РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

СОСУДЫ И АППАРАТЫ НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

РД 26-I4-88

Издание официальное

ВНИИНЕФТЕМАШ
Москва I988 г

gost.e-ecolog.ru

УДК Группа Г – 02

Р У К О В О Д Я Щ И Й Д О К У М Е Н Т

СОСУДЫ И АППАРАТЫ. НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ.
ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.
ОКП

РД 26-I4-88

Дата введения 0I.07.89

Настоящий руководящий документ (далее РД) устанавливает нормы и методы расчета на прочность элементов кожухотрубчатых теплообменных стальных аппаратов с U-образными трубами, плавающей головкой, компенсатором на плавающей головке, неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе.

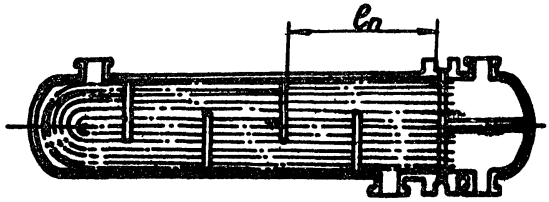
РД распространяется на оборудование, работающее при статических и повторно-статических нагрузках, и соответствующее требованиям ОСТ 26-29I-87, ГОСТ I4249-80.

Схемы аппаратов, компенсатора, узлов крепления решетки к фланцу и схема для определения диаметра окружности, вписанной в максимальную беструбную зону, приведены на черт. I ÷ 9.

При расчете по настоящему РД следует учитывать все возможные сочетания давлений в трубном и межтрубном пространствах и температур труб и кожуха, которые могут иметь место при пуске, в рабочих условиях, при промывке или испытаниях аппарата, с целью определения экспериментальных значений расчетных характеристик для каждого из элементов аппарата.

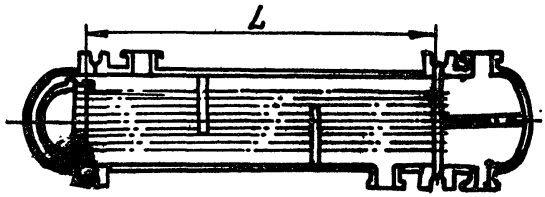
Издание официальное Перепечатка воспрещена

Аппарат с V - образными трубами



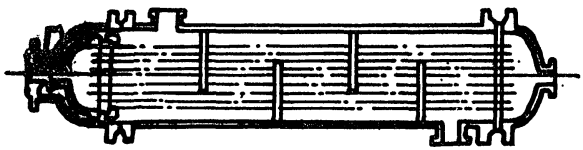
Черт.I

Аппарат с плавающей головкой



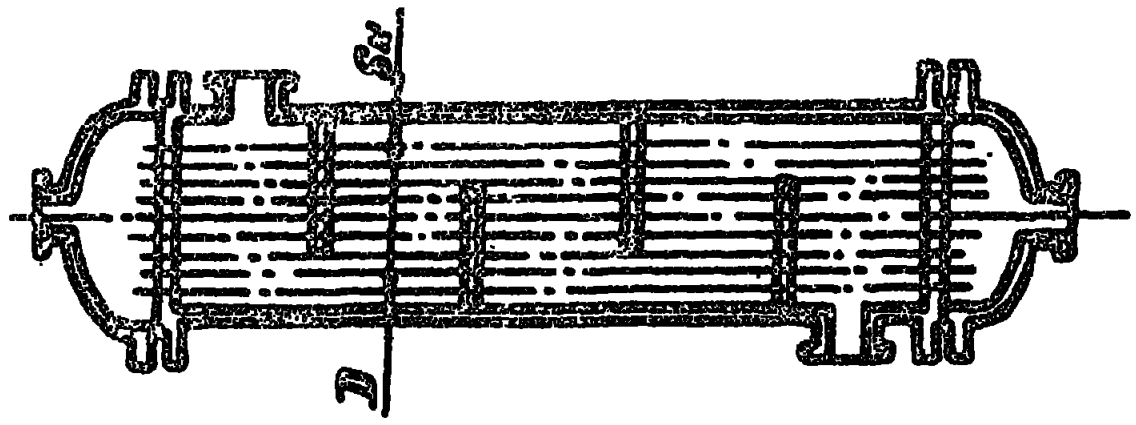
Черт.2

Аппарат с компенсатором на плавающей головке



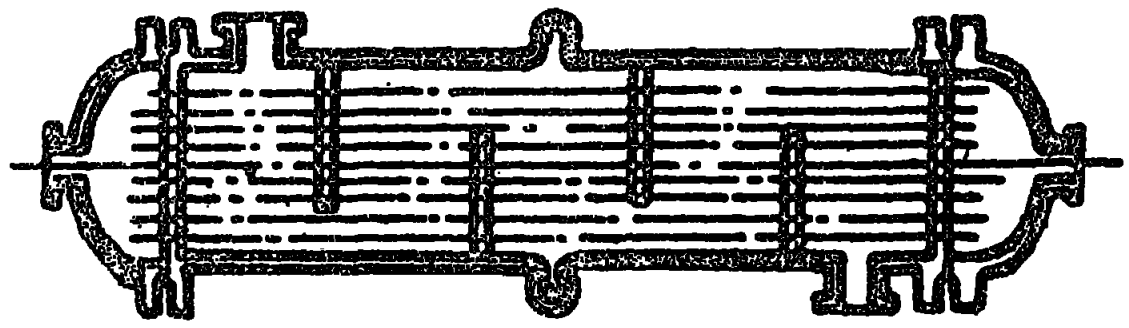
Черт. 3

Аппарат с поперечными трубными перегородками



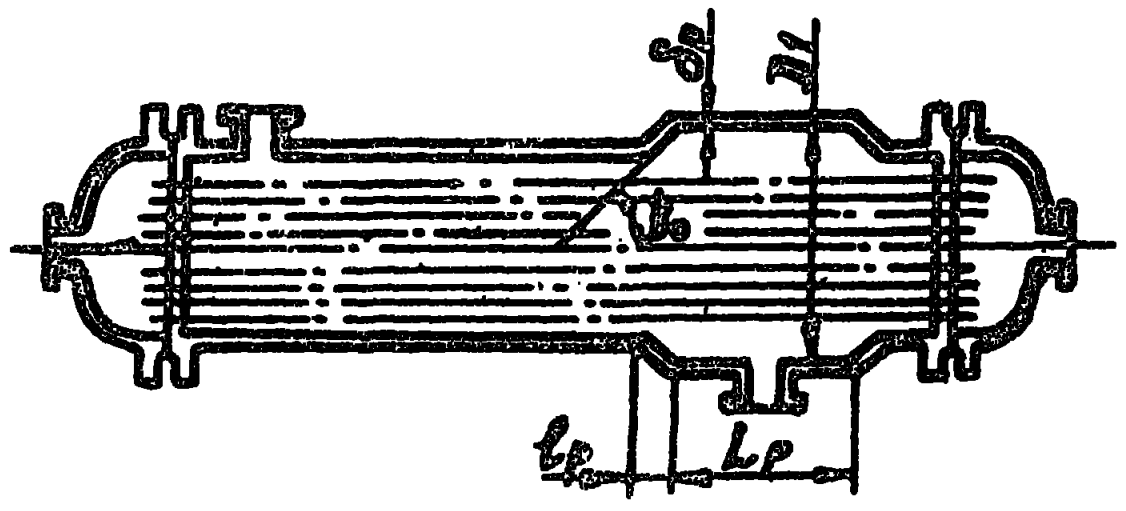
Черт 4

Аппарат с плавающей головкой



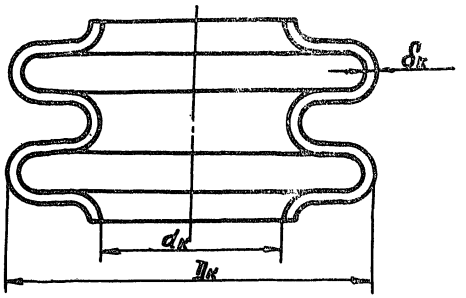
Черт 5

Аппарат с распределителем на входе



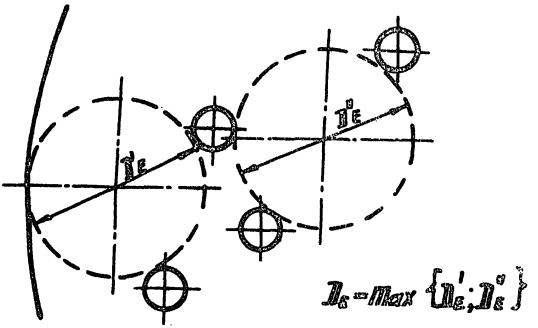
Черт 6

Компенсатор



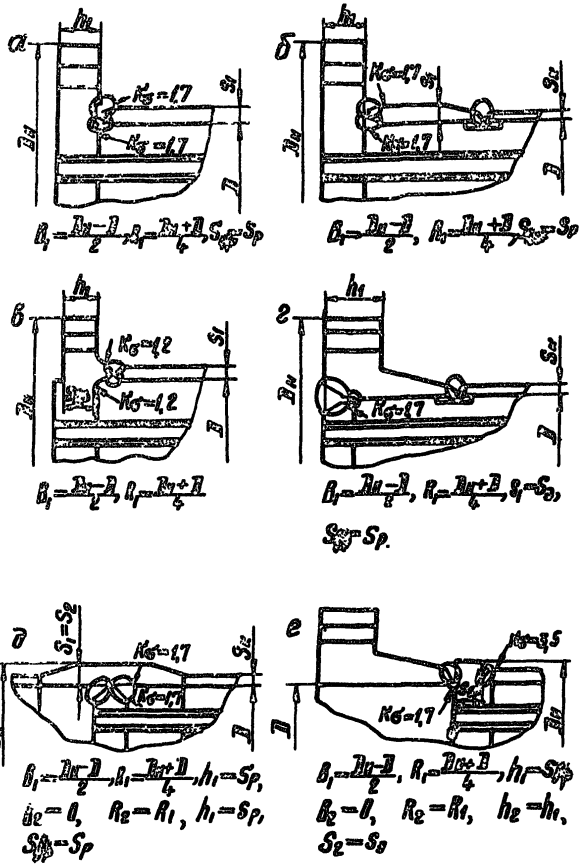
Черт. 7.

Схема для определения диаметра окружности, вписанной в максимальную бесотрубную зону



Черт 8

Крепление решетки к фланцу или патрубку



Черт 9

I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТОЛЩИНЕ ТРУБНОЙ РЕШЕТКИ.

I.I. Толщина трубной решетки назначается конструктивно с последующей проверкой по разделам I,2,3

I.2. Принятая толщина трубной решетки должна обеспечивать возможность крепления труб в решетке. Для решеток, у которых крепление теплообменных труб производится развальцовкой или развальцовкой с обваркой, принятая толщина решетки должна обеспечивать прочность и гарантированное давление разгерметизации вальцовочного соединения, а также некоробление решетки при развальцовке.

Минимальная толщина решеток стандартных теплообменных аппаратов и специальных аппаратов, выпускаемых на базе стандартных, должны отвечать требованиям ОСТ 26-I7-0I-83 и ОСТ 26-02-I0I5-85.

I.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 ответного фланца при условии подтверждения плотности и прочности фланцевого соединения специальным расчетом.

I.4. Принятая толщина трубной решетки должна удовлетворять условию прочности беструбной зоны:

$$S_P \geqslant 0{,}5 D_E \sqrt{\frac{P_R}{[\sigma]_P}} + C \quad , \text{мм(см)} \qquad (I)$$

I.5. Принятая толщина трубных решеток аппаратов с неподвижными трубными решетками, с компенсатором или расширителем на кожухе должна отвечать требованиям прочности, приведенным в разделе 2 настоящего РД

Принятая толщина трубных решеток аппаратов с плавающей головкой, компенсатором на плавающей головке и U -образными трубами должна отвечать требованиям прочности, приведенным в разделе 3 настоящего РД.

1.6. Для аппаратов, многоходовых по трубному пространству, толщина трубной решетки в сечении канавки должна быть не менее:

$$S_n \geqslant S_p^p \max\left\{\left[1-\sqrt{\frac{d_o}{\delta_n}\left(\frac{t_n}{t_p}-1\right)}\right]; \sqrt{\varphi_p}\right\}+C, \text{ мм (см)} \qquad (2)$$

2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С НЕПОДВИЖНЫМИ ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ, КОМПЕНСАТОРОМ ИЛИ РАСШИРИТЕЛЕМ НА КОЖУХЕ.[x]

2.1. Вспомогательные величины.

2.1.1. Основные параметры трубной решетки.

2.1.1.1. Относительная характеристика беструбного края:

$$m_n = a/a_1 \qquad (3)$$

2.1.1.2. Коэффициенты влияния давления на трубную решетку:

$$\eta_м = 1-\frac{i\,d_т^2}{4a_1^2} \qquad (4)$$

$$\eta_т = 1-\frac{i(d_т-2s_т)^2}{4a_1^2} \qquad (5)$$

2.1.1.3. Коэффициент ослабления трубной решетки

$$\varphi_p = 1-\frac{d_o}{t_p} \qquad (6)$$

2.1.1.4. Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_o определяется по табл. 1. в зависимости от $\eta_т$:

Таблица 1

$\eta_т$	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
ψ_o	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

[x] – если теплообменник имеет трубный пучок смещенный относительно центра аппарата или на контуре имеется беструбная область, то следует производить два расчета при максимальном и минимальном значениях a_1 с расчетным числом труб, равным $i(a_1/a_n)^2$

2.I.2. Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

2.I.2.I. Модуль упругости основания (системы труб):

$$K_y = \frac{E_T(\eta_T - \eta_M)}{\ell}, \frac{Н}{мм^3}\ (\frac{кгс}{см^3}) \qquad (7)$$

2.I.2.2. Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха:

$$p = \frac{K_y a_1 \ell}{E_K S_K} \qquad (8)$$

2.I.2.3. Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

$$K_q = I + K_q^* \qquad (9)$$

$$K_p = I + K_p^* \qquad (I0)$$

- для аппаратов с неподвижными трубными решетками $K_p^* = K_q^* = 0$.

- для аппаратов с компенсатором на кожухе, с расширителем на кожухе и с компенсатором на расширителе коэффициенты K_q^* и K_p^* определяются по Приложению I.

2.I.3. Приведенное давление

$$P_0 = [\alpha_K(t_K - t_0) - \alpha_T(t_T - t_0)]K_y \ell + [\eta_T - 1 + m_{ep} + m_n(m_n + 0{,}5 p K_q)]P_T - [\eta_M - 1 + m_{ep} + m_n(m_n + 0{,}3 p K_p)]P_M,\ МПа\ (кгс/см^2) \qquad (II)$$

где

$$m_{cp} = 0{,}15\frac{i(d_T - s_T)^2}{a_1^2} \qquad (I2)$$

2.2. Определение усилий в элементах аппаратов и расчет на прочность

2.2.I. Для конструкций теплообменных аппаратов, имеющих $K_q < I{,}7$ (черт. 9), предназначенных для работы под давлением не более 6,3 МПа (63 кгс/см^2) и перепаде температур труб и кожуха не более 40°С, при соблюдении условия $\frac{a - a_1}{s_p} \leqslant 3$ и отсутствии дополнительных требований к жесткости решетки допускается вместо расчета по п. 2.2. выполнять упрощенный расчет по Приложению 2.

2.2.2. Характеристики жесткости элементов конструкции

2.2.2.I. Коэффициент системы решетка-трубы:

$$\beta = \frac{1,82}{S_p}\sqrt[4]{\frac{K_y S_p}{\psi_0 E_p}}, \quad \frac{I}{мм}\left(\frac{I}{см}\right) \qquad (I3)$$

Для теплообменных аппаратов с двумя отличающимися друг от друга по толщине или модулю упругости решетками, коэффициент следует вычислять по формуле:

$$\beta = 1,53\sqrt[4]{\frac{K_y}{\psi_0}\left(\frac{1}{E_{p1} S_{p1}^3} + \frac{1}{E_{p2} S_{p2}^3}\right)}, \frac{I}{мм}\left(\frac{I}{см}\right) \qquad (I4)$$

2.2.2.2.[X] Коэффициенты системы кожух-решетка и обечайка-фланец камеры:

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{a S_1}}, \quad \frac{I}{мм}\left(\frac{I}{см}\right) \qquad (I5)$$

$$\beta_2 = \frac{1,3}{\sqrt{a S_2}}, \quad \frac{I}{мм}\left(\frac{I}{см}\right) \qquad (I6)$$

2.2.2.3.[X] Жесткость фланцевого соединения при изгибе:

$$K_\varphi = K_{\varphi 1} + K_{\varphi 2} \qquad (I7)$$

где:

$$K_{\varphi 1} = \frac{E_1 h_1^3 B_1}{12 R_1^2} + K_1\left(1 + \frac{\beta_1 h_1}{2}\right), \frac{Н \cdot мм}{мм}\left(\frac{кгс \cdot см}{см}\right) \qquad (I8)$$

$$K_{\varphi 2} = \frac{E_2 h_2^3 B_2}{12 R_2^2} + K_2\left(1 + \frac{\beta_2 h_2}{2}\right), \frac{Н \cdot мм}{мм}\left(\frac{кгс \cdot см}{см}\right) \qquad (I9)$$

$$K_1 = \frac{\beta_1 a E_K S_1^3}{5,5 R_1}, \quad \frac{Н \cdot мм}{мм}\left(\frac{кгс \cdot см}{см}\right) \qquad (20)$$

$$K_2 = \frac{\beta_2 a E_D S_2^3}{5,5 R_2}, \quad \frac{Н \cdot мм}{мм}\left(\frac{кгс \cdot см}{см}\right) \qquad (2I)$$

[X] Коэффициенты $\beta_1, \beta_2, K_{\varphi 1}, K_{\varphi 2}, K_1, K_2, m_1, m_2$ для конструкций по черт.9, рассчитанные для стандартных фланцев по ОСТ 26-427-80 и по ОСТ 26-428-80, приведены в табл. приложения 4.

2.2.2.4. Коэффициенты влияния давления на изгиб фланцев:

$$m_1 = \frac{1+\beta_1 h_1}{2\beta_1^2}, \quad , \text{мм}^2\ (\text{см}^2) \qquad (22)$$

$$m_2 = \frac{1+\beta_2 h_2}{2\beta_2^2}, \quad , \text{мм}^2\ (\text{см}^2) \qquad (23)$$

2.2.2.5. Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения:

$$\beta_1 = \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 K_\varphi R_1} \qquad (24)$$

2.2.2.6. Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края решетки и поддерживающее влияние труб Φ_I, Φ_2, Φ_3, определяются по табл. 2.

Значения Φ_I, Φ_2, Φ_3 определяются по таблице в зависимости от $\omega = \beta a_1$ (25)

Таблица 2

Коэффициенты Φ_I, Φ_2, Φ_3

ω	0	0,5	I,0	I,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Φ_I	2	2,00	2,06	2,28	2,79	3,58	4,50	5,38
Φ_2	0	0,02	0,I9	0,62	I,32	2,I6	2,94	3,59
Φ_3	0	0,I9	0,76	I,65	2,75	3,76	4,65	5,35
ω	4	5	6	7	8	9	I0	$>$ I0
Φ_I	6,I9	7,65	9,08	I0,5I	II,94	I3,36	I4,78	$\sqrt{2}\omega$
Φ_2	4,I3	5,I3	6,I5	7,I7	8,I9	9,20	I0,2I	ω
Φ_3	6,03	7,38	8,8I	I0,24	II,66	I3,08	I4,50	$\sqrt{2}\omega$

2.2.2.7. Значения T_I, T_2 и T_3 определяются по табл. 3 в зависимости от ω и m_n или по формулам:

$$T_I = \Phi_I [m_n + 0,5(1+m_n t)(t-1)] \qquad (26)$$

$$T_2 = \Phi_2 t \qquad (27)$$

$$T_3 = \Phi_3 m_n \qquad (28)$$

где:

$$t = I + I,4\,\omega(m_n - 1) \qquad (29)$$

Таблица 3

m_n	ω													
	0	0,5	I,0	I,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4.0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	I0
							T_I								
I,0	2,00	2,00	2,06	2,28	2,79	3,58	4,50	5,39	6,I9	7,65	9,08	I0,5	II,9	I3,4	I4,8
I,I	2,20	2,35	2,59	3,07	4,02	5,5I	7,39	9,44	II,6	I6,2	2I,6	28,I	35,6	44,3	54,3
I,2	2,40	2,73	3,2I	4,04	5,6I	8,I4	II,5	I5,5	I9,8	30,2	43,4	60,0	80,4	I05	I34
I,3	2,60	3,I4	3,92	5,22	7,64	II,6	I7,I	23,9	3I,6	50,8	76,3	I09	I5I	202	263
I,4	2,80	3,59	4,74	6,65	I0,2	I6,0	24,4	35,0	47,5	79,2	I22	I79	25I	34I	450
I,5	3,00	4,07	5,67	8,35	I3,3	2I,6	33,7	49,3	68,0	II6	I83	273	387	529	703
							T_2								
I,0	0,00	0,02	0,I9	0,62	I,32	2,I6	2,94	3,59	4,I3	5,I3	6,I3	7,I7	8,I9	9,20	I0,2
I,I	0,00	0,02	0,22	0,75	I,69	2,92	4,I8	5,36	6,46	8,75	II,3	I4,2	I7,4	20,9	24,6
I,2	0,00	0,02	0,24	0,88	2,06	3,68	5,43	7,I3	8,79	I2,4	I6,6	2I,3	26,7	32,5	39,0
I,3	0,00	0,02	0,27	I,0I	2,44	4,44	6,67	8,90	II,I	I6,0	2I,8	28,4	35,9	44,2	53,4
I,4	0,00	0,03	0,30	I,I4	2,8I	5,2I	7,9I	I0,7	I3,4	I9,6	27,0	35,5	45,I	55,9	67,8
I,5	0,00	0,03	0,32	I,28	3,I8	5,97	9,I6	I2,4	I5,8	23,2	32,2	42,5	54,4	67,6	82,2
							T_3								
I,0	0,00	0,I9	0,76	I,65	2,75	3,76	4,65	5,36	6,03	7,38	8,8I	I0,2	II,7	I3,I	I4,5
I,I	0,00	0,2I	0,84	I,8I	3,02	4,I4	5,II	5,90	6,63	8,I2	9,69	II,3	I2,8	I4,4	I5,9
I,2	0,00	0,23	0,9I	I,98	3,30	4,5I	5,58	6,43	7,24	8,86	I0,6	I2,3	I4,0	I5,7	I7,4
I,3	0,00	0,25	0,99	2,I4	3,57	4,89	6,04	6,97	7,84	9,59	II,4	I3,3	I5,2	I7,0	I8,8
I,4	0,00	0,27	I,06	2,3I	3,85	5,26	6,5I	7,50	8,44	I0,3	I2,3	I4,3	I6,3	I8,3	20,3
I,5	0,00	0,28	I,I4	2,47	4,I2	5,64	6,97	8,04	9,04	II,I	I3,2	I5,4	I7,5	I9,6	2I,7

2.2.3. Усилия в элементах конструкции.

2.2.3.I. Изгибающий момент и перерезывающая сила, распределенные по краю трубной решетки:

$$M = \left(\frac{a_1}{\beta}\right) \cdot \frac{P_1(T_1 + \rho K_q) - P_0 T_2}{(T_1 + \rho K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2}, \quad \frac{Н \cdot мм}{мм} \left(\frac{кгс \cdot см}{см}\right) \quad (30)$$

$$Q = a_1 \frac{P_0(T_3 + \rho_1) - P_1 T_2}{(T_1 + \rho K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} \quad \frac{Н}{мм} \left(\frac{кгс}{см}\right) \quad (31)$$

где $$P_1 = \frac{K_y}{\beta K_\varphi}\left(m_1 P_M - m_2 P_T\right), \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (32)$$

2.2.3.2. Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

$$M_a = M + (a - a_1)Q, \text{ Н·мм/мм (кгс·см/см)} \quad (33)$$

$$Q_a = m_n Q, \quad \text{Н/мм (кгс/см)} \quad (34)$$

2.2.3.3.* Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

$$N_T = \frac{\pi a_1}{i}\left[\left(\eta_M P_M - \eta_T P_T\right)a_1 + \varphi_1 Q_a + \varphi_2 \beta M_a\right], \text{ Н (кгс)} \quad (35)$$

$$M_T = \frac{E_T J_T \beta}{K_y a_1 \ell_{пр}}\left(\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a\right), \text{ Н·мм (кгс·см)} \quad (36)$$

2.2.3.4. Усилия в кожухе

$$Q_K = \frac{a}{2} P_T - Q, \text{ Н/мм (кгс/см)} \quad (37)$$

$$M_K = \frac{K_1}{\rho_1 K_\varphi \beta}\left(T_2 Q + T_3 \beta M\right) - \frac{P_M}{2\beta_1^2}, \text{ Н·мм/мм (кгс·см/см)} \quad (38)$$

$$F = \pi D Q_K, \text{ Н (кгс)} \quad (39)$$

$\ell_{пр}$ определяется по формулам, приведенным в п. 2.2.7.4.

2.2.4. Расчетные напряжения в элементах конструкции.

2.2.4.I. Расчетные напряжения в трубных решетках.

Напряжение в трубной решетке в месте соединения с корпусом:

- изгибные: $\sigma_{p1} = \frac{6|M|}{(S_{1p}-C)^2}$, МПа (кгс/см^2): (40)

- касательные: $\tau_{p1} = \frac{|Q|}{(S_{1p}-C)}$, МПа (кгс/см^2) (41)

Напряжение в перфорированной части трубной решетки:

- изгибные: $\sigma_{p2} = \frac{6M_{max}}{\varphi_p(S_p-C)^2}$, МПа (кгс/см^2) (42)

- касательные: $\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{\varphi_p(S_p-C)}$, МПа (кгс/см^2) (43)

здесь: M_{max} - максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки

При $-I,0 \leqslant \frac{\beta M_a}{Q_a} \leqslant I,0$ - M_{max} определяется по формуле:

$$M_{max} = A\frac{|Q_a|}{\beta}$$, Н.мм (кгс.см) (44)

где: А - коэффициент, определяемый по табл. 4, в зависимости от $m = \frac{\beta M_a}{Q_a}$

При $\frac{\beta M_a}{Q_a} < -I,0$ и $\frac{\beta M_a}{Q_a} > I,0$ - M_{max} определяется по формуле:

$$M_{max} = B|M_a|$$, Н.мм (кгс.см) (45)

где: В - коэффициент, определяемый по табл. 5, в зависимости от $n = Q_a/\beta M_a$

Таблица 4

Коэффициент А

m	ω							
	0,5	I,0	I,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥I0
-I,0	0,726	0,754	0,783	0,8I3	0,858	0,878	0,885	0,898
-0,9	0,656	0,683	0,7I2	0,740	0,78I	0,797	0,802	0,8II
-0,8	0,586	0,6I3	0,64I	0,668	0,705	0,7I6	0,720	0,724
-0,7	0,5I6	0,543	0,570	0,596	0,628	0,636	0,637	0,637
-0,6	0,446	0,473	0,500	0,524	0,55I	0,555	0,554	0,550
-0,5	0,376	0,403	0,429	0,45I	0,474	0,474	0,47I	0,463
-0,4	0,306	0,333	0,358	0,379	0,397	0,393	0,388	0,376
-0,3	0,236	0,262	0,287	0,307	0,320	0,3I3	0,305	0,289
-0,2	0,I66	0,I92	0,274	0,355	0,305	0,273	0,289	0,308
-0,I	0,096	0,2I6	0,338	0,408	0,337	0,3I9	0,338	0,359
0	0,I44	0,284	0,402	0,46I	0,376	0,370	0,392	0,4I4
0,I	0,2I4	0,353	0,466	0,5I4	0,420	0,426	0,450	0,474
0,2	0,284	0,422	0,530	0,567	0,470	0,485	0,5II	0,537
0,3	0,354	0,49I	0,593	0,620	0,523	0,546	0,575	0,603
0,4	0,424	0,559	0,657	0,672	0,580	0,6I0	0,64I	0,67I
0,5	0,494	0,628	0,72I	0,725	0,639	0,677	0,709	0,742
0,6	0,564	0,697	0,785	0,778	0,70I	0,745	0,779	0,8I4
0,7	0,634	0,766	0,849	0,83I	0,765	0,8I4	0,85I	0,888
0,8	0,704	0,834	0,9I3	0,884	0,830	0,885	0,923	0,963
0,9	0,773	0,903	0,977	0,937	0,896	0,956	0,997	I,040
I	0,843	0,972	I,04I	0,99I	0,964	I,030	I,07I	I,II7

Таблица 5

Коэффициенты B

n	ω							
	0,5	I,0	I,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥I0
I,0	0,843	0,972	I,04I	0,99I	0,964	I,029	I,07I	I,II7
0,9	0,829	0,943	I,000	0,949	0,940	I,000	I,040	I,083
0,8	0,8I5	0,9I4	0,960	0,908	0,9I0	0,97I	I,009	I,05I
0,7	0,800	0,886	0,920	0,87I	0,884	0,944	0,979	I,020
0,6	0,786	0,858	0,880	0,836	0,860	0,9I8	0,95I	0,990
0,5	0,77I	0,829	0,840	0,804	0,839	0,894	0,925	0,963
0,4	0,757	0,80I	0,799	0,777	0,8I9	0,87I	0,900	0,938
0,3	0,742	0,773	0,76I	0,754	0,802	0,852	0,878	0,9I5
0,2	0,728	0,744	0,732	0,737	0,789	0,835	0,860	0,898
0,I	0,7I4	0,7I6	0,7I4	0,727	0,780	0,823	0,846	0,882
0	0,700	0,702	0,709	0,725	0,776	0,8I6	0,837	0,874
-0,I	0,703	0,707	0,7I6	0,732	0,778	0,8I5	0,835	0,873
-0,2	0,705	0,7I2	0,723	0,74I	0,787	0,82I	0,84I	0,876
-0,3	0,708	0,7I7	0,730	0,750	0,796	0,828	0,846	0,879
-0,4	0,7II	0,722	0,738	0,759	0,805	0,835	0,852	0,882
-0,5	0,7I3	0,728	0,745	0,768	0,8I4	0,842	0,857	0,884
-0,6	0,7I6	0,733	0,753	0,777	0,823	0,850	0,863	0,887
-0,7	0,7I8	0,738	0,760	0,786	0,832	0,857	0,869	0,890
-0,8	0,72I	0,743	0,768	0,795	0,84I	0,864	0,874	0,893
-0,9	0,723	0,748	0,775	0,804	0,849	0,87I	0,880	0,895
-I,0	0,726	0,754	0,783	0,8I3	0,858	0,878	0,885	0,898

2.2.4.2. Расчетные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке (для конструкций по черт. 9а, б, в, д, е):

- в меридиональном направлении:

  - мембранные:

$$\sigma_{мх} = \frac{|Q_к|}{(s_1 - c_к)}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (46)$$

  - изгибные:

$$\sigma_{их} = \frac{6|M_к|}{(s_1 - c_к)^2}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (47)$$

- в окружном направлении:

  - мембранные:

$$\sigma_{мφ} = \frac{|P_м| a}{(s_1 - c_к)}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (48)$$

  - изгибные:

$$\sigma_{иφ} = 0{,}3\sigma_{их}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (49)$$

2.2.4.3. Расчетные напряжения в трубах

- в осевом направлении:

$$\sigma_{1т} = \frac{|N_т|}{\pi(d_т - s_т)s_т}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (50)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1т} + \frac{d_т|M_т|}{2J_т}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (51)$$

- окружном направлении:

$$\sigma_{2т} = \frac{(d_т + s_т)\max\{|P_т|; |P_м|; |P_т - P_м|\}}{2 s_т}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (52)$$

2.2.5. Расчет трубных решеток на прочность и жесткость

2.2.5.I. Условие статической прочности трубной решетки:

$$\max\{\tau_{p1};\ \tau_{p2}\} \leq 0{,}5[\sigma]_p \qquad (53)$$

2.2.5.2. Проверка трубной решетки на малоцикловую прочность производится по ГОСТ 25859-83.

В случае, если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается производить проверку на малоцикловую прочность по Приложению 3.

При проверке трубной решетки на малоцикловую прочность следует принимать:

- в месте соединения с кожухом:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p1};\ \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0 \qquad (54)$$

$K\sigma$ - по черт. 9

- в перфорированной части

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p2};\ \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0;\ K\sigma = I \qquad (55)$$

2.2.5.3. Прочность трубных решеток многоходовых по трубному пространству аппаратов в зоне паза под перегородку проверяется по п. I.6. При этом следует принимать:

$$S_p^p = (S_p - c)\frac{\sigma_{p2}}{2[\sigma_a]}, \text{ мм (см)} \qquad (56)$$

2.2.5.4. Проверка жесткости трубных решеток.

Проверка производится в случаях, когда к жесткости трубных решеток предъявляются какие-либо дополнительные требования, например; для аппаратов со стекающей пленкой, с перегородками по трубному пространству - в случае недопустимости перетоков между ходами.

Условие жесткости:

$$w = \frac{1,2}{K_y q_1} \left| T_1 Q + T_2 \beta M \right| \leq [w] \qquad (57)$$

Рекомендуемые максимальные величины прогибов трубных решеток $[w]$, мм (см), в зависимости от диаметра аппарата, приведены в табл.6.

Таблица 6

D	D≤ 0,6 м	0,6м< D ≤I м	I м<D≤2 м	D > 2 м
[w]	0,7мм(0,07см)	0,9мм(0,09см)	I,Iмм(0,IIсм)	I,2мм(0,I2см)

2.2.6. Расчет кожуха на прочность и устойчивость.

Проверка прочности кожуха в месте присоединения к решетке производится только для конструкций по черт. 9а, б, в, д, е.

2.2.6.I. Условия статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

$$\sigma_{мх} \leq 1,3 [\sigma]_к \qquad (58)$$

2.2.6.2. Проверка кожуха в месте присоединения к решетке на малоцикловую прочность производится по ГОСТ 25859-83. В случае, если в расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается производить проверку на малоцикловую прочность по Приложению 3.

При проверке кожуха на малоцикловую прочность следует принимать:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_{мх} + \sigma_{их}; \quad \Delta\sigma_2 = \sigma_{м\varphi} + \sigma_{и\varphi}; \quad \Delta\sigma_3 = 0 \qquad (59)$$

K_σ - по черт. 9

2.2.6.3. Если условие прочности кожуха в месте соединения с решеткой по п. 2.2.6.1. или п. 2.2.6.2. не выполняется, можно установить переходной пояс увеличенной толщины длиной не менее $2\sqrt{D S_1}$.

2.2.6.4. В случае, если осевая сила в кожухе $F < 0$, следует провести проверку кожуха на общую устойчивость от действия сжимающей силы F по ГОСТ 14249-80.

2.2.7. Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке.

2.2.7.1. Условие статической прочности труб:

$$\max\{\sigma_{1T}; \sigma_{2T}\} \leq [\sigma]_T; \qquad (60)$$

2.2.7.2. Проверка труб на малоцикловую прочность производится по ГОСТ 25859-83. В случае, если при расчете должна учитываться ползучесть материала, допускается производить проверку на малоцикловую прочность по Приложению 3.

При проверке труб на малоцикловую прочность следует принимать:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_1; \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0; \quad K_\sigma = 1 \qquad (61)$$

2.2.7.3. Проверка труб на устойчивость производиться в случае, если $N_T < 0$. Условие устойчивости:

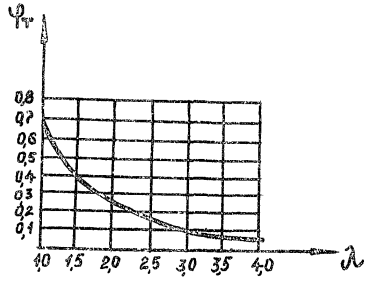
$$\sigma_{1T} \leq \varphi_T [\sigma]_T; \qquad (62)$$

где: φ_T – коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе определяется по черт. 10 в зависимости от λ.

$$\lambda = 1{,}3\sqrt{\frac{[\sigma]_T}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - S_T)} \qquad (63)$$

где: $l_R = l$ – для аппаратов без перегородок в кожухе.

$l_R = max\{l_{2R}; 0{,}7 l_{1R}\}$



Черт. 10

2.2.7.4. Проверка жесткости труб.

Проверка производится в случаях, когда к жесткости труб предъявляются какие-либо дополнительные требования, например, для аппаратов со стекающей пленкой. Проверка жесткости труб производиться только при $N_T < 0$.

Прогиб трубы:

$$y = A_y \frac{|M_T|}{|N_T|} \quad \text{, мм (см)} \qquad (64)$$

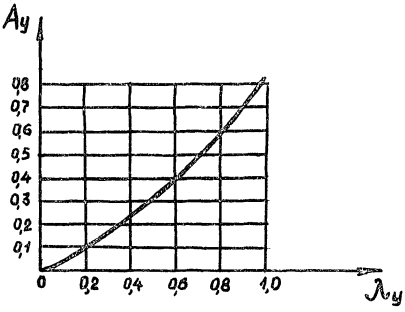
здесь: A_y – коэффициент, определяемый по графику черт. 11 в зависимости от λ_y:

$$\lambda_y = \frac{|N_T| l_{пр}^2}{E_T J_T} \qquad (65)$$

где:

$l_{пр} = l$ - для аппаратов без перегородок в кожуже.

$l_{пр} = l_{1R}/3$ - для аппаратов с перегородками.



Черт. II

Во всех случаях прогиб трубы не должен превышать зазор между трубами в пучке и приводить к их соприкосновению.

2.2.7.5. Проверка прочности крепления трубы в решетке.

В случае крепления труб в решетке с помощью развальцовки, должно выполняться условие:

$$|N_т| \leqslant [N]_{тр} \qquad (66)$$

Допускаемая нагрузка на соединение трубы с решеткой $[N]_{тр}$ определяется на основании результатов испытаний или по действующей нормативно-технической документации.

При отсутствии данных о прочности вальцовочного соединения, допускается принимать величину $[N]_{тр}$ по приложению 5.

В случае крепления труб к решетке способом приварки или приварки с подвальцовкой, должно выполняться условие:

$$\tau = \frac{|N_T| d_T + 4|M_T|}{\pi d_T^2 \delta} \leqslant \varphi_c \min\{[\sigma]_T; [\sigma]_p\} \quad (67)$$

где:

$$\varphi_c = \min\{0{,}5; (0{,}95 - 0{,}2 \lg N)\}$$

МПа (кгс/см^2) (68)

В случае крепления труб к решетке способом развальцовки с обваркой, должно выполняться условие:

$$\frac{\varphi_c \min\{[\sigma]_T, [\sigma]_p\}}{\tau} + 0{,}6 \frac{[N]_{TP}}{|N_T|} \geqslant 1 \quad (69)$$

3. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С ПЛАВАЮЩЕЙ ГОЛОВКОЙ, КОМПЕНСАТОРОМ НА ПЛАВАЮЩЕЙ ГОЛОВКЕ И U - ОБРАЗНЫМИ ТРУБАМИ

3.1. Толщина трубной решетки в зоне перфорации определяется по формуле:

$$S_p \geqslant S_p^P + C \quad (70)$$

где:

$$S_p^P = \frac{D_{cn}}{4{,}2} \sqrt{\frac{p_R}{\varphi_E [\sigma]_p}}, \text{ мм(см)} \quad (71)$$

3.2. В случае, если к жесткости трубных решеток аппаратов с U - образными трубами предъявляются специальные требования (недопустим остаточный прогиб решетки), расчетную толщину следует

определять по формуле:

$$S_p^p = 0{,}82 a_1 \sqrt{\frac{P_R}{\varphi_E [\sigma]_p}} \max\left\{1; \sqrt{\frac{2a_1 + 1{,}5\frac{D_{cn}}{a_1}(D_{cn} - 2a_1)}{D_{cn} - 2a_1(1-\varphi_E)}\varphi_E + \frac{P_R}{\varphi_E [\sigma]_p}}\right\}$$

мм (см) (72)

3.3. Эффективный коэффициент ослабления φ_E определяется по формуле:

$$\varphi_E = 1 - \frac{d_E}{t} \qquad (73)$$

где:

$d_E = d_o - 2S_T$ - для решеток с трубами, закрепленными на всю толщину решетки;

$d_E = d_o - S_T$ - для решеток с трубами, закрепленными в части толщины решетки;

$d_E = d_o$ - для стальных решеток с трубами из цветных металлов.

3.4. Толщина решетки в месте уплотнения под кольцевую прокладку должна отвечать условию:

$$S_{pn} \geqslant \max\left\{0{,}71\sqrt{\frac{P_R}{[\sigma]_p}(D_{cn} - D_B)}; 0{,}5 D_{cn}\frac{P_R}{[\sigma]_p}\right\} + C,$$

, мм(см) (74)

4. ПЕРЕГОРОДКИ МЕЖДУ ХОДАМИ ПО ТРУБНОМУ ПРОСТРАНСТВУ

Толщина перегородки должна отвечать условию:

$$S_{пер.} \geq 0{,}71\, B_{пер} \sqrt{\frac{\Delta P \cdot f_n}{[\sigma]_n}} + C_n \qquad (75)$$

где:

$$f_n = \frac{1}{1 + \frac{B_{пер}}{L_{пер}} + \left(\frac{B_{пер}}{L_{пер}}\right)^2} \qquad (76)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Обязательное

Определение коэффициентов изменения жесткости K^{*}_{q} и K^{*}_{p} для аппаратов с компенсатором или расширителем на кожухе.

Коэффициент K^{*}_{q} определяется как отношение осевого перемещения компенсатора (расширителя) при действии растягивающей силы к осевому перемещению краев корпуса межтрубного пространства без компенсатора (расширителя) от действия той же силы.

Коэффициент K^{*}_{p} определяется как отношение осевого перемещения компенсатора (расширителя) при действии внутреннего давления к осевому перемещению краев корпуса межтрубного пространства без компенсатора (расширителя) от действия того же давления.

Коэффициенты K^{*}_{q} и K^{*}_{p} для аппаратов с компенсатором на расширителе допускается определять, как суммы соответствующих величин для аппаратов с компенсатором и расширителем.

При определении Коэффициентов K^{*}_{q} и K^{*}_{p} не учитывают влияние трубного пучка и равнодействующую внутреннего давления, действующую на края корпуса в осевом направлении.

Допускается определять значения коэффициентов K^{*}_{q} и K^{*}_{p} с помощью численных методов теории пластин и оболочек.

Для аппаратов с компенсатором на кожухе коэффициенты K^{*}_{q} и K^{*}_{p} могут быть определены по формулам:

$$K_q^{*} = \frac{\pi a E_к S_к}{l \cdot K_к}$$

$$K_p^{*} = \frac{\pi (D_к^2 - d_к^2) E_к \cdot S_к}{4{,}8\, l_a K_к}$$

Жесткость компенсатора $K_к$ следует определять по действующей нормативно-технической документации.

Для ненормализованных компенсаторов допускается определять осевую жесткость по формуле:

$$K_к = \frac{E_{ком} \cdot \delta_к^3}{n_{ком} d_к^2} A_к \quad , \text{Н/мм (кгс/см)}$$

где:

$$A_к = \frac{6,8 \beta_к (1+\beta_к)}{c_f (1-\beta_к)^3}$$

$$\beta_к = \frac{d_к}{D_к}$$

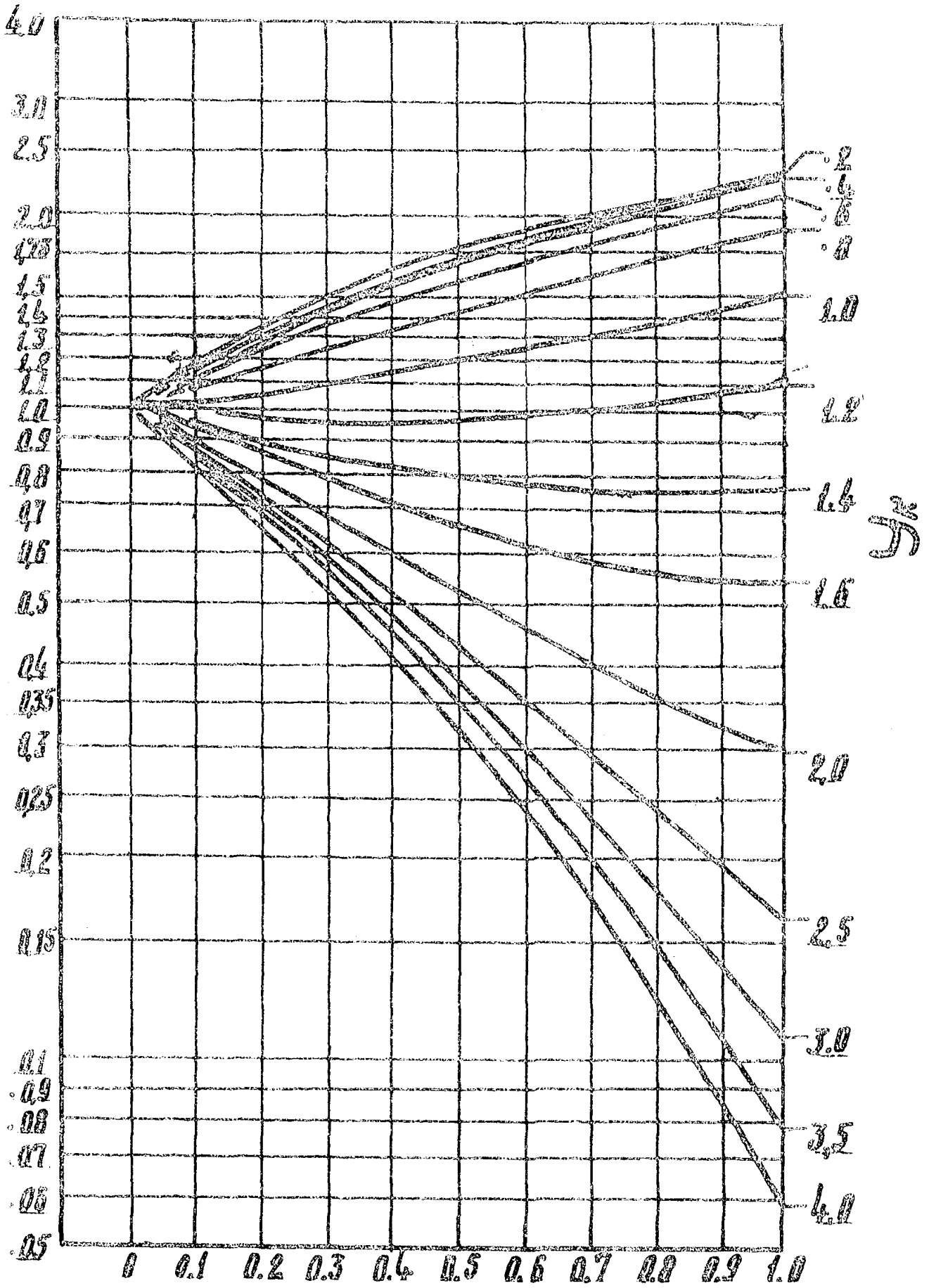
c_f - определяется по графику черт. 12 в зависимости от

$$X_к = \frac{4 r_к \beta_к}{d_к (1-\beta_к)} \quad \text{и} \quad Y_к = \frac{2,57 r_к}{\sqrt{d_к \delta_к (1+\frac{1}{\beta_к})}}$$

Для аппаратов с расширителем на конусе при $\beta_0 = 90^0$ коэффициенты K_{φ}^{**} и K_p^{**} могут быть определены по формулам:

$$K_\varphi^* = \frac{a S_к}{l} \left(\frac{\pi E_к}{K_{рас.}} + \frac{l_р}{\delta_р D_1} \right)$$

$$K_p^* = \frac{a S_к}{l \beta_р^2} \left\{ \frac{(1-\beta_р^2)}{4,8} \left[\frac{\pi E_к}{K_{рас.}} + \frac{l_р}{\delta_р D_1} \right] - 0,5 \frac{\pi l_р}{\delta_р D_1} \right\}$$


4.0
3.0
2.5
2.0
1.8
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
1.0
1.2
1.4
1.6
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
$\bar{\chi}_{\kappa\kappa}$
$\bar{\chi}_{\kappa\kappa}$

Черт. 28.

где:

$$\beta_p = \frac{D}{D_1}$$

$$K_{рас.} = \frac{E_к \delta_р^3}{D^2} A_р$$

$A_р$ - определяется по табл. 7, в зависимости от $\beta_р$

Таблица 7

Коэффициенты $A_р$

$\beta_р$	0,5I	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58
$A_р$	23,4	26,0	29,0	32,3	35,9	40,I	44,8	50,0
$\beta_р$	0,59	0,60	0,6I	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66
$A_р$	56,0	62,7	70,3	78,9	88,8	I00	II3	I28
$\beta_р$	0,67	0,68	0,69	0,70	0,7I	0,72	0,73	0,74
$A_р$	I45	I64	I87	2I4	245	28I	324	375
$\beta_р$	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,8I	0,82
$A_р$	436	509	597	704	834	996	II97	I45I
$\beta_р$	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9
$A_р$	I770	2I90	2740	3460	4450	5820	7770	I0600

Для аппаратов с расширителем на кожухе при $15^\circ \leqslant \beta_o \leqslant 60^\circ$ коэффициенты $K^*_{q_v}$ и K^*_p могут быть определены по формулам:

$$K_q^* = \frac{a\left(A_{p1} + A_{p2}\sqrt{D_1/S_к}\right) - 0{,}5\left(1-\beta_p\right)L_p}{\ell}$$

$$K_p^* = \frac{\left(B_{p1} + B_{p2}\sqrt{D_1/S_к}\right)a}{\ell}$$

Коэффициенты A_{p1}, A_{p2}, B_{p1} и B_{p2} определяются по табл.8, в зависимости от β_o и β_p

Вспомогательные коэффициенты, используемые при расчете теплообменных аппаратов с расширителем на конусе.

Таблица 8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,35	I5°	8,695	0,204	-I,452	0,488
	30°	5,60	0,899	-7,650	2,I44
	45°	5,939	2,436	-20,866	5,8I3
	60°	9,698	6,I45	-60,596	I4,664
0,36	I5°	8,462	0,205	-I,525	0,457
	30°	5,449	0,903	-7,278	2,0I0
	45°	5,779	2,449	-I9,675	5,450
	60°	9,438	6,I77	-56,996	I3,748
0,37	I5°	8,235	0,207	-I,586	0,429
	30°	5,303	0,908	-6,932	I,887
	45°	5,624	2,46I	-I8,575	5,II6
	60°	9,I85	6,209	-53,677	I2,906
0,38	I5°	8,0I4	0,208	-I,636	0,403
	30°	5,I60	0,9I3	-6,608	I,774
	45°	5,473	2,474	-I7,557	4,808
	60°	8,938	6,24I	-50,609	I2,I29
0,39	I5°	7,799	0,209	-I,677	0,380
	30°	5,022	0,9I7	-6,306	I,669
	45°	5,327	2,486	-I6,6I2	4,524
	60°	8,698	6,272	-47,768	II,4I2

Продолжение табл. 8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
	I5°	7,589	0,2I0	- I,709	0,357
	30°	4,887	0,922	- 6,022	I,572
0,40	45°	5,I83	2,498	-I5,733	4,260
	60°	8,464	6,303	-45,I30	I0,747
	I5°	7,384	0,2II	- I,733	0,337
	30°	4,755	0,926	- 5,755	I,48I
0,4I	45°	5,044	2,5I0	-I4,9I4	4,0I6
	60°	8,236	6,333	-42,678	I0,I3I
	I5°	7,I85	0,2I2	- I,75I	0,3I8
	30°	4,627	0,930	- 5,504	I,398
0,42	45°	4,907	2,522	-I4,I49	3,789
	60°	8,0I4	6,363	-40,393	9,558
	I5°	6,990	0,2I3	- I,762	0,300
	300	4,50I	0,935	- 5,267	I,320
0,43	45°	4,774	2,534	-I3,434	3,577
	60°	7,796	6,393	-38,260	9,024
	I5°	6,800	0,2I4	- I,768	0,284
	30°	4,379	0,939	- 5,043	I,247
0,44	45°	4,644	2,546	-I2,764	3,380
	60°	7,584	6,422	-36,266	8,527
	I5°	6,6I3	0,2I5	- I,770	0,268
	30°	4,259	0,943	- 4,83I	I,I79
0,45	45°	4,5I7	2,557	-I2,I35	3,I96
	60°	7,376	6,45I	-34,399	8,062

Продолжение табл.8

β_{op}	β_a	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
	I5°	6,43I	0,2I6	- I,767	0,254
	30°	4,I4I	0,947	- 4,63I	I,II5
0,46	45°	4,393	2,568	-II,544	3,023
	60°	7,I73	6,479	-32,647	7,627
	I5°	6,253	0,2I6	- I,760	0,240
	30°	4,027	0,952	- 4,440	I,056
0,47	45°	4,27I	2,580	-I0,987	2,862
	60°	6,975	6,508	-3I,00I	7,220
	I5°	6,079	0,2I7	- I,750	0,227
	30°	3,9I4	0,956	- 4,258	I,000
0,48	45°	4,I52	2,59I	-I0,463	2,7II
	60°	6,780	6,536	-29,453	6,838
	I5°	5,908	0,2I8	- I,737	0,2I6
	30°	3,805	0,960	- 4,085	0,947
0,49	45°	4,035	2,602	- 9,967	2,568
	60°	6,590	6,563	-27,995	6,479
	I5°	5,74I	0,2I9	- I,72I	0,204
	30°	3,697	0,964	- 3,920	0,898
0,50	45°	3,92I	2,6I3	- 9,499	2,434
	60°	6,403	6,59I	-20,6I9	6,I4I
	I5°	5,577	0,220	- I,702	0,I94
	30°	3,59I	0,968	- 3,763	0,852
0,5I	45°	3,809	2,623	- 9,055	2,306
	60°	6,220	6,6I8	-25,320	5,823

Продолжение табл. 8

$\beta_р$	$\beta_о$	$A_{р1}$	$A_{р2}$	$B_{р1}$	$B_{р2}$
	I5°	5,4I6	0,22I	- I,682	0,I84
	30°	3,488	0,972	- 3,6I2	0,808
0,52	45°	3,699	2,634	- 8,635	2,I90
	60°	6,04I	6,645	-24,09I	5,524
	I5°	5,258	0,222	- I,659	0,I74
	30°	3,386	0,976	- 3,468	0,766
0,53	45°	3,59I	2,645	- 8,236	2,077
	60°	5,865	6,672	-22,927	5,24I
	I5°	5,I03	0,223	- I,634	0,I65
	30°	3,286	0,979	- 3,330	0,727
0,54	45°	3,486	2,655	- 7,856	I,97I
	60°	5,692	6,698	-2I,824	4,973
	I5°	4,95I	0,224	- I,608	0,I57
	30°	3,I88	0,983	- 3,I97	0,690
0,55	45°	3,382	2,665	- 7,496	I,87I
	60°	5,523	6,724	-20,778	4,720
	I5°	4,802	0,225	- I,58I	0,I49
	30°	3,092	0,987	- 3,070	0,655
0,56	45°	3,290	2,676	- 7,I52	I,776
	60°	5,356	6,750	-I9,784	4,48I
	I5°	4,656	0,225	- I,552	0,I4I
	30°	2,998	0,99I	- 2,947	0,622
0,57	45°	3,I80	2,686	- 6,825	I,686
	60°	5,I93	6,776	-I8,839	4,254

Продолжение табл. 8

$\beta_{вр}$	$\beta_{вс}$	$A_{р1}$	$A_{р2}$	$B_{р1}$	$B_{р2}$
	I5°	4,5I2	0,226	- I,522	0,I34
	30°	2,905	0,995	- 2,829	0,59I
0,58	45°	3,08I	2,696	- 6,5I2	I,60I
	60°	5,032	6,80I	-I7,939	4,038
	I5°	4,370	0,227	- I,49I	0,I28
	30°	2,8I4	0,998	- 2,7I6	0,56I
0,59	45°	2,985	2,706	- 6,2I4	I,520
	60°	4,874	6,826	-I7,082	3,834
	I5°	4,23I	0,228	- I,459	0,I2I
	30°	2,724	I,002	- 2,606	0,532
0,60	45°	2,890	2,7I6	- 5,929	I,443
	60°	4,7I9	6,85I	-I6,264	3,639
	I5°	4,094	0,229	- I,426	0,II5
	30°	2,636	I,006	- 2,500	0,505
0,6I	45°	2,796	2,726	- 5,656	I,369
	60°	4,566	6,876	-I5,484	3,454
	I5°	3,959	0,230	- I,393	0,I09
	30°	2,550	I,009	- 2,398	0,479
0,62	45°	2,704	2,736	- 5,394	I,300
	60°	4,4I6	6,90I	-I4,739	3,278
	I5°	3,827	0,230	- I,359	0,I03
	30°	2,464	I,0I3	- 2,299	0,455
0,63	45°	2,6I4	2,745	- 5,I44	I,233
	60°	4,268	6,925	-I4,026	3,III

Продолжение табл8

$\beta_р$	$\beta_о$	$A_{р1}$	$A_{р2}$	$B_{р1}$	$B_{р2}$
	I5°	3,696	0,23I	- I,324	0,098
	30°	2,380	I,0I6	- 2,204	0,43I
0,64	45°	2,525	2,755	- 4,903	I,I70
	60°	4,I23	6,950	-I3,344	2,95I
	I5°	3,568	0,232	- I,289	0,093
	30°	2,298	I,020	- 2,III	0,409
0,65	45°	2,437	2,764	- 4,672	I,I09
	60°	3,979	6,974	-I2,69I	2,798
	I5°	3,44I	0,233	- I,253	0,088
	30°	2,2I6	I,023	- 2,02I	0,388
0,66	45°	2,35I	2,774	- 4,45I	I,05I
	60°	3,838	6,997	-I2,065	2,652
	I5°	3,3I7	0,234	- I,2I7	0,084
	30°	2,I36	I,027	- I,935	0,367
0,67	45°	2,265	2,783	- 4,237	0,996
	60°:	3,699	7,02I	-II,465	2,5I3
	I5°	3,I94	0,234	- I,I8I	0,079
	30°	2,057	I,030	- I,850	0,348
0,68	45°	2,I82	2,792	- 4,032	0,943
	60°	3,563	7,045	-I0,889	2,380

Продолжение табл.8

$\beta_р$	$\beta_с$	$A_{р1}$	$A_{р2}$	$B_{р1}$	$B_{р2}$
	I5°	3,073	0,235	- I,I44	0,075
	30°	I,979	I,034	- I,768	0,329
0,69	45°	2,099	2,802	- 3,834	0,893
	60°	3,428	7,068	-I0,336	2,253
	I5°	2,954	0,236	- I,I07	0,07I
	30°	I,902	I,037	- I,689	0,3I2
0,70	45°	2,0I8	2,8II	- 3,644	0,845
	60°	3,295	7,09I	- 9,804	2,I3I
	I5°	2,837	0,237	- I,070	0,067
	30°	I,827	I,040	- I,6II	0,294
0,7I	45°	I,937	2,820	- 3,460	0,798
	60°	3,I64	7,II4	- 9,293	2,0I4
	I5°	2,72I	0,237	- I,033	0,063
	30°	I,752	I,044	- I,536	0,278
0,72	45°	I,858	2,829	- 3,283	0,754
	60°	3,035	7,I37	- 8,80I	I,902
	I5°	2,606	0,238	- 0,995	0,060
	30°	I,678	I,047	- I,463	0,262
0,73	45°	I,780	2,838	- 3,II2	0,7II
	60°	2,907	7,I60	- 8,327	I,794
	I5°	2,494	0,239	- 0,958	0,056
	30°	I,606	I,050	- I,39I	0,247
0,74	45°	I,703	2,847	- 2,946	0,670
	60°	2,782	7,I82	- 7,870	I,69I

Продолжение табл. 8

β_p	β_0	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
	I5°	2,383	0,240	- 0,920	0,053
	30°	I,534	I,054	- I,322	0,233
0,75	45°	I,627	2,856	- 2,786	0,63I
	60°	2,658	7,204	- 7,430	I,592
	I5°	2,273	0,240	- 0,882	0,050
	30°	I,464	I,057	- I,254	0,2I9
0,76	45°	I,552	2,865	- 2,632	0,593
	60°	2,535	7,227	- 7,005	I,497
	I5°	2,I65	0,24I	- 0,845	0,047
	30°	I,394	I,060	- I,I88	0,206
0,77	45°	I,479	2,873	- 2,482	0,557
	60°	2,4I4	7,249	- 6,595	I,406
	I5°	2,058	0,242	- 0,807	0,044
	30°	I,325	I,063	- I,I23	0,I93
0,78	45°	I,406	2,882	- 2,337	0,522
	60°	2,295	7,27I	- 6,I99	I,3I8
	I5°	I,952	0,243	- 0,769	0,04I
	30°	I,257	I,066	- I,060	0,I80
0,79	45°	I,333	2,89I	- 2,I97	0,489
	60°	2,I78	7,292	- 5,8I7	I,233
	I5°	I,848	0,243	- 0,732	0,038
	30°	I,I90	I,070	- 0,998	0,I68
0,80	45°	I,262	2,899	- 2,060	0,456
	60°	2,06I	7,3I4	- 5,447	I,I5I

Продолжение табл. 8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
	I5°	I,745	0,244	- 0,694	0,036
	30°	I,I24	I,073	- 0,938	0,I57
0,8I	45°	I,I92	2,908	- I,928	0,425
	60°	I,947	7,336	- 5,090	I,073
	I5°	I,644	0,245	- 0,656	0,033
	30°	I,058	I,076	- 0,879	0,I46
0,82	45°	I,I23	2,9I6	- I,800	0,395
	60°	I,833	7,357	- 4,743	0,997
	I5°	I,543	0,245	- 0,6I9	0,03I
	30°	0,994	I,079	- 0,822	0,I35
0,83	45°	I,054	2,925	- I,676	0,366
	60°	I,72I	7,378	- 4,408	0,924
	I5°	I,444	0,246	- 0,58I	0,028
	30°	0,930	I,082	- 0,766	0,I25
0,84	45°	0,986	2,933	- I,555	0,339
	60°	I,6II	7,399	- 4,084	0,854
	I5°	I,346	0,247	- 0,544	0,026
	30°	0,867	I,085	- 0,7I0	0,II5
0,85	45°	0,9I9	2,94I	- I,437	0,3I2
	60°	I,50I	7,420	- 3,769	0,786

Продолжение табл. 8

β_p	β_0	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,86	I5°	I,249	0,248	-0,507	0,024
	30°	0,804	I,088	-0,656	0,I05
	45°	0,853	2,950	-I,323	0,286
	60°	I,393	7,44I	-3,464	0,72I
0,87	I5°	I,I53	0,248	-0,470	0,022
	30°	0,743	I,09I	-0,604	0,098
	45°	0,788	2,958	-I,2I2	0,26I
	60°	I,286	7,462	-3,I68	0,657

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Обязательное

Упрощенный расчет элементов теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе.

Толщина трубной решетки:

$$S_p \geqslant S_p^p + C$$

где:

$$S_p^p = \frac{f_1^* S_к}{\eta_т - \eta_м}$$

f_1^* - определяется по черт. I3 в зависимости от A^I и B^I:

$$A' = \frac{|P_0|}{2[\sigma]_a K_q \varphi_p}$$

$$B' = \frac{\psi_0 \ell}{S_к}$$

Осевое усилие в кожухе:

$$F = \pi a^2 \left(P_т - \frac{P_0}{1+\beta K_q}\right)$$

При $F < 0$ кожух проверяется на устойчивость по ГОСТ I4249-80.

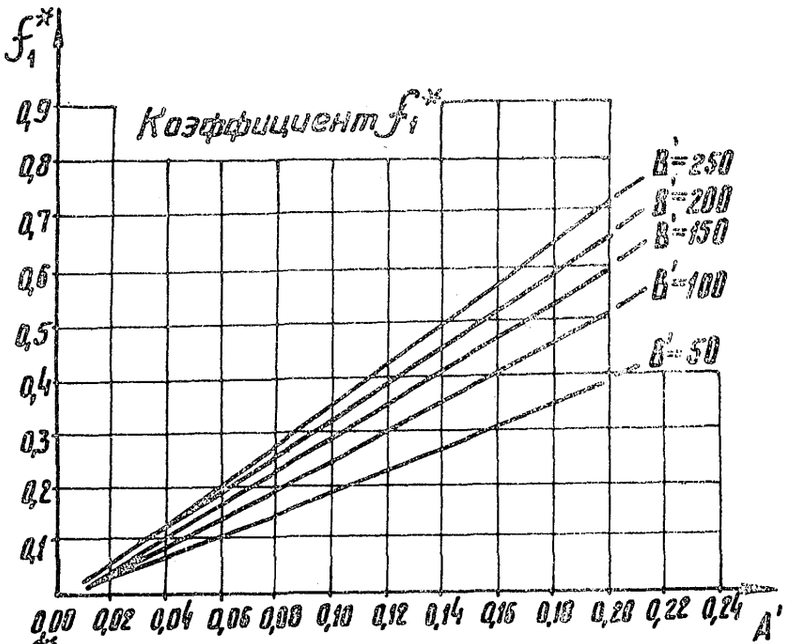
Осевое усилие в трубе:

