпильки ($l_б = h_1 + h_2 + S_п + 0{,}6 d_б$), мм;

$f_б$ - площадь поперечного сечения болта или шпильки, мм^2, определяется по внутреннему диаметру резьбы;

$y_б$ - линейная податливость болтов или шпилек, мм/Н ($y_б = l_б / E_б f_б n_б$);

$[\sigma]_б^{20}, [\sigma]_б^t$ - допускаемое напряжение для материала болтов или шпилек при температуре 20° С и при расчетной температуре, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации;

$Q_б^o$ - усилие затяжки болтов, Н/мм ($Q_б \le n_б f_б [\sigma]_б^{20} / 2\pi R_б$);

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение, МПа. Принимается по ГОСТ 14249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей.

4.I.2. Помимо расчета коэффициентов $B^{к}_{II}, B^{к}_{I2}, B^{к}_{22}$ при $R = R_к$, $S = S_к$, коэффициентов $B^{в}_{II}, B^{в}_{I2}, B^{в}_{22}$ при $R = R_в$, $S = S_в$ по п.3 приложения I и коэффициентов $C_{II}, C_{I2}, C_{I5}, C_{I6}, C_{2I}, C_{22}, C_{25}, C_{26}$ по п.4 приложения I при $R = R_c$, $S = S_c$, производится вычисление вспомогательных величин :

$$J_1 = \frac{b_1 h_1^3}{12}; \qquad F_1 = b_1 h_1;$$

$$J_2 = \frac{b_2 h_2^3}{12}; \qquad F_2 = b_2 h_2;$$

$$A_1 = 1 + \frac{E_1 F_1}{E_к R_к R_1}\left[B^{к}_{22} - \frac{(B^{к}_{12})^2}{B^{к}_{II}}\right]; \qquad A_2 = 1 + \frac{E_1 F_1}{E_в R_к R_1}\left[B^{в}_{22} - \frac{(B^{в}_{12})^2}{B^{в}_{II}}\right];$$

$$A_3 = 1 + \frac{E_2 F_2}{E_c R_c R_2}\left(C_{22} - \frac{C_{12}^2}{C_{11}}\right); \qquad B_1 = 1 + \frac{2 B^{к}_{12} S_к}{B^{к}_{II} h_1};$$

$$B_3 = 1 + \frac{2 C_{21} S_c}{C_{11} h_2}; \quad B_2 = 1 + \frac{2 B^{в}_{12} S_в}{B^{в}_{II} h_1}; \quad C_1 = \frac{B_1 + A_1 B_2}{1 - A_1 A_2};$$

$$C_2 = \frac{B_2 + A_2 B_1}{1 - A_1 A_2}, \qquad R_3 = \frac{R_c + R_к}{2};$$

$$J_{1пр} = J_1\left[1 - \frac{F_1 h_1^2}{4 J_1}\left(B_1 C_2 + B_2 C_1\right) + \frac{R_1 R_к}{E_1 J_1}\left(\frac{E_к S_к^2}{B^{к}_{II}} + \frac{E_в S_в^2}{B^{в}_{II}}\right)\right];$$

$$J_{2пр} = J_2\left[1 + \frac{F_2 h_2^2 B_3}{4 J_2 A_3}\left(1 + \frac{2 C_{12} S_c}{C_{11} h_2}\right) + \frac{E_c R_c S_c^2 R_2}{E_2 J_2 C_{11}}\right];$$

$$\lambda_{б\,пр} = 2\pi y_б + (R_б - R_п)\left[\frac{R_1 (R_б - R_1)}{E_1 J_{1пр}} + \frac{R_2 (R_б - R_2)}{E_2 J_{2пр}}\right];$$

$$\lambda_{п\,пр} = 2\pi y_п + (R_б - R_п)\left[\frac{R_1 (R_1 - R_п)}{E_1 J_{1пр}} + \frac{R_2 (R_2 - R_п)}{E_2 J_{2пр}}\right].$$

4.I.3. Расчет нагрузок

4.I.3.I. При затяжке болтов фланцевого разъема

$$Q^{0}_{c} = -\frac{G_c}{2\pi R_c}, \qquad Q^{0}_{к} = -\frac{G_c}{2\pi R_к};$$

$$M_{1I} = -\frac{G_c (R_1 - R_к)}{2\pi R_1}; \qquad M_{2I} = -\frac{G_c (R_2 - R_c)}{2\pi R_2};$$

$$H_{11}=-\frac{0{,}3E_1F_1Q_K^0}{E_KS_KR_1};\qquad H_{21}=0,$$

$$H_{впр}=\frac{H_{11}-A_1H_{21}}{1-A_1A_2};\qquad H_{кпр}=\frac{A_2H_{11}-H_{21}}{1-A_1A_2},$$

$$M_{12}=M_{11}-\frac{R_Kh_1}{2R_1}(B_1H_{кпр}+B_2H_{впр});\quad H_{cпр}=-\frac{E_2F_2}{A_3E_CR_CR_2}\left(C_{25}-\frac{C_{21}C_{15}}{C_{11}}\right)Q_C^0;$$

$$M_{22}=M_{21}-\frac{R_CS_C}{R_2}\left[\frac{C_{15}}{C_{11}}Q_C^0+\left(\frac{C_{12}}{C_{11}}+\frac{h_2}{2S_C}\right)H_{cпр}\right];\quad Q_n^0=\frac{R_\delta}{R_n}Q_\delta^0;$$

$$M_{1пр}=\frac{R_\delta}{R_1}(R_\delta-R_1)Q_\delta^0+\frac{R_n}{R_1}(R_1-R_n)Q_n^0+M_{12};\quad \varphi_1^0=\frac{M_{1пр}R_1^2}{E_1J_{1пр}}$$

$$M_{2пр}=\frac{R_\delta}{R_2}(R_\delta-R_2)Q_\delta^0+\frac{R_n}{R_2}(R_2-R_n)Q_n^0+M_{22};\quad \varphi_2^0=\frac{M_{2пр}R_2^2}{E_2J_{2пр}},$$

$$H_K^0=-\frac{E_1F_1h_1}{2R_1R_K}C_2\varphi_1^0+H_{кпр};\qquad H_B^0=-\frac{E_1F_1h_1}{2R_1R_K}C_1\varphi_1^0+H_{впр};$$

$$H_C^0=\frac{E_2F_2h_2B_3}{2R_2R_CA_3}\varphi_2^0+H_{cпр};\qquad M_C^0=-\frac{1}{C_{11}}\left(E_CS_C^2\varphi_2^0+C_{12}H_C^0S_C+C_{15}Q_C^0S_C\right);$$

$$M_B^0=-\frac{1}{B_{11}^B}\left(E_BS_B^2\varphi_1^0+B_{12}^BH_B^0S_B\right);\quad M_K^0=-\frac{1}{B_{11}^K}\left(E_KS_K^2\varphi_1^0+B_{12}^KH_K^0S_K\right).$$

4.I.3.2. Приращения нагрузок в расчетном состоянии

$$Q_C'=\frac{R_CP_T}{2};\qquad Q_K'=Q_B+\frac{R_KP_T}{2},$$

$$M_{21}=\frac{R_C^2(R_2-R_C)P_T}{2R_2};\qquad M_{11}=\frac{R_K^2P_T}{2R_1}(R_1-R_K)+\frac{R_3P_T}{R_1}(R_C-R_K)(R_1-R_3);$$

$$H_{11}=\frac{E_1F_1}{R_1}(\alpha_K-\alpha_1)(t_K-t_0)-\frac{0{,}3E_1F_1Q_K'}{E_KS_KR_1}+\left(\frac{E_1F_1R_K}{E_KS_KR_1}-h_1\right)P_M;$$

$$H_{21}=\frac{E_1F_1}{R_1}(\alpha_B-\alpha_1)(t_B-t_0)-\frac{E_1F_1}{E_BS_BR_1}(0{,}3Q_B-R_KP_M+R_KP_T)-h_1P_M;$$

$$H_{впр}=\frac{H_{11}-A_1H_{21}}{1-A_1A_2};\qquad H_{кпр}=\frac{A_2H_{11}-H_{21}}{1-A_1A_2};$$

$$H_{стр}=\frac{1}{A_3}\left\{\frac{E_2F_2}{R_2}(\alpha_2-\alpha_c)(t_c-t_0)-\frac{E_2F_2}{E_cR_cR_2}\left(C_{25}-\frac{C_{24}C_{15}}{C_{11}}\right)Q_c'-\left[\frac{E_2F_2S_c}{E_cR_cR_2}\left(C_{26}-\frac{C_{12}C_{16}}{C_{11}}\right)-h_2\right]P_T\right\};$$

$$M_{12}=M_{11}-\frac{R_к h_1}{2R_1}(B_2H_{впр}+B_1H_{кпр});\quad \Delta_t=(\alpha_1h_1+\alpha_2h_2)(t_ф-t_0)-\alpha_б(h_1+h_2)(t_б-t_0);$$

$$M_{22}=M_{21}-\frac{R_cS_c}{R_2}\left[\frac{C_{15}}{C_{11}}Q_c'+\frac{C_{16}}{C_{11}}P_TS_c+\left(\frac{C_{12}}{C_{11}}+\frac{h_2}{2S_c}\right)H_{стр}\right];$$

$$Q_б'=\frac{\Delta_t+\lambda_{пр}\frac{R_c^2P_T}{2}-(R_б-R_п)\left(\frac{R_1^2M_{12}}{E_1J_{пр}}+\frac{R_2^2M_{12}}{E_2J_{2пр}}\right)}{R_б(\lambda_{бпр}+\lambda_{ппр})};\quad Q_п'=\frac{R_бQ_б'}{R_п}-\frac{R_c^2P_T}{2R_п};$$

$$M_{1пр}=\frac{R_бQ_б'}{R_1}(R_б-R_1)+\frac{R_пQ_п'}{R_1}(R_1-R_п)+M_{12};\quad \varphi_1'=\frac{M_{1пр}R_1^2}{E_1J_{1пр}};$$

$$M_{2пр}=\frac{R_бQ_б'}{R_2}(R_б-R_2)+\frac{R_пQ_п'}{R_2}(R_2-R_п)+M_{22};\quad \varphi_2'=\frac{M_{2пр}R_2^2}{E_2J_{2пр}};$$

$$H_к'=-\frac{E_1F_1h_1C_2}{2R_1R_к}\varphi_1'+H_{кпр};\qquad H_в'=-\frac{E_1F_1h_1C_1}{2R_1R_к}\varphi_1'+H_{впр};$$

$$H_c'=\frac{E_2F_2h_2B_3}{2R_2R_cA_3}\varphi_2'+H_{стр};\qquad M_в'=-\frac{1}{B_{11}^в}(E_вS_в^2\varphi_1'+B_{12}^вH_в'S_в);$$

$$M_c'=-\frac{1}{C_{11}}(E_cS_c^2\varphi_2'+C_{24}H_c'S_c+C_{15}Q_c'S_c+C_{16}P_TS_c^2);$$

$$M_к'=-\frac{1}{B_{11}^к}(E_кS_к^2\varphi_1'+B_{12}^кH_к'S_к).$$

4.1.3.3. Значения нагрузок в расчетном состоянии определяются по формулам:

$$Q_c=Q_c^0+Q_c';\qquad Q_к=Q_к^0+Q_к';$$

$$Q_б=Q_б^0+Q_б';\qquad Q_п=Q_п^0+Q_п';$$

$$H_c=H_c^0+H_c';\qquad H_к=H_к^0+H_к';$$

$$H_в=H_в^0+H_в';\qquad M_c=M_c^0+M_c';$$

$$M_к=M_к^0+M_к';\qquad M_в=M_в^0+M_в'.$$

4.I.3.4. Углы поворота фланцев в расчетном состоянии определяются по формулам:

$$\varphi_1 = \varphi_1^{\circ} + \varphi_1' \ , \qquad \varphi_2 = \varphi_2^{\circ} + \varphi_2' \ .$$

4.I.4. Расчет деталей фланцевого разъема производится по формулам п.I.8.

4.I.5. Расчет прочности цилиндрических обечаек

Расчет напряжений, возникающих в цилиндрической оболочке (3), производится по формулам п.3.3 приложения I при $S = S_K - C$;

$$Q = Q_K; \ M_1 = M_K; \ H_1 = H_K; \ P = P_M \ .$$

Расчет напряжений, возникающих в цилиндрической оболочке (I), производится по формулам п.3.3 приложения I при $S = S_B - C$

$$Q = Q_B; \ M_1 = -M_B; \ H_1 = -H_B; \ P = P_M - P_T \ .$$

Расчет напряжений, возникающих в конической оболочке (5), производится по формулам п.4.3 приложения I при $S = S_C - C$;

$$Q_1 = Q_C; \ M_1 = M_C; \ H_1 = H_C; \ P = P_T \ .$$

Оценка прочности обечаек производится по формулам п.I.7.

4.I.6. В случае приварки сепаратора к фланцу через цилиндрическую оболочку достаточно большой длины (3, черт.22) изменится ряд расчетных формул в приведенной выше методике.

Для цилиндрической оболочки 5 (черт.22) по формулам п.3 приложения I имеем:

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{2{,}73\,R_C^2}{S_Ц^2}} \ ; \qquad B_{11}^C = \frac{4 S_Ц}{R_C}\omega^3 \ ;$$

$$B_{12}^C = 2\omega^2 ; \qquad B_{22}^C = \frac{2R_C}{S_Ц}\omega \ ,$$

где $S_Ц$ - толщина цилиндрической оболочки 5.

Значения вспомогательных величин:

$$A_3 = 1 + \frac{E_2 F_2}{E_c R_c R_2}\left[B_{22}^c - \frac{(B_{12}^c)^2}{B_{11}^c}\right];$$

$$B_3 = 1 + \frac{2B_{12}^c S_ц}{B_{11}^c \cdot h_2};$$

$$J_{2пр} = J_2\left[1 + \frac{R_c \cdot R_2 \cdot E_c \cdot S_ц^2}{E_2 \cdot B_{11}^c \cdot J_2} + \frac{F_2 \cdot h_2^2 \cdot B_3^2}{4 \cdot A_3 \cdot J_2}\right].$$

Расчет нагрузок при затяжке болтов фланцевого соединения производится по формулам:

$$H_{с.пр.} = \frac{0{,}3 E_2 \cdot F_2}{A_3 E_c \cdot S_ц R_2} Q_c^o;$$

$$M_{22} = M_{21} - \frac{R_c \cdot h_2 \cdot B_3}{2R_2} H_{с.пр.};$$

$$M_c^o = -\frac{1}{B_{11}^c}\left(E_c \cdot S_ц^2 \cdot \varphi_2^\bullet + B_{12}^c \cdot H_c^\bullet \cdot S_ц\right).$$

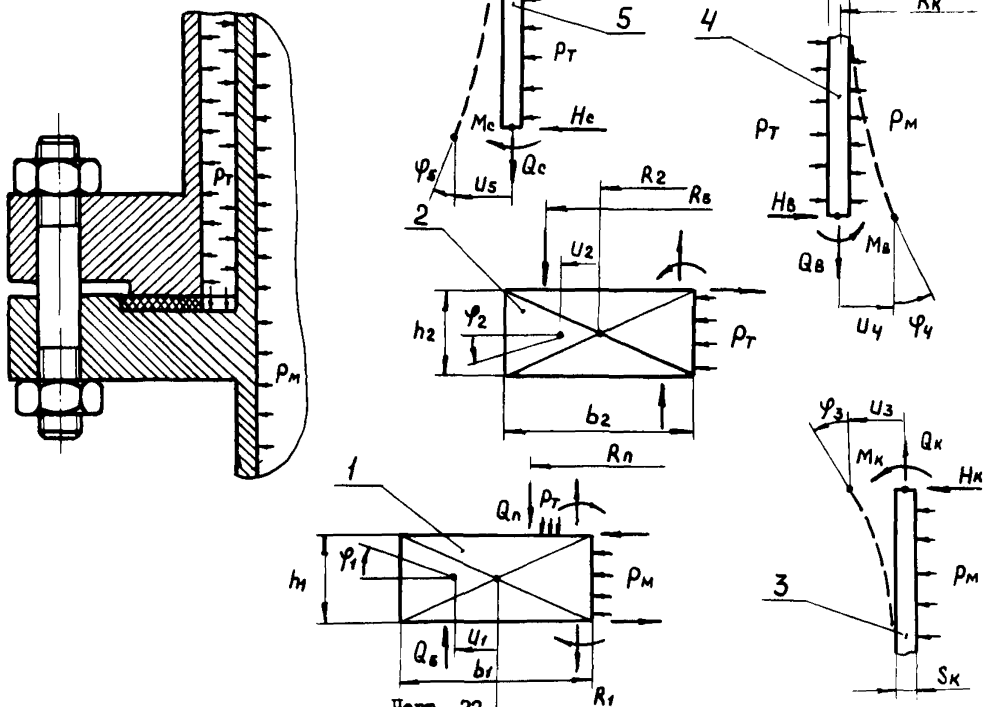
Приращения нагрузок в расчетном состоянии определяются по формулам

$$H_{спр} = \frac{1}{A_3}\left[\frac{E_2 F_2}{R_2}(\alpha_2 - \alpha_c)(t_c - t_o) + \frac{0{,}3 E_2 \cdot F_2}{E_c \cdot S_ц \cdot R_2} \cdot Q_c' + \right.$$

$$\left. + \left(h_2 - \frac{E_2 \cdot F_2 \cdot R_c}{R_2 \cdot E_c \cdot S_ц}\right) \cdot P_т\right];$$

$$M_{22} = M_{21} - \frac{R_c \cdot h_2 \cdot B_3}{2R_2} H_{спр};$$

Элементы фланцевого разъема Rc



Черт. 22

$$M_c' = -\frac{1}{B_{11}^c}\left(E_c S_ц^2 \varphi_2' + B_{12}^c H_c' S_ц\right)$$

Остальные расчетные формулы совпадают с ранее приведенными.

4.I.7. В случае приварки сепаратора к фланцу через короткую цилиндрическую оболочку (черт. 23), в приведенной методике изменяются отдельные расчетные формулы и вводится ряд дополнительных величин.

Для короткой цилиндрической оболочки 6:

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{2{,}73\,R_c^2}{S_ц^2}}\,, \qquad \lambda = L\sqrt[4]{\frac{2{,}73}{R_c^2 S_ц^2}}\,,$$

где $S_ц$, L – толщина стенки и высота рассматриваемой цилиндрической оболочки.

При $0{,}3 \leqslant \lambda \leqslant 3$:

$$B_{11}^ц = \frac{4 S_ц \omega^3}{R_c}\Phi_{11}\,; \qquad B_{12}^ц = 2\omega^2 \Phi_{12}\,;$$

$$B_{13}^ц = \frac{4 S_ц \omega^3}{R_c}\Phi_{13}\,; \qquad B_{14}^ц = 4\omega^2 \Phi_{14}\,;$$

$$B_{22}^ц = \frac{2 R_c \omega}{S_ц}\Phi_{22}\,; \qquad B_{24}^ц = \frac{2 R_c \omega}{S_ц}\Phi_{24}\,.$$

Значения коэффициентов $\Phi_{I1}, \Phi_{I2}, \Phi_{I3}, \Phi_{I4}, \Phi_{22}, \Phi_{24}$ приведены в табл. 6 приложения I .

Значения вспомогательных величин :

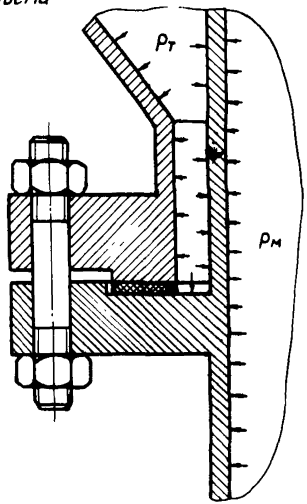
$$\bar{B}_{11}^ц = -B_{11}^ц - C_{11}\frac{S_ц^2}{S_c^2}\,; \qquad \bar{B}_{12}^ц = B_{12}^ц - C_{12}\frac{S_ц}{S_c}\,;$$

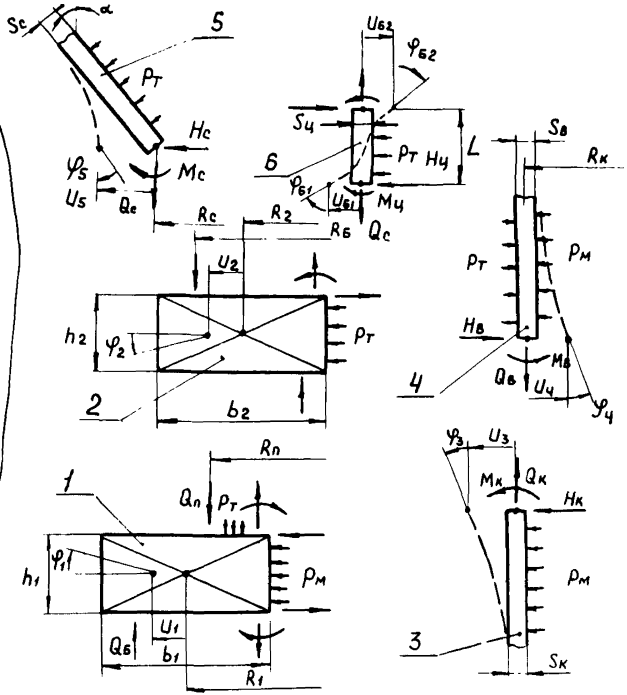
$$\bar{B}_{21}^ц = -B_{12}^ц + C_{21}\frac{S_ц}{S_c}\,; \qquad \bar{B}_{22}^ц = B_{22}^ц + C_{22}\,;$$

$$B_{15}^ц = C_{15}\frac{S_ц^3}{S_c^2 R_c}\,; \qquad B_{16}^ц = C_{16}\frac{S_ц^2}{R_c^2}\,;$$

$$B_{25}^ц = 0{,}3 + C_{25}\frac{S_ц}{R_c}\,, \qquad B_{26}^ц = 1 - C_{26}\frac{S_ц S_c}{R_c^2}\,;$$

Элементы фланцевого разъема





Черт. 23

$$\bar{B}^{u}_{13} = \frac{-B^{u}_{13}\bar{B}^{u}_{22} + B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{12}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}}; \quad \bar{B}^{u}_{23} = \frac{-B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{11} + B^{u}_{13}\bar{B}^{u}_{21}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}};$$

$$\bar{B}^{u}_{14} = \frac{-B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{22} + B^{u}_{24}\bar{B}^{u}_{12}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}}; \quad \bar{B}^{u}_{24} = \frac{-B^{u}_{24}\bar{B}^{u}_{11} + B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{21}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}};$$

$$\bar{B}^{u}_{15} = \frac{B^{u}_{15}\bar{B}^{u}_{22} + B^{u}_{25}\bar{B}^{u}_{12}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}}; \quad \bar{B}^{u}_{25} = \frac{-B^{u}_{25}\bar{B}^{u}_{11} - B^{u}_{15}\bar{B}^{u}_{21}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}};$$

$$\bar{B}^{u}_{16} = \frac{B^{u}_{16}\bar{B}^{u}_{22} - B^{u}_{26}\bar{B}^{u}_{12}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}}; \quad \bar{B}^{u}_{26} = \frac{B^{u}_{26}\bar{B}^{u}_{11} - B^{u}_{16}\bar{B}^{u}_{21}}{\bar{B}^{u}_{11}\bar{B}^{u}_{22} - \bar{B}^{u}_{12}\bar{B}^{u}_{21}}$$

$$\bar{A}_1 = B^{u}_{12} - B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{13} + B^{u}_{24}\bar{B}^{u}_{23};$$

$$\bar{A}_2 = B^{u}_{22} - B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{14} + B^{u}_{24}\bar{B}^{u}_{24};$$

$$\bar{A}_3 = -B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{15} + B^{u}_{24}\bar{B}^{u}_{25} - 0{,}3;$$

$$\bar{A}_4 = -B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{16} + B^{u}_{24}\bar{B}^{u}_{26} + 1;$$

$$A^{*}_{1} = B^{u}_{11} - B^{u}_{13}\bar{B}^{u}_{13} + B^{u}_{14}\bar{B}^{u}_{23};$$

$$A_2^* = B_{12}^u - B_{13}^u \bar{B}_{14}^u + B_{14}^u \bar{B}_{24}^u ,$$

$$A_3^* = -B_{13}^u \bar{B}_{15}^u + B_{14}^u \bar{B}_{25}^u ;$$

$$A_4^* = -B_{13}^u \bar{B}_{16}^u + B_{14}^u \bar{B}_{26}^u ;$$

$$A_3 = 1 + \frac{E_2 F_2}{E_c R_c R_2} \left(\bar{A}_2 - \frac{\bar{A}_1 A_2^*}{A_1^*} \right) ;$$

$$B_3 = 1 + \frac{2 \bar{A}_1 S_u}{A_1^* h_2} ;$$

$$J_{2пр} = J_2 \left[1 + \frac{E_c S_u^2 R_c R_2}{E_2 J_2 A_1^*} + \frac{F_2 h_2^2 B_3}{4 A_3 J_2} \left(\frac{2 A_2^* S_u}{A_1^* h_2} + 1 \right) \right] .$$

Расчет нагрузок при затяжке болтов фланцевого соединения производится по формулам:

$$H_{ц\,пр} = \frac{E_2 F_2}{A_3 E_c S_u R_2} \left(\frac{\bar{A}_1 A_3^*}{A_1^*} - \bar{A}_3 \right) Q_c^\circ ;$$

$$M_{22} = M_{21} - \frac{R_c}{R_2} \left[\frac{A_3^* R_c}{A_1^*} Q_c^\circ + \left(\frac{A_2^* S_u}{A_1^*} + \frac{h_2}{2} \right) H_{ц\,пр} \right] ;$$

$$H_ц^\circ = \frac{E_2 F_2 h_2 B_3}{2 R_2 R_c A_3} \varphi_2^\circ + H_{ц\,пр} ;$$

$$M_ц^\circ = - \frac{1}{A_1^*} \left(E_c S_u^2 \varphi_2^\circ + A_2^* H_ц^\circ S_u + A_3^* Q_c^\circ R_c \right) ;$$

$$H_c^\circ = \frac{1}{S_u} \left(\bar{B}_{23}^u M_ц^\circ + \bar{B}_{24}^u H_ц^\circ S_u + \bar{B}_{25}^u Q_c^\circ R_c \right) ;$$

$$M_c^\circ = \bar{B}_{13}^u M_ц^\circ + \bar{B}_{14}^u H_ц^\circ S_u + \bar{B}_{15}^u Q_c^\circ R_c .$$

Приращения нагрузок в расчетном состоянии определяются по формулам:

$$H_{ц\,пр} = \frac{1}{A_3} \left\{ \frac{E_2 F_2}{R_2} (\alpha_2 - \alpha_c)(t_c - t_o) + \frac{E_2 F_2}{E_c R_2 S_u} \left(\frac{\bar{A}_1 A_3^*}{A_1^*} - \right. \right.$$

$$-\bar{A}_3\Big)Q_c' + \Big[\frac{E_2F_2R_c}{E_cS_uR_2}\Big(\frac{\bar{A}_1A_4^*}{A_1^*}-\bar{A}_4\Big)+h_2\Big]P_T\Big\};$$

$$M_{22}=M_{21}-\frac{R_c}{R_2}\Big[\frac{A_3^*R_c}{A_1^*}Q_c' + \frac{A_4^*R_c^2}{A_1^*}P_T+\Big(\frac{A_2^*S_u}{A_1^*}+\frac{h_2}{2}\Big)H_{u\,пр}\Big];$$

$$H_u' = \frac{E_2F_2h_2B_3}{2R_2R_cA_3}\varphi_2' + H_{u\,пр};$$

$$M_u' = -\frac{1}{A_1^*}\Big(E_cS_u^2\varphi_2' + A_2^*H_u'S_u + A_3^*Q_c'R_c + A_4^*P_TR_c^2\Big);$$

$$H_c' = \frac{1}{S_u}\Big(\bar{B}_{23}^u M_u' + \bar{B}_{24}^u H_u'S_u + \bar{B}_{25}^u Q_c'R_c + \bar{B}_{26}^u P_TR_c^2\Big),$$

$$M_c' = \bar{B}_{13}^u M_u' + \bar{B}_{14}^u H_u'S_u + \bar{B}_{15}^u Q_c'R_c + \bar{B}_{16}^u P_TR_c^2.$$

Остальные расчетные формулы совпадают с ранее приведенными.

4.2. Двухопорное фланцевое соединение на шпильках (черт.24)

Рассматриваемая конструкция фланцевого соединения состоит из фланцевых колец (I.2) с примыкающими к ним цилиндрическими оболочками и прокладки (3), зажатой между ними с помощью шпилек (4).

4.2.I. Исходные данные

$R_1, R_2, R_{K1}, R_{K2}, R_{m1}, R_{m2}, R_\delta$ – средние радиусы цилиндрических оболочек, фланцевых колец, прокладок в местах их смятия и радиус болтовой окружности, соответственно, мм ;

S_1, S_2, S_n – толщины цилиндрических оболочек, присоединенных к фланцевым кольцам и прокладки, мм;

b_1, b_2, b_{m1}, b_{m2} – ширина первого и второго фланцевых колец и прокладок в местах их смятия, мм ;

h_1, h_2, h_K – высота колец и канавки на кольце для формирования плоскостей обжатия прокладок, мм ;

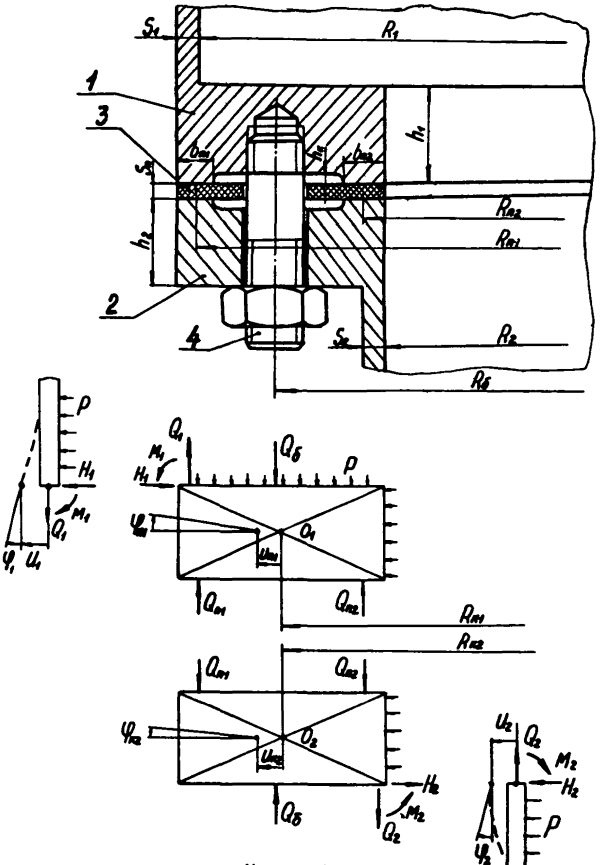
d_δ – диаметр шпильки, мм

n_δ – количество шпилек;

f_δ – площадь поперечного сечения шпильки, мм^2. Определяется по внутреннему диаметру резьбы ;

$t_1, t_2, t_{K1}, t_{K2}, t_\delta, t_0$ – расчетные температуры цилиндрических оболочек, фланцевых колец, шпилек и начальная температура (t_0 = 20 °С) , соответственно, °С ;

Двухопорное фланцевое соединение на шпильках



Черт. 24

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_{к1}, \alpha_{к2}, \alpha_б$ – коэффициенты линейного расширения материалов цилиндрических оболочек, фланцевых колец и шпилек, 1/°С ;

$E_1, E_2, E_{к1}, E_{к2}, E_б$ – модули продольной упругости материалов цилиндрических оболочек, фланцевых колец и шпилек, МПа ;

$E_п$ – модуль упругости материала прокладки, МПа ;

P – расчетное давление, МПа ;

$[\sigma]_б^{20}, [\sigma]_б^t$ допускаемое напряжение для материала шпилек при температуре 20 °С и при расчетной температуре, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации ;

$[q]$ – допускаемое удельное давление на прокладку, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 ;

q – минимальное удельное давление, необходимое для обжатия прокладки, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 ;

m – прокладочный коэффициент. Принимается по ОСТ 26-373-78;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение, МПа. Принимается по ГОСТ 14249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей.

4.2.2. Вычисление вспомогательных величин

Для цилиндрической оболочки, примыкающей к фланцу 1,

$$\omega_1 = \sqrt[4]{\frac{2{,}73R_1^2}{S_1^2}} ; \qquad B'_{II} = \frac{4S_1\omega_1^3}{R_1} ;$$

$$B'_{12} = 2\omega_1^2 ; \qquad B'_{22} = \frac{2R_1\omega_1}{S_1} .$$

Для цилиндрической оболочки, примыкающей к фланцу 2,

$$\omega_2 = \sqrt[4]{\frac{2,73R_2^2}{S_2^2}}; \qquad B_{II}^2 = \frac{4S_2\omega_2^3}{R_2};$$

$$B_{I2}^2 = 2\omega_2^2; \qquad B_{22}^2 = \frac{2R_2\omega_2}{S_2}.$$

Для колец I, 3 и 2

$$l_1 = \frac{b_1 h_1}{12}; \qquad F_1 = b_1 h_1;$$

$$l_2 = \frac{b_2 h_2^3}{12}; \qquad F_2 = b_2 h_2.$$

Для шпилек

$$l_б = h_2 + S_п + h_к + 0,6d_б; \qquad y_б = \frac{l_б}{E_б f_б n_б}$$

Для прокладок

$$y_{п1} = \frac{S_п}{2\pi R_{п1} b_{п1} E_п}; \qquad y_{п2} = \frac{S_п}{2\pi R_{п2} b_{п2} E_п}.$$

4.2.3. Расчет нагрузок

4.2.3.1. При затяжке шпилек

$$N_з \le n_б f_б [\sigma]_б^{20}; \qquad Q_{б0} = \frac{N_з}{2\pi R_б};$$

$$Q_{п10} = \frac{N_з(R_б - R_{п2})}{2\pi R_{п1}(R_{п1} - R_{п2})}; \qquad Q_{п20} = \frac{N_з(R_{п1} - R_б)}{2\pi R_{п2}(R_{п1} - R_{п2})}.$$

4.2.3.2. Расчет нагрузок, возникающих в расчетном состоянии, производится по формулам:

$$Q_1 = \frac{R_1 P}{2}; \qquad Q_2 = \frac{R_2 P}{2};$$

$$Q_{п1} = Q_{п10} + Q_{п11}; \qquad Q_{п2} = Q_{п20} + Q_{п21};$$

$$Q_б = Q_{б0} + Q_{б1}.$$

Значения приращений нагрузок $Q_{б1}, Q_{п1}, Q_{п21}, M_I, H_I, M_2, H_2$, возникающих при переходе фланцевого разъема из состояния затяжки в расчетное состояние, определяются при решении следующей системы линейных алгебраических уравнений:

1) $$Q_{б1}R_б - Q_{п1}R_{п1} - Q_{п21}R_{п2} = \frac{PR_2^2}{2},$$

2) $$(A_2 + A_3)y_б Q_{б1} R_б + A_2 y_{п1} Q_{п11} R_{п1} + A_3 y_{п2} Q_{п21} R_{п2} = -\frac{A_2 + A_3}{2\sqrt{1}}\Delta t;$$

3) $$-A_3 \gamma_б Q_{б1} R_б - A_3 \gamma_{п2} Q_{п2н} R_{п2} + B'_{11} M_1 + B'_{12} H_1 S_1 - A_1 B_{11}^2 M_2 + A_1 B_{12}^2 H_2 S_2 = A_3 \Delta_t / 2\pi ;$$

4) $$\frac{R_б - R_{к1}}{R_1} Q_{б1} R_б - \frac{R_{п1} - R_{к1}}{R_1} Q_{п1н} R_{п1} + \frac{R_{к1} - R_{п2}}{R_1} Q_{п2н} R_{п2} + (1 + A_4 B'_{11}) M_1 +$$
$$+ (A_4 B'_{12} - A_8) H_1 S_1 = \frac{R_1 - R_{к1}}{2} P R_1 ,$$

5) $$(B'_{12} + A_6 B'_{11}) M_1 + \left(B'_{22} + A_6 B'_{12} + \frac{A_5 R_1}{S_1}\right) H_1 S_1 = E_1 R_1 S_1 (\alpha_{к1} - \alpha_1)(t_1 - t_0) +$$
$$+ \left[A_5 \frac{(2R_{к1} - b_1) h_1}{2R_1^2} - 0{,}85\right] P R_1^2 ,$$

6) $$\frac{R_{к2} - R_б}{R_2} Q_{б1} R_б + \frac{R_{п1} - R_{к2}}{R_2} Q_{п1н} R_{п1} - \frac{R_{к2} - R_{п2}}{R_2} Q_{п2н} R_{п2} + \left(1 + A_6 B_{11}^2\right) M_2 +$$
$$+ (A_9 - A_6 B_{12}^2) H_2 S_2 = \frac{R_{к2} - R_2}{2} P R_2 ,$$

7) $$\left(B_{12}^2 + A_9 B_{11}^2\right) M_2 - \left(B_{22}^2 + A_9 B_{12}^2 + \frac{A_7 R_2}{S_2}\right) H_2 S_2 =$$
$$= E_2 R_2 S_2 (\alpha_2 - \alpha_{к2})(t_2 - t_0) + \left[0{,}85 - A_7 \frac{(2R_{к2} - b_2) h_2}{2R_2^2}\right] P R_2^2 ,$$

где $$\Delta_t = [\alpha_б (t_б - t_0) - \alpha_{к2} (t_{к2} - t_0)] h_2 ; \qquad A_1 = \frac{E_1 S_1^2}{E_2 S_2^2} ;$$

$$A_2 = \frac{E_1 S_1^2}{R_{п1} - R_б} 2\pi ; \qquad A_3 = \frac{E_1 S_1^2}{R_б - R_{п2}} 2\pi ;$$

$$A_4 = \frac{E_{к1} I_1}{E_1 R_1 S_1^3 R_{к1}} ; \qquad A_5 = \frac{E_1 S_1 R_{к1}}{E_{к1} F_1} ;$$

$$A_6 = \frac{E_{к2} I_2}{E_2 R_2 S_2^3 R_{к2}} ; \qquad A_7 = \frac{E_2 S_2 R_{к2}}{E_{к2} F_2} ;$$

$$A_8 = \frac{h_1}{2S_1} ; \qquad A_9 = \frac{h_2}{2S_2} .$$

4.2.4. Расчет прочности цилиндрических оболочек производится по формулам п. I.7. Расчет деталей фланцевого соединения-по формулам п. I.8 при $P_т = P$.

4.3. Двухопорное фланцевое соединение на болтах(черт.25)

Рассматриваемая конструкция фланцевого соединения состоит из фланцевых колец (I) с присоединенными к ним цилиндрическими оболочками (2) и прокладки (3), зажатой между кольцами с помощью болтов (4).

4.3.I. Исходные данные

$D, D_н, D_{1н}, D_{2н}, D_{1в}, D_{2в}, D_б$ - внутренний диаметр цилиндрической оболочки, наружный диаметр фланцевого кольца, наружный и внутренний диаметры наружной опорной части прокладки, наружный и внутренний диаметры внутренней опорной части прокладки и диаметр болтовой окружности, соответственно, мм ;

$S, S_п$ - толщина цилиндрической оболочки и прокладки, мм ;

$h_ф, h_к$ - высота фланца и канавки в нем, мм ;

$d_б$ - диаметр болта, мм ;

$n_б$ - количество болтов ;

$t, t_ф, t_б, t_o$ - расчетная температура цилиндрической оболочки, фланца, болтов и начальная температура, °С (t_o = 20 °С) ;

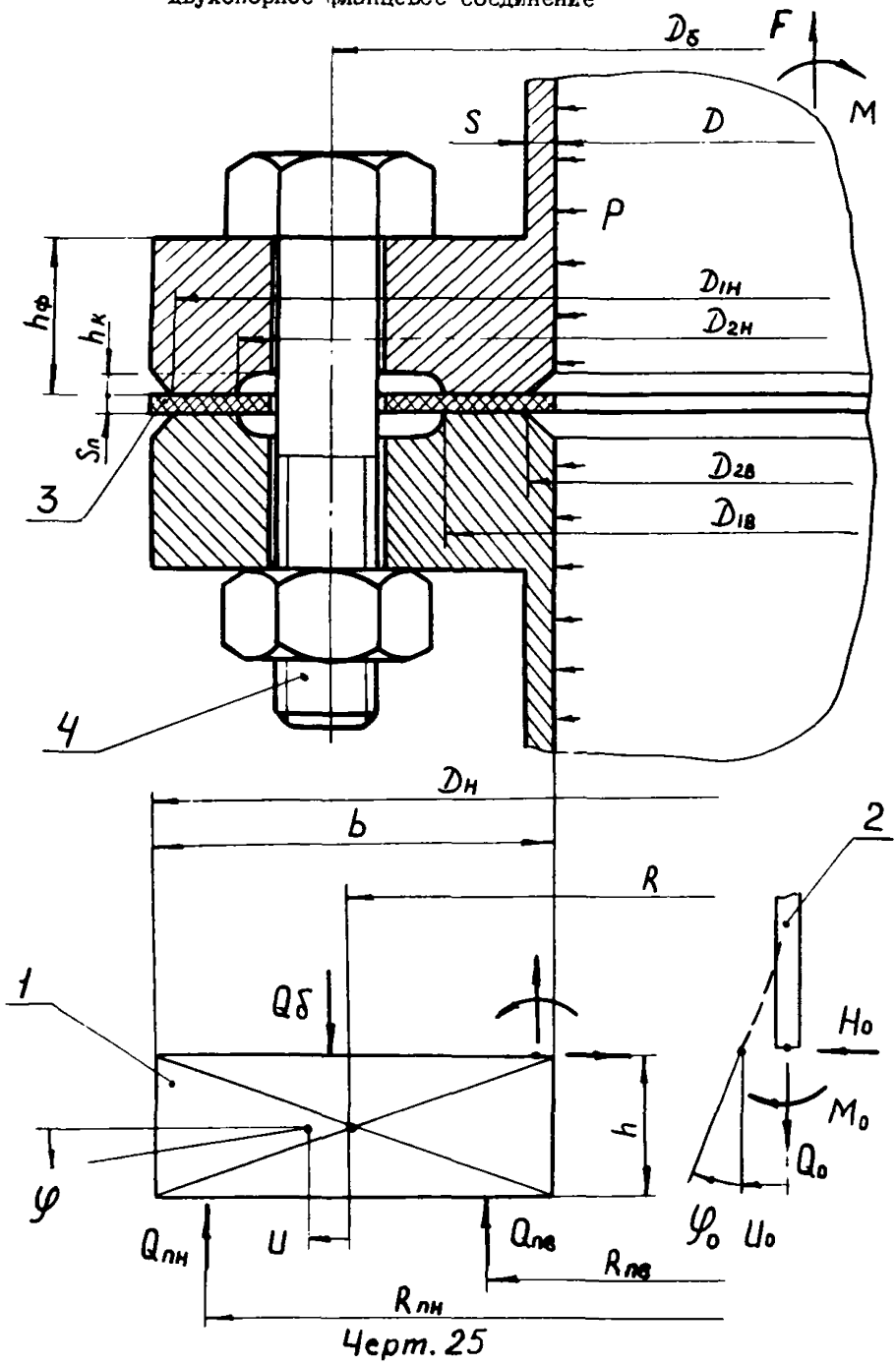
$\alpha, \alpha_ф, \alpha_б$ - коэффициенты линейного расширения материалов цилиндрической оболочки, фланца и болтов, I/°С ;

$E, E_ф, E_б, E_п$ - модули продольной упругости материалов цилиндрической оболочки, фланца, болтов и прокладки, МПа . Принимаются по ГОСТ I4249-80, ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации ;

$[\sigma]_б^{20}, [\sigma]_б^t$ - допускаемое напряжение для материала болтов при температуре 20 °С и при расчетной температуре, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 или другой руководящей нормативной документации;

$[\sigma]$ - допускаемое напряжение, МПа. Принимается по ГОСТ I4249-80 или другой руководящей нормативной документации для каждой из рассчитываемых деталей :

Двухопорное фланцевое соединение



Черт. 25

$q, [q]$ - минимальное и допускаемое удельное давление на прокладку, МПа. Принимается по ОСТ 26-373-78 ;

m - прокладочный коэффициент. Принимается по ОСТ 26-373-78;

p - расчетное давление, МПа ;

F - внешняя нагрузка, растягивающая фланцевое соединение (сжимающая со знаком минус), Н ;

M - внешний изгибающий момент, действующий на фланцевое соединение, Н·мм.

4.3.2. Рекомендации по конструированию

При выборе наружного диаметра и толщины фланцевых колец необходимо удовлетворить следующие условия:

$$\frac{D_н}{D} \leqslant 2 , \qquad \frac{h}{b} \geqslant 0{,}25 ,$$

где $$h = h_ф - h_к , \qquad b = \frac{D_н - D}{2} .$$

При выборе болтов и площади прокладки, находящейся в зоне сжатия, необходимо удовлетворить следующие условия:

$$\frac{Q_б^{\circ} R_б}{R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн}} \geqslant q , \qquad \frac{Q_б^{\circ} R_б}{R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн}} \leqslant [q] ,$$

где $$Q_б^{\circ} \leqslant \frac{n_б f_б [\sigma]_б^{20}}{2\pi R_б} ; \qquad f_б = \frac{\pi d_б^2}{4} ; \qquad R_б = \frac{D_б}{2} ;$$

$$R_{пв} = \frac{D_{1в} + D_{2в}}{4} ; \qquad b_{пв} = \frac{D_{1в} - D_{2в}}{2} ;$$

$$R_{пн} = \frac{D_{1н} + D_{2н}}{4} ; \qquad b_{пн} = \frac{D_{1н} - D_{2н}}{2} .$$

4.3.3. Расчет нагрузок

4.3.3.1. При затяжке болтов нагрузки составных деталей фланцевого соединения определяются по формулам:

$$Q_0^{\circ} = 0 , \qquad H_0^{\circ} = p_3 E S \varphi^{\circ} , \qquad M_0^{\circ} = -p_4 E S R_0 \varphi^{\circ} ,$$

$$Q^{\circ}_{пв} = \frac{b_{пв}}{R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн}} \left[Q^{\circ}_{б} R_{б} - \frac{2E_{п}(R_{пн} - R_{пв}) R_{пн} b_{пн}}{S_{п}} \varphi^{\circ} \right],$$

$$Q^{\circ}_{пн} = \frac{b_{пн}}{R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн}} \left[Q^{\circ}_{б} R_{б} + \frac{2E_{п}(R_{пн} - R_{пв}) R_{пв} b_{пв}}{S_{п}} \varphi^{\circ} \right],$$

где $R = \frac{D + D_{н}}{4}$; $R_{0} = \frac{D + S}{2}$; $\omega = \sqrt[4]{\frac{2{,}73 R_{0}^{2}}{S^{2}}}$;

$\rho_{1} = \frac{h\omega}{R_{0}}$; $\rho_{2} = \frac{ERS}{E_{ф} R_{0} b}$; $\rho_{3} = \frac{\rho_{1}(1 + \rho_{1})}{2\omega^{2}(\rho_{1} + \rho_{2})}$;

$\rho_{4} = \frac{\rho_{1}(2 + \rho_{1}) + \rho_{2}}{4\omega^{3}(\rho_{1} + \rho_{2})}$; $A_{0} = \frac{3\rho_{2}}{\rho_{1}^{3}} \frac{2\rho_{1} + 2\rho_{1}^{2} + \rho_{1}^{3} + \rho_{2}}{\rho_{1} + \rho_{2}}$;

$A_{п} = \frac{24E_{п}R(R_{пн} - R_{пв})^{2} R_{пв} b_{пв} R_{пн} b_{пн}}{E_{ф} b h^{3} S_{п}(R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн})}$; $e_{б} = R_{б} - \frac{R_{пв}^{2} b_{пв} + R_{пн}^{2} b_{пн}}{R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн}}$.

$\varphi^{\circ} = \frac{12 R R_{б} e_{б} Q^{\circ}_{б}}{E_{ф} b h^{3}(1 + A_{0} + A_{п})}$.

4.3.3.2. Приращения нагрузок, вызванные внешними воздействиями на фланцевое соединение, определяются по формулам:

$$Q'_{0} = \frac{P_{пр} D^{2}}{2R_{0}}, \quad H'_{0} = \rho_{3} E S \varphi' + \rho_{5}\left[0{,}3Q'_{0} - (1 - \rho_{2}) P R_{0} + Q_{т}\right],$$

$$M'_{0} = -\rho_{4} E S R_{0} \varphi' + \rho_{6}\left[(1 - \rho_{2}) P R_{0}^{2} - 0{,}3 Q'_{0} R_{0} - Q_{т} R_{0}\right],$$

$$Q'_{пв} = \frac{b_{пв}}{f_{пр}}\left(\frac{\Delta_{т} - 2e_{в}\varphi'}{2\pi y_{б}} - Q'_{0} R_{0}\right), \quad Q'_{пн} = \frac{b_{пн}}{f_{пр}}\left(\frac{\Delta_{т} + 2e_{н}\varphi'}{2\pi y_{б}} - Q'_{0} R_{0}\right),$$

$$Q'_{б} = \frac{\Delta_{т} - 2(R_{б} - R_{пв})\varphi'}{2\pi y_{б} R_{б}} - \frac{f_{бп} Q'_{пв}}{R_{б} b_{пв}},$$

где $P_{пр} = P + \frac{1}{\pi D^2}\left(F + \frac{2M}{R_0}\right)$; $Q_t = (\alpha_ф - \alpha)(t - t_0)ES$;

$\Delta_t = 2h_ф\left[\alpha_ф(t_ф - t) - \alpha_б(t_б - t_0)\right]$; $l_б = 2h_ф + S_п + 0{,}3\sigma_б$;

$y_б = \frac{l_б}{E_б f_б n_б}$; $f_{бп} = \frac{S_п}{2\pi y_б E_п}$; $f_{пр} = f_{бп} + R_{пв} b_{пв} + R_{пн} b_{пн}$;

$e_в = R_б - R_{пв} + \frac{R_{пн} - R_{пв}}{f_{бп}} R_{пн} b_{пн}$; $e_н = R_{пн} - R_б + \frac{R_{пн} - R_{пв}}{f_{бп}} R_{пв} b_{пв}$;

$e_0 = \frac{R_{пв} b_{пв}^2 + R_{пн} b_{пн}^2 + R_б f_{бп}}{f_{пр}} - R_0$; $\bar{e}_б = \frac{R_{пв} b_{пв}(R_б - R_{пв}) - R_{пн} b_{пн}(R_{пн} - R_б)}{f_{пр}}$;

$A_б = \frac{24 R_б \left[R_{пв} b_{пв}(R_б - R_{пв})^2 + R_{пн} b_{пн}(R_{пн} - R_б)^2\right]}{2\pi y_б E_ф b h^3 f_{пр}}$; $\bar{A}_п = \frac{24 E_п R (R_{пн} - R_{пв})^2 R_{пв} b_{пв} R_{пн} b_{пн}}{E_ф b h^3 S_п f_{пр}}$;

$\rho_5 = \frac{h}{R_0(\rho_1 + \rho_2)}$; $\rho_6 = \frac{\rho_1}{2\omega^2(\rho_1 + \rho_2)}$;

$M' = \rho_6(1 + \rho_1)\left[(1 - \rho_2)PR_0 - Q_t - 0{,}3Q_0'\right]R_0^2 + \frac{\bar{e}_б \Delta_t}{2\pi y_б} + Q_0' R_0 e_0$,

$$\varphi' = \frac{12RM'}{E_ф b h^3 (1 + A_б + \bar{A}_п + A_б)}.$$

4.3.3.3. Нагрузки деталей фланцевого соединения в расчетном состоянии определяются по формулам:

$Q_б = Q_б^{\circ} + Q_б'$; $Q_{пв} = Q_{пв}^{\circ} + Q_{пв}'$; $Q_{пн} = Q_{пн}^{\circ} + Q_{пн}'$;

$Q_0 = Q_0'$; $H_0 = H_0^{\circ} + H_0'$; $M_0 = M_0^{\circ} + M_0'$.

Угол поворота фланца определяется по формуле

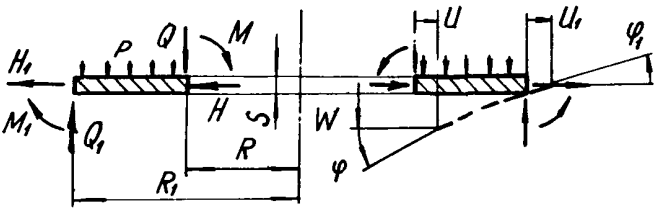
$$\varphi = \varphi^{\circ} + \varphi'.$$

4.3.4. Расчет прочности цилиндрической оболочки производится по формулам п.I.7. Расчет деталей фланцевого соединения - по формулам п.I.8 при Рт = Р.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Обязательное

ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ В ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЕТАЛЯХ

I. Кольцевая пластина (черт.I)



Черт. I

I.I. Деформации:

$$W = \frac{R^2}{D}\left(A_{11} Q R + A_{12} M + A_{13} M_1 + A_{14} p R_1^2\right) ,$$

$$\varphi = \frac{R}{D}\left(A_{12} Q R + A_{22} M + A_{23} M_1 + A_{24} p R_1^2\right) ,$$

$$\varphi_1 = \frac{R\,\beta_n}{D}\left(A_{13} Q R + A_{23} M + A_{33} M_1 + A_{34} p R_1^2\right) ,$$

$$U = \frac{R}{D_M}\left(A_{22} H + A_{23} H_1\right) ,$$

$$U_1 = \frac{R\,\beta_n}{D_M}\left(A_{23} H + A_{33} H_1\right) .$$

I.2. Вспомогательные величины:

$$A_{11} = \frac{(1-\beta_n^2)\left[3+\nu)(1-\nu)\beta_n^2 + 4A_n^2\right]}{8(1-\nu^2)\beta_n^4}; \quad A_{12} = \frac{(1-\nu)\beta_n^2 - 2A_n}{2(1-\nu^2)\beta_n^2} ;$$

$$A_{13}=\frac{1-\nu-2A_n}{2(1-\nu^2)\beta_n^2};\quad A_{14}=\frac{(1-\beta_n^2)\{(1-\nu)[5+\nu-(7+3\nu)\beta_n^2]-4A_n(3+\nu+4A_n)\}}{64(1-\nu^2)\beta_n^2};$$

$$A_{22}=\frac{1+\nu+(1-\nu)\beta_n^2}{(1-\nu^2)(1-\beta_n^2)};\quad A_{23}=\frac{2}{(1-\nu^2)(1-\beta_n^2)};$$

$$A_{24}=\frac{3+\nu-(1-\nu)\beta_n^2+4A_n}{8(1-\nu^2)};\quad A_{33}=\frac{1-\nu+(1+\nu)\beta_n^2}{(1-\nu^2)(1-\beta_n^2)\beta_n^2};$$

$$A_{34}=\frac{1-\nu+\beta_n^2(1+3\nu+4A_n)}{8(1-\nu^2)\beta_n^2};\quad A_n=\frac{(1+\nu)\beta_n^2 l_n\beta_n}{1-\beta_n^2};$$

$$D=\frac{ES^3}{12(1-\nu^2)};\quad D_M=\frac{ES}{1-\nu^2};\quad \beta_n=\frac{R}{R_1}.$$

Значения коэффициентов $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}$ при $\nu = 0{,}3$ приведены в табл. I.

I.3. Расчет напряжений, возникающих на наружном и внутреннем контурах пластины, производится по формулам:

- мембранные напряжения в радиальном направлении

$$\sigma_M=\frac{H_1}{S},\qquad \sigma_M=-\frac{H}{S};$$

- изгибные напряжения на верхней и нижней поверхностях

$$\sigma_u=\mp\frac{6M_1}{S^2},\qquad \sigma_u=\pm\frac{6M}{S^2};$$

- касательные напряжения на торцах

$$\tau=\frac{[Q_1]}{S},\qquad \tau=\frac{[Q]}{S}.$$

Здесь

$$Q_1=\frac{R}{R_1}Q+\frac{R_1^2-R^2}{2R_1}P.$$

Таблица I

Значения коэффициентов $A_{II}, A_{I2}, A_{I3}, A_{I4}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}$

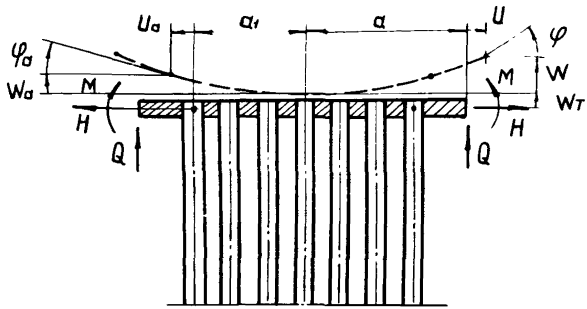
β_n	A_{II}	A_{I2}	A_{I3}	A_{I4}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{33}	A_{34}
Близкие к I,00	$\frac{I-\beta_n}{0,9I}$	$\frac{I}{0,9I}$	$\frac{I}{0,9I}$	$\frac{(I-\beta_n)^2}{I,82}$	$\frac{I}{0,9I(I-\beta_n)}$	$\frac{I}{0,9I(I-\beta_n)}$	$\frac{I-\beta_n}{I,82}$	$\frac{I}{0,9I(I-\beta_n}$	$\frac{I-\beta_n}{I,82}$
0,99	0,0II2	I,I06	I,II4	0,000055	I09,70	II0,40	0,00549	III,20	0,00553
0,98	0,0227	I,II3	I,I29	0,000223	54,70	55,50	0,0I097	56,30	0,0III3
0,97	0,0345	I,I2I	I,I45	0,000506	36,40	37,20	0,0I645	38,00	0,0I680
0,96	0,0467	I,I28	I,I6I	0,000908	27,30	28,00	0,02I90	28,90	0,02260
0,95	0,0593	I,I36	I,I78	0,00I430	2I,80	22,50	0,02740	23,40	0,02840
0,94	0,0723	I,I44	I,I95	0,002080	I8,I0	I8,90	0,03280	I9,80	0,03430
0,93	0,0857	I,I52	I,2I2	0,002850	I5,50	I6,30	0,03830	I7,20	0,04030
0,92	0,0996	I,I60	I,230	0,003760	I3,50	I4,30	0,04370	I5,20	0,04640
0,9I	0,II39	I,I68	I,248	0,004800	I2,00	I2,80	0,04920	I3,70	0,05260
0,90	0,I287	I,I77	I,267	0,005970	I0,80	II,60	0,05460	I2,50	0,05890
0,88	0,I597	I,I94	I,306	0,008760	8,97	9,74	0,06540	I0,70	0,07I70
0,86	0,I928	I,2I2	I,347	0,0I2I40	7,67	8,44	0,07620	9,48	0,08500
0,84	0,2283	I,23I	I,39I	0,0I6I70	6,70	7,46	0,08700	8,56	0,09880
0,82	0,2662	I,250	I,437	0,020870	5,94	6,7I	0,09770	7,85	0,II300
0,80	0,3069	I,270	I,486	0,026300	5,34	6,II	0,I0840	7,3I	0,I2790

РД 26-01-55-84 Стр.92

Продолжение табл.I

β_n	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{33}	A_{34}
0,78	0,351	1,291	1,539	0,0325	4,84	5,61	0,119	6,88	0,143
0,76	0,398	1,313	1,594	0,0395	4,43	5,20	0,130	6,53	0,159
0,74	0,448	1,336	1,653	0,0474	4,09	4,86	0,140	6,26	0,176
0,72	0,503	1,359	1,716	0,0563	3,79	4,56	0,151	6,05	0,194
0,70	0,562	1,384	1,784	0,0662	3,54	4,31	0,161	5,88	0,212
0,68	0,626	1,409	1,857	0,0773	3,32	4,09	0,172	5,75	0,232
0,66	0,695	1,436	1,935	0,0895	3,12	3,89	0,182	5,66	0,253
0,64	0,771	1,464	2,019	0,1031	2,95	3,72	0,193	5,60	0,275
0,62	0,853	1,494	2,110	0,1182	2,80	3,57	0,203	5,57	0,298
0,60	0,943	1,525	2,209	0,1348	2,66	3,43	0,213	5,57	0,323
0,58	1,041	1,557	2,316	0,1533	2,54	3,31	0,224	5,60	0,350
0,56	1,149	1,591	2,433	0,1738	2,43	3,20	0,234	5,65	0,378
0,54	1,269	1,627	2,562	0,1965	2,33	3,10	0,244	5,74	0,410
0,52	1,400	1,665	2,703	0,2217	2,24	3,01	0,254	5,86	0,443
0,50	1,547	1,705	2,859	0,2498	2,16	2,93	0,264	6,01	0,481

2. Трубная решетка (черт.2)



Черт. 2

2.1. Деформации наружного контура:

$$W=\frac{a^2}{D_p}\left[T_{11}Qa+T_{12}M+T_{13}(P_T-P_M)a^2\right],\qquad u=\frac{T_{33}Ha}{E_pS_p},$$

$$\varphi=\frac{a}{D_p}\left[T_{12}Qa+T_{22}M+T_{23}(P_T-P_M)a^2\right];$$

на расстоянии a_1 от центра:

$$W_a=\frac{1}{Ka_1}\left(\Phi_1Q_a+\Phi_2\beta M_a\right),\qquad u_a=\frac{(1-\nu)H_aa_1}{\psi_pE_pS_p},$$

$$\varphi_a=\frac{\beta}{Ka_1}\left(\Phi_2Q_a+\Phi_3\beta M_a\right);$$

трубного пучка :

$$W_T=\frac{1}{K}\left(\alpha_1P_M-\alpha P_T\right)+\frac{\nu L}{4E_TS_T}\left(d_TP_M-d_BP_T\right).$$

2.2. Вспомогательные величины:

$$\alpha=1-\frac{\pi d_B^2}{4f_i};\qquad \alpha_1=1-\frac{\pi d_T^2}{4f_i};$$

$$\alpha_\psi=\alpha\left(0{,}8+0{,}2\frac{S_{пр}}{S_p}\right);\qquad \psi_0=\alpha_\psi^2\sqrt[3]{\alpha_\psi};$$

$$\psi_p=\psi_0\left(1+0{,}1\frac{d_0}{S_p}\right);\qquad \varphi_p=\frac{t-d_0}{t};$$

$$J_T=\frac{\pi}{64}\left(d_T^4-d_в^4\right), \qquad D_P=\frac{E_P S_P^3}{10,92}.$$

Значения коэффициентов ψ_0 приведены в табл.2

Таблица 2

Коэффициенты ψ_0

α_ψ	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
ψ_0	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

$$K=\frac{2E_T f_T}{L f_i}, \qquad \beta=\sqrt[4]{\frac{K}{\psi_P D_P}}, \qquad \omega=\beta a_1 .$$

Коэффициенты φ_1, φ_2, φ_3 вычисляются по следующим формулам:

$$\varphi_1=\frac{\omega}{T}\left[ber^2\omega+bej^2\omega+\frac{0,7}{\omega}\left(ber'\omega\cdot bei\omega-bej'\omega\cdot ber\omega\right)\right],$$

$$\varphi_2=\frac{\omega}{T}\left(ber\omega\cdot ber'\omega+bei\omega\cdot bej'\omega\right), \quad \varphi_3=\frac{\omega}{T}\left(ber'^2\omega+bej'^2\omega\right),$$

где $T=ber\omega\cdot bej'\omega-bej\omega\cdot ber'\omega-\frac{0,7}{\omega}\left(ber'^2\omega+bej'^2\omega\right)$;

$$ber\omega=1-\frac{1}{(2!)^2}\left(\frac{\omega}{2}\right)^4+\frac{1}{(4!)^2}\left(\frac{\omega}{2}\right)^8-\cdots; \quad bei\omega=$$

$$=\left(\frac{\omega}{2}\right)^2-\frac{1}{(3!)^2}\left(\frac{\omega}{2}\right)^6+\frac{1}{(5!)^2}\left(\frac{\omega}{2}\right)^{10}-\cdots;$$

$$ber'\omega=-\frac{1}{2!}\left(\frac{\omega}{2}\right)^3+\frac{1}{3!4!}\left(\frac{\omega}{2}\right)^7-\frac{1}{5!6!}\left(\frac{\omega}{2}\right)^{11}+\cdots; \quad bei'\omega=\frac{\omega}{2}-\frac{1}{2!3!}\left(\frac{\omega}{2}\right)^5+\frac{1}{4!5!}\left(\frac{\omega}{2}\right)^9-\cdots$$

Значения коэффициентов φ_1, φ_2, φ_3 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты Φ_1, Φ_2, Φ_3

ω	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Φ_1	2	2,00	2,06	2,28	2,79	3,58	4,50	5,39
Φ_2	0	0,02	0,19	0,62	1,32	2,16	2,94	3,59
Φ_3	0	0,19	0,76	1,65	2,75	3,76	4,65	5,36

Продолжение табл.3

ω	4	5	6	7	8	9	10	10
Φ_1	6,19	7,65	9,08	10,51	11,94	13,36	14,78	2
Φ_2	4,13	5,13	6,15	7,17	8,19	9,20	10,21	
Φ_3	6,03	7,38	8,81	10,24	11,66	13,08	14,50	2

$$\bar{A}_{11} = A_{11} + \frac{\Phi_1}{\psi_p \omega^4}; \qquad \bar{A}_{12} = A_{12} - \frac{\Phi_2}{\psi_p \omega^3};$$

$$\bar{A}_{22} = A_{22} + \frac{\Phi_3}{\psi_p \omega^2}; \qquad T_{11} = \beta_n^2 \left(\bar{A}_{11} - \bar{A}_{12} \frac{\bar{A}_{12}}{\bar{A}_{22}} \right);$$

$$T_{12} = \beta_n^2 \left(A_{13} - A_{23} \frac{\bar{A}_{12}}{\bar{A}_{22}} \right); \qquad T_{13} = \beta_n^4 \left(A_{14} - A_{24} \frac{\bar{A}_{12}}{\bar{A}_{22}} \right) - \frac{1-\beta_n^2}{2} T_{11};$$

$$T_{22} = \beta_n^2 \left(A_{33} - A_{23} \frac{A_{23}}{\bar{A}_{22}} \right); \qquad T_{23} = \beta_n^4 \left(A_{34} - A_{23} \frac{A_{24}}{\bar{A}_{22}} \right) - \frac{1-\beta_n^2}{2} T_{12};$$

$$T_{33} = 0{,}91 \beta_n^2 \left(A_{33} - A_{23} \bar{A}_{23} \right); \qquad \bar{A}_{23} = \frac{A_{23}}{A_{22} + \frac{1}{1{,}3 \psi_p}}.$$

Коэффициенты $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{33}, A_{34}$ вычисляются по формулам п.1 приложения при $\beta_n = a_1 / a$.

2.3. Расчет напряжений, возникающих на наружном контуре и в области закрепления труб, производится по формулам:

- мембранные напряжения в радиальном направлении

$$\sigma_M = \frac{H}{S_p}, \qquad \sigma_M = \frac{Ha}{\psi_p S_p};$$

- изгибные напряжения на верхней и нижней поверхностях

$$\sigma_u = \mp \frac{6M}{S_p^2}, \qquad \sigma_u = \mp \frac{6M_{max}}{\varphi_p S_p^2} \mp \frac{\psi_p \alpha_p E_p}{1{,}3\varphi_p}(t_{pT} - t_{pM});$$

- касательные напряжения на торцах

$$\tau = \frac{Q}{S_p}, \qquad \tau = \frac{Q_a}{\varphi_p S_p}.$$

Здесь $M_{max} = A\frac{Q_a}{\beta}$ при $-0{,}7 \le m_p = \frac{\beta M_a}{Q_a} \le 1;$

$M_{max} = BM_a$ при $0 \le \Pi_p = \frac{Q_a}{\beta M_a} < 1;$

$$Q_a = \frac{1}{a_1}\left[Q_a + \frac{a^2 - a_1^2}{2}(P_M - P_T)\right], \qquad H_a = \bar{A}_{23} H,$$

$$M_a = \frac{1}{\bar{A}_{22}}\left[\bar{A}_{12} Q_a a_1 + A_{23} M + A_{24}(P_T - P_M) a_1^2\right]$$

Коэффициенты B и A представляют собой максимальные по абсолютной величине значения функций:

$$B = \frac{0{,}91}{T}\left[\Pi_p\left[f_1(\omega)\cdot bei''x - f_2(\omega)\cdot ber''x\right] + ber'\omega\, ber''x + bei'\omega \cdot bei''x\right],$$

$$A = \frac{0{,}91}{T}\left[f_1(\omega)\cdot bei''x - f_2(\omega)\cdot ber''x + m_p(ber'\omega \cdot ber''x + bei'\omega \cdot bei''x\right],$$

где

$$f_1(\omega) = \frac{0{,}7}{\omega} ber'\omega + bei\omega; \qquad f_2(\omega) = \frac{0{,}7}{\omega} bei'\omega - ber\omega;$$

$$ber''x = -bei x - \frac{ber'x}{x}; \qquad bei''x = ber x - \frac{bei'x}{x}.$$

Максимум отыскивается в интервале $0 \le X \le \omega$.

При $\omega > 3$ - в интервале $(\omega - 3) \le X \le \omega$.

Значения коэффициентов B приведены в табл. 4, A – в табл. 5.

Таблица 4

Коэффициенты B

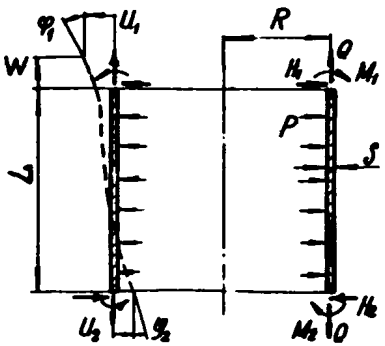
η_p	Коэффициенты B при ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0 и более
0,9	0,82	0,93	1,00	0,95	0,94	1,00	1,04	1,08
0,8	0,80	0,91	0,96	0,91	0,91	0,97	1,01	1,05
0,7	0,79	0,88	0,92	0,87	0,88	0,94	0,98	1,02
0,6	0,78	0,86	0,88	0,84	0,86	0,92	0,95	0,99
0,5	0,76	0,82	0,84	0,80	0,84	0,89	0,92	0,96
0,4	0,75	0,80	0,80	0,78	0,82	0,87	0,90	0,94
0,3	0,74	0,77	0,76	0,75	0,80	0,85	0,88	0,91
0,2	0,73	0,74	0,73	0,74	0,79	0,84	0,86	0,90
0,1	0,71	0,72	0,71	0,73	0,78	0,82	0,85	0,88
0	0,70	0,70	0,71	0,72	0,78	0,81	0,84	0,87

Таблица 5

Коэффициенты А

m_p	Коэффициенты А при ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0 и более
-0,7	0,52	0,54	0,57	0,60	0,63	0,64	0,64	0,64
-0,6	0,45	0,47	0,50	0,52	0,55	0,55	0,55	0,55
-0,5	0,38	0,40	0,43	0,45	0,47	0,47	0,47	0,46
-0,4	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40	0,39	0,39	0,38
-0,3	0,24	0,26	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,29
-0,2	0,17	0,19	0,27	0,35	0,31	0,27	0,29	0,31
-0,1	0,10	0,20	0,34	0,40	0,34	0,32	0,34	0,36
0	0,13	0,27	0,40	0,45	0,38	0,37	0,39	0,41
0,1	0,20	0,34	0,46	0,51	0,42	0,43	0,45	0,47
0,2	0,27	0,41	0,53	0,56	0,47	0,48	0,51	0,54
0,3	0,34	0,48	0,59	0,61	0,52	0,55	0,58	0,60
0,4	0,41	0,55	0,66	0,67	0,58	0,61	0,64	0,67
0,5	0,48	0,62	0,72	0,72	0,64	0,68	0,71	0,74
0,6	0,55	0,68	0,78	0,78	0,71	0,72	0,78	0,81
0,7	0,62	0,75	0,85	0,83	0,76	0,81	0,85	0,89
0,8	0,69	0,82	0,91	0,88	0,83	0,88	0,92	0,96
0,9	0,76	0,89	0,98	0,94	0,90	0,96	1,00	1,04
1,0	0,83	0,96	1,04	0,99	0,96	1,03	1,07	1,12

3. Цилиндрическая оболочка (черт. 3)



Черт. 3

3.1. Деформации:

$$\varphi_1 = \frac{1}{ES^2}\left(B_{11}M_1 + B_{12}H_1S + B_{13}M_2 + B_{14}H_2S\right),$$

$$U_1 = \frac{1}{ES}\left(B_{12}M_1 + B_{22}H_1S + B_{14}M_2 + B_{24}H_2S - \nu QR + pR^2\right),$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{ES^2}\left(B_{13}M_1 + B_{14}H_1S + B_{11}M_2 + B_{12}H_2S\right),$$

$$U_2 = \frac{1}{ES}\left(B_{14}M_1 + B_{24}H_1S + B_{12}M_2 + B_{22}H_2S + \nu QR - pR^2\right),$$

$$W = \frac{L}{ES}\left(K_q Q - \nu K_p pR\right).$$

3.2. Вспомогательные величины:

$$\omega = \sqrt[4]{\frac{2{,}73R^2}{S^2}}, \qquad \lambda = L\sqrt[4]{\frac{2{,}73}{R^2S^2}}.$$

Для очень короткой оболочки $\lambda < 0{,}3$

$$B_{11} = B_{13} = \frac{12R^2S}{L^3}; \qquad B_{12} = B_{14} = \frac{6R^2}{L^2};$$

$$B_{22} = \frac{4R^2}{LS}; \qquad B_{24} = \frac{2R^2}{LS}.$$

Для короткой оболочки $0,3 \leqslant \lambda \leqslant 3$:

$$B_{II} = \frac{4S\omega^3}{R}\Phi_{II} \qquad B_{I2} = 2\omega^2\Phi_{I2},$$

$$B_{I3} = \frac{4S\omega^3}{R}\Phi_{I3}. \qquad B_{I4} = 4\omega^2\Phi_{I4}.$$

$$B_{22} = \frac{2R\omega}{S}\Phi_{22}; \qquad B_{24} = \frac{2R\omega}{S}\Phi_{24}$$

где $\Phi_{II} = \dfrac{sh\lambda\cdot ch\lambda + Sin\lambda\cdot Cos\lambda}{sh^2\lambda - Sin^2\lambda}$; $\Phi_{I2} = \dfrac{sh^2\lambda + Sin^2\lambda}{sh^2\lambda - Sin^2\lambda}$;

$\Phi_{I3} = \dfrac{sh\lambda\cdot Cos\lambda + ch\lambda\cdot Sin\lambda}{sh^2\lambda - Sin^2\lambda}$; $\Phi_{I4} = \dfrac{sh\lambda\cdot Sin\lambda}{sh^2\lambda - Sin^2\lambda}$;

$\Phi_{22} = \dfrac{sh\lambda\cdot ch\lambda - Sin\lambda\cdot Cos\lambda}{sh^2\lambda - Sin^2\lambda}$; $\Phi_{24} = \dfrac{ch\lambda\cdot Sin\lambda - sh\lambda\cdot Cos\lambda}{sh^2\lambda - Sin^2\lambda}$.

Для длинной оболочки $\lambda > 3$:

$$B_{II} = \frac{4S}{R}\omega^3, \qquad B_{I2} = 2\omega^2$$

$$B_{22} = \frac{2R}{S}\omega, \qquad B_{I3} = B_{I4} = B_{24} = 0.$$

Значения коэффициентов Φ_{II}.Φ_{I2}.Φ_{I3}.Φ_{I4}. Φ_{22}.Φ_{24} приведены в табл.6. Для оболочки без компенсатора $K_q = K_p = I$. Если на цилиндрической оболочке установлен компенсатор

$$K_q = I + \frac{2\pi RES}{LK_K}; \qquad K_p = I - \frac{\pi(D_K^2 - d_K^2)Es}{24LRK_K},$$

где жесткость компенсатора K_K принимается по руководящей нормативной документации на компенсаторы. Допускается значение K_K принимать по разделу 2.

3.3. Расчет напряжений, возникающих в верхнем и нижнем сечениях, производится по формулам:

- мембранные осевые напряжения

$$\sigma_{M_x} = \frac{Q}{S}; \qquad \sigma_{M_x} = \frac{Q}{S};$$

- мембранные окружные напряжения

$$\sigma_{M\varphi} = \nu\sigma_{M_x} + \frac{U_1 E}{R}; \qquad \sigma_{M\varphi} = \nu\sigma_{M_x} - \frac{U_2 E}{R};$$

Таблица 6

Коэффициенты $\Phi_{11}, \Phi_{12}, \Phi_{13}, \Phi_{14}, \Phi_{22}, \Phi_{24}$

λ	Φ_{11}	Φ_{12}	Φ_{13}	Φ_{14}	Φ_{22}	Φ_{24}
0,3	III,2200	33,3430	III,0700	I6,6640	6,6672	3,3329
0,4	47,0240	I8,7670	46,8240	9,3700	5,0012	2,499I
0,5	24,I860	I2,0260	23,9360	5,9923	4,0024	I,9982
0,6	I4,II20	8,37I0	I3,8I20	4,I555	3,3374	I,6636
0,7	9,006I	6,I737	8,6566	3,046I	2,8637	I,4237
0,8	6,I560	4,7544	5,7569	2,3240	2,5097	I,2427
0,9	4,4487	3,7882	4,0003	I,8269	2,2360	I,I008
I,0	3,3700	3,I042	2,8727	I,4693	2,0189	0,9858
I,I	2,6602	2,6050	2,II46	I,2027	I,8433	0,8903
I,2	2,I783	2,2324	I,585I	0,9979	I,699I	0,809I
I,3	I,843I	I,9493	I,203I	0,8366	I,5795	0,7386
I,4	I,6057	I,73I5	0,9202	0,7067	I,4795	0,6764
I,5	I,4354	I,5623	0,7056	0,6002	I,3955	0,6205
I,6	I,3I2I	I,4303	0,5398	0,5II3	I,3247	0,5697
I,7	I,2226	I,3269	0,4096	0,436I	I,2650	0,5229
I,8	I,I574	I,246I	0,3059	0,37I7	I,2I48	0,4793
I,9	I,II02	I,I830	0,2225	0,3I60	I,I727	0,4385
2,0	I,0762	I,I34I	0,I55I	0,2675	I,I376	0,3999
2,I	I,0520	I,0966	0,I003	0,2250	I,I085	0,3634
2,2	I,0350	I,0680	0,0557	0,I876	I,0845	0,3288
2,3	I,0233	I,0467	0,0I97	0,I546	I,0650	0,2958
2,4	I,0I54	I,03I0	-0,0094	0,I255	I,0493	0,2646
2,5	I,0I04	I,0I98	-0,0325	0,0999	I,0368	0,2350
2,6	I,0072	I,0II9	-0,0504	0,0775	I,0270	0,207I
2,7	I,0054	I,0067	-0,064I	0,0579	I,0I95	0,I809
2,8	I,0044	I,0033	-0,0739	0,04I0	I,0I38	0,I565
2,9	I,0039	I,00I4	-0,0807	0,0264	I,0096	0,I338
3,0	I,0038	I,0004	-0,0847	0,0I4I	I,0066	0,II30

- изгибные осевые на наружной и внутренней поверхностях

$$\sigma_{1x} = \mp \frac{6M_1}{S^2} \; ; \qquad \sigma_{1x} = \pm \frac{6M_2}{S^2} \; ;$$

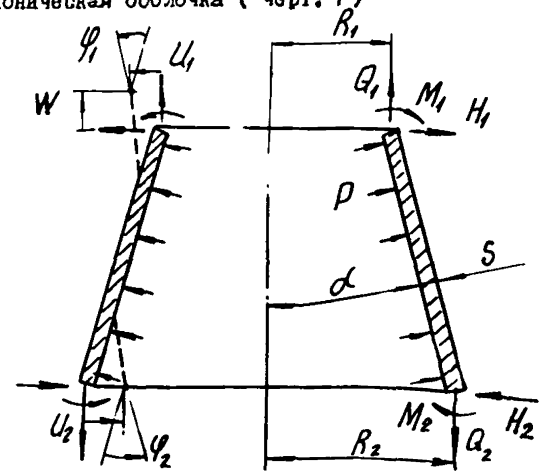
- изгибные окружные на наружной и внутренней поверхностях

$$\sigma_{1\varphi} = \nu \sigma_{1x} \; ; \qquad \sigma_{1\varphi} = \nu \sigma_{1x} \; ;$$

- касательные напряжения на торцах

$$\tau = \frac{|H_1|}{S} \; ; \qquad \tau = \frac{|H_2|}{S} \; .$$

4. Коническая оболочка (черт. 4)



Черт. 4

4.1. Деформации:

$$\varphi_1 = \frac{1}{ES^2}\left(C_{11}M_1 + C_{12}H_1S + C_{13}M_2 + C_{14}H_2S + C_{15}Q_1S + C_{16}pS^2\right) ,$$

$$U_1 = \frac{1}{ES}\left(C_{21}M_1 + C_{22}H_1S + C_{23}M_2 + C_{24}H_2S + C_{25}Q_1S + C_{26}pS^2\right) ,$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{ES^2}\left(C_{31}M_1 + C_{32}H_1S + C_{33}M_2 + C_{34}H_2S + C_{35}Q_1S + C_{36}pS^2\right) ,$$

$$U_2 = \frac{1}{ES}\left(C_{41}M_1 + C_{42}H_1S + C_{43}M_2 + C_{44}H_2S + C_{45}Q_1S + C_{46}pS^2\right) ,$$

$$W = \frac{1}{ES}\left(C_{51}M_1 + C_{52}H_1S + C_{53}M_2 + C_{54}H_2S + C_{55}Q_1S + C_{56}pS^2\right) .$$

Для неусеченной конической оболочки:

$$\varphi_2 = \frac{1}{ES^2}\left(C_{33}M_2 + C_{34}H_2S + \bar{C}_{35}Q_2S - \bar{C}_{36}pS^2\right) ,$$

$$U_2 = \frac{1}{ES}\left(C_{34}M_2 + C_{44}H_2S + \bar{C}_{46}Q_2S - \bar{C}_{46}\rho S^2\right).$$

4.2. Вспомогательные величины

$$\omega_1 = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)R_1^2}{S^2}} \qquad \omega_2 = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)R_2^2}{S^2}};$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{\cos\alpha}}{\sin\alpha}(\omega_2 - \omega_1); \qquad \lambda_0 = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2R_2S};$$

$$Q_2 = \frac{R_1}{R_2}Q_1 + \lambda_0\rho S;$$

$$C_{11} = B_{11}\omega_1; \quad C_{12} = C_{21} = B_{12}\omega_1^2; \qquad C_{13} = B_{13}\omega_1;$$

$$C_{14} = C_{32} = B_{14}\omega_1\omega_2; \quad C_{15} = tg\alpha\left(\frac{1}{\cos\alpha} + C_{12} + \frac{R_1}{R_2}C_{14}\right); \quad C_{16} = tg\alpha\left(\lambda_0 C_{14} - \frac{2R_1}{S\cos\alpha}\right);$$

$$C_{22} = B_{22}\omega_1^3; \quad C_{23} = B_{14}\omega_1^2; \qquad C_{24} = B_{24}\omega_1^2\omega_2;$$

$$C_{25} = tg\alpha\left(C_{22} + \frac{R_1}{R_2}C_{24}\right) - \frac{\nu R_1}{S\cos\alpha}; \qquad C_{26} = \lambda_0 C_{24}\,tg\alpha + \frac{R_1^2}{S^2\cos\alpha}$$

$$C_{31} = B_{13}\omega_2; \quad C_{33} = B_{11}\omega_2; \qquad C_{34} = C_{43} = B_{12}\omega_2^2;$$

$$C_{35} = tg\alpha\left(C_{32} + \frac{R_1}{R_2}C_{34} + \frac{R_1}{R_2\cos\alpha}\right); \quad C_{36} = tg\alpha\left(\lambda_0 C_{34} - \frac{3R_2^2 + R_1^2}{2R_2S\cos\alpha}\right);$$

$$C_{41} = B_{14}\omega_2^2; \quad C_{42} = B_{24}\omega_1\omega_2^2; \qquad C_{44} = B_{22}\omega_2^3;$$

$$C_{45} = tg\alpha\left(C_{42} + \frac{R_1}{R_2}C_{44}\right) + \frac{\nu R_1}{S\cos\alpha}; \quad C_{46} = \lambda_0 C_{44}\,tg\alpha - \frac{(2-\nu)R_2^2 + \nu R_1^2}{2S^2\cos\alpha};$$

$$C_{51} = tg\alpha\left(B_{12}\omega_1^2 + B_{14}\omega_2^2\right); \quad C_{52} = tg\alpha\left(B_{22}\omega_1^2 + B_{24}\omega_2^2\right)\omega_1;$$

$$C_{53} = tg\alpha\left(B_{12}\omega_2^2 + B_{14}\omega_1^2\right); \quad C_{54} = tg\alpha\left(B_{22}\omega_2^2 + B_{24}\omega_1^2\right)\omega_2;$$

$$C_{55} = tg\alpha\left(C_{52} + \frac{R_1}{R_2}C_{54}\right) + \frac{R_1 L_n \frac{R_2}{R_1}}{S\sin\alpha\cos^2\alpha};$$

$$C_{56} = \lambda_0\left[C_{54}\,tg\alpha - \frac{R_2(3tg^2\alpha - 1 + 2\nu)}{2S\sin\alpha}\right] - \frac{R_1^2 L_n \frac{R_2}{R_1}}{2S^2\sin\alpha\cos^2\alpha};$$

$$\bar{C}_{35} = \left(C_{34} + \frac{1}{\cos\alpha}\right) tg\alpha \; ; \qquad \bar{C}_{36} = \frac{2R_2 tg\alpha}{S\cos\alpha} \; ;$$

$$\bar{C}_{45} = C_{44} tg\alpha + \frac{\nu R_2}{S\cos\alpha} \; ; \qquad \bar{C}_{46} = \frac{R_2^2}{S^2\cos\alpha} \; .$$

Для очень короткой оболочки $\lambda < 0{,}3$;

$$B_{11} = B_{13} = \frac{12}{\lambda^3}\sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{\cos\alpha}} \; ; \qquad B_{12} = B_{14} = \frac{6}{\lambda^2} \; ;$$

$$B_{22} = \frac{4}{\lambda}\sqrt{\frac{\cos\alpha}{3(1-\nu^2)}} \; ; \qquad B_{24} = \frac{2}{\lambda}\sqrt{\frac{\cos\alpha}{3(1-\nu^2)}} \; .$$

Для короткой оболочки $0{,}3 \le \lambda \le 3$:

$$B_{11} = 4\Phi_{11}\sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{\cos\alpha}} \; ; \qquad B_{13} = 4\Phi_{13}\sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{\cos\alpha}} \; ;$$

$$B_{12} = 2\Phi_{12} \; ; \qquad B_{14} = 4\Phi_{14} \; ;$$

$$B_{22} = 2\Phi_{22}\sqrt{\frac{\cos\alpha}{3(1-\nu^2)}} \; ; \qquad B_{24} = 2\Phi_{24}\sqrt{\frac{\cos\alpha}{3(1-\nu^2)}} \; .$$

Расчетные формулы для определения коэффициентов $\Phi_{11}, \Phi_{12}, \Phi_{13}, \Phi_{14}$ Φ_{22}, Φ_{24} приведены в п.3

Для длинной оболочки $\lambda > 3$

$$B_{11} = 4\sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{\cos\alpha}} \; ; \qquad B_{22} = 2\sqrt{\frac{\cos\alpha}{3(1-\nu^2)}} \; ;$$

$$B_{12} = 2 \; ; \qquad B_{13} = B_{14} = B_{24} = 0 \; .$$

4.3. Расчет напряжений, возникающих в верхнем и нижнем сечениях, производится по формулам:

- мембранные осевые напряжения

$$\sigma_{мх} = \frac{1}{S}\left(Q_1\cos\alpha - H_1\sin\alpha\right); \qquad \sigma_{мх} = \frac{1}{S}\left(Q_2\cos\alpha - H_2\sin\alpha\right) ;$$

- мембранные окружные напряжения

$$\sigma_{м\varphi} = \nu\sigma_{мх} + \frac{U_1 E}{R_1} \; , \qquad \sigma_{м\varphi} = \nu\sigma_{мх} - \frac{U_2 E}{R_2} \; ;$$

- изгибные осевые на наружной и внутренней поверхностях

$$\sigma_{и1} = \mp\frac{6M_1}{S^2} \; , \qquad \sigma_{и1} = \pm\frac{6M_2}{S^2}$$

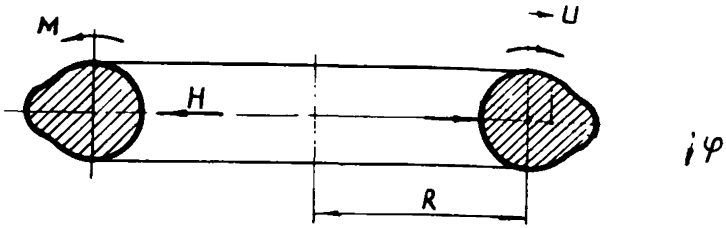
- изгибные окружные на наружной и внутренней поверхностях

$\sigma_{u\varphi}=\nu\sigma_{ux}$, $\sigma_{u\varphi}=\nu\sigma_{ux}$;

- касательные напряжения на торцах

$$\tau=\frac{|H_1\cos\alpha+Q_1\sin\alpha|}{S}\ ,\quad \tau=\frac{|H_2\cos\alpha+Q_2\sin\alpha|}{S}\ .$$

5. ТОНКОЕ КОЛЬЦО (черт. 5,6)



Черт.5

5.1. Деформации:

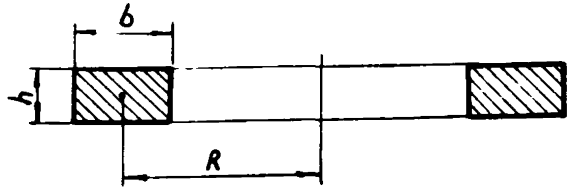
$$\varphi=\frac{MR^2}{EI}\ ,\qquad U=\frac{HR^2}{EF}\ ,$$

где M,H - крутящий момент, Н, и радиальная нагрузка,Н/мм,отнесенные к единице длины срединной окружности кольца радиусом R ;

I,F - минимальный момент инерции,$мм^4$,и площадь,$мм^2$ поперечного сечения кольца.

5.2. Для тонкого кольца прямоугольной формы(черт.6) имеем:

$$I=\frac{bh^3}{12}\ ,\qquad F=bh\ .$$



Черт.6

Границы применимости расчетных формул:

$\frac{2R+b}{2R-b}\leqslant 2$, $\frac{h}{R}\geqslant 0{,}25$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ

I. Коэффициенты Ф, приведенные в табл. I, вычисляются по формуле

$$\varphi = \frac{J_0 - \frac{0,7}{\alpha_e} J_1}{1 - J_0},$$

где

$$J_0 = 1 - \left(\frac{\alpha_e}{2}\right)^2 + \frac{1}{(1\cdot 2)^2}\left(\frac{\alpha_e}{2}\right)^4 - \frac{1}{(1\cdot 2\cdot 3)^2}\left(\frac{\alpha_e}{2}\right)^6 + \cdots ;$$

$$J_1 = \frac{\alpha_e}{2}\left[1 - \frac{1}{1\cdot 2}\left(\frac{\alpha_e}{2}\right)^2 + \frac{1}{(1\cdot 2)^2 3}\left(\frac{\alpha_e}{2}\right)^4 - \frac{1}{(1\cdot 2\cdot 3)^2 4}\left(\frac{\alpha_e}{2}\right)^6 + \cdots\right].$$

2. Коэффициенты A_I, приведенные в табл. 3, принимаются равными единице, если развальцовка теплообменных труб производится в отверстия без канавок.

Если развальцовка труб производится в отверстие с одной канавкой, то коэффициент A_I вычисляется по формуле

$$A_1 = \frac{(1+B_4C_5)(1+2C_1+C_2) - B_4C_4(C_2+C_3)}{(1+C_1)(1+C_3) - 0,5(1-C_2)^2},$$

где $R_T = \frac{1}{2}(d_0 - S_T)$; $R_K = R_T + 0,5h_K$; $\beta = \sqrt[4]{\frac{2,73}{R_T^2 S_T^2}}$;

$\omega_K = \beta b_K$; $F_K = b_K(h_K + S_T)$; $J_K = \frac{b_K(h_K+S_T)^3}{12}$;

$B_1 = \frac{10,92 J_K}{\beta S_T^3 R_T R_K}$; $B_2 = \frac{2\beta R_T F_K}{S_T R_K}$; $B_3 = \frac{b_K(d_0+2h_K)}{2R_T d_0} - \frac{d_0 F_K}{4R_T S_T R_K}$;

$B_4 = \frac{8\beta R_T^2}{d_0}$; $B_0 = (1+B_1)(2+B_2) + B_2(1+\omega_K)^2$;

$C_1 = \frac{2+B_2}{B_0}$; $C_2 = \frac{1}{B_0}\left[2 + (4+B_2)\omega_K\right]$;

$C_3 = \frac{1}{B_0}\left[1 + B_1 + 0,5B_2\omega_K^2 + (1+2\omega_K)^2\right]$; $C_4 = \frac{2B_3}{B_0}(1+\omega_K)$;

$C_5 = \frac{B_3}{B_0}\left[1 + B_1 + (1+\omega_K)(1+2\omega_K)\right]$.

Если развальцовка труб производится в отверстиях с двумя или более канавками, то коэффициент A_I вычисляется по формуле

$$A_1 = \frac{2B_4}{\Delta_{01}}\left[(C_2 - 2\omega_к C_1)\Delta_{11} + (C_3 - \omega_к C_2)\Delta_{21}\right],$$

где $\lambda = \beta l_к$; $\varphi_{11} = \dfrac{sh\lambda \cdot ch\lambda + sin\lambda \cos\lambda}{sh^2\lambda - sin^2\lambda}$;

$\varphi_{12} = \dfrac{sh^2\lambda + sin^2\lambda}{sh^2\lambda - sin^2\lambda}$; $\varphi_{13} = \dfrac{sh\lambda \cos\lambda + ch\lambda \cdot sin\lambda}{sh^2\lambda - sin^2\lambda}$;

$\varphi_{14} = \dfrac{sh\lambda \cdot sin\lambda}{sh^2\lambda - sin^2\lambda}$; $\varphi_{22} = \dfrac{sh\lambda \cdot ch\lambda - sin\lambda \cdot \cos\lambda}{sh^2\lambda - sin^2\lambda}$

$\varphi_{24} = \dfrac{ch\lambda \, sin\lambda - sh\lambda \cdot \cos\lambda}{sh^2\lambda - sin^2\lambda}$; $a_{11} = 2(C_1 + \varphi_{11})$;

$a_{12} = C_2 - \varphi_{12}$; $a_{13} = 2\varphi_{13}$; $a_{14} = -2\varphi_{14}$;

$a_{22} = C_3 + \varphi_{22}$; $a_{24} = \varphi_{24}$; $\Delta_0 = a_{11}a_{22} - a_{12}^2$;

$\Delta_1 = a_{12}a_{14} - a_{13}a_{22}$; $\Delta_2 = a_{12}a_{24} - a_{14}a_{22}$;

$\Delta_3 = a_{22}C_4 - a_{12}C_5$; $\Delta_4 = a_{12}a_{13} - a_{11}a_{14}$;

$\Delta_5 = a_{12}a_{14} - a_{11}a_{24}$; $\Delta_6 = a_{11}C_5 - a_{12}C_4$;

$A_{11} = a_{11} + \dfrac{a_{13}\Delta_1 + a_{14}\Delta_4}{\Delta_0}$; $A_{12} = a_{12} + \dfrac{a_{13}\Delta_2 + a_{14}\Delta_5}{\Delta_0}$;

$A_{22} = a_{22} + \dfrac{a_{14}\Delta_2 + a_{24}\Delta_5}{\Delta_0}$; $C_{41} = -\dfrac{a_{13}\Delta_3 + a_{14}\Delta_6}{\Delta_0}$;

$C_{51} = \dfrac{1}{B_4} - \dfrac{a_{14}\Delta_3 + a_{24}\Delta_6}{\Delta_0}$; $\Delta_{01} = A_{11}A_{22} - A_{12}^2$;

$\Delta_{11} = A_{22}C_{41} - A_{12}C_{51}$; $\Delta_{21} = A_{11}C_{51} - A_{12}C_{41}$;

$l_к$ - расстояние между канавками.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Расчет греющих камер 2
I.I. Исходные данные 2
I.2. Определение возможности развальцовки труб в решетке 8
I.3. Определение минимальной толщины трубной решетки.... 9
I.4. Расчет нагрузок II
I.5. Расчет трубных решеток 34
I.6. Расчет теплообменных труб..... 36
I.7. Расчет прочности обечаек..... 4I
I.8. Расчет деталей фланцевого разъема..... 4I
2. Расчет осевых компенсаторов 43
2.I. Исходные данные 43
2.2. Расчет линзовых компенсаторов 45
2.3. Расчет стяжек для линзовых компенсаторов..... 48
2.4. Расчет и конструирование пружинных компенсаторов... 49
3. Расчет мест пересечения осесимметрично нагруженных оболочек вращения 53
3.I. Место пересечения конической оболочки сепаратора с цилиндрической оболочкой кожуха греющей камеры..... 53
3.2. Место пересечения конической оболочки сепаратора с цилиндрической оболочкой кожуха греющей камеры, подкрепленное ступенчатой цилиндрической оболочкой....57
3.3. Место крепления конической оболочки к цилиндрической оболочке сепаратора через кольцо 63
4. Расчет фланцевых соединений 67
4.I. Фланцевое соединение сепаратора с кожухом греющей камеры 67
4.2. Двухопорное фланцевое соединение на шпильках.....80
4.3. Двухопорное фланцевое соединение на болтах..... 85

Приложение I. Обязательное. Деформации и напряжения в используемых деталях 91

Приложение 2. Справочное. Алгоритмы для вычисления коэффициентов 108

УкрНИИхиммаш

Зам. директора к.т.н. Л.П.Перцев

Зав. отделом стандартизации В.И.Штанденко

Зав. отделом прочности В.П.Стогний

Руководитель разработки к.т.н. П.С.Марченко

Исполнители И.Д.Шарапова

В.Н.Нелюба

Д.Г.Ряузов

СОГЛАСОВАНО:

НИИхиммаш

Зам. директора П.Ф.Серб

Лист регистрации изменений

Изм	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум.	Обозначение извещения № докум.	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подп.	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных					

П Е Р Е Ч Е Н Ь

документов, на которые даны ссылки в руководящем техническом материале

ГОСТ 14249-80 . Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.

ГОСТ 13764-68- ГОСТ 13776-68. Пружины винтовые, цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения.

ГОСТ 25859-83. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагружениях.

ОСТ 26-291-79. Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования.

ОСТ 26-373-78. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность фланцевых соединений.

ОСТ 26-01-112-79. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Общие технические условия.

ОСТ 26-1185-81. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов.

ОСТ 26-17-01-83. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения стандартные. Технические требования к развальцовке труб с ограниченным крутящим моментом.

Заказ № 312 Тираж 100 экз.

Ротапринт УкрНИИхиммаша, г.Харьков, ул. Маршала Конева, 21

gost.e-ecolog.ru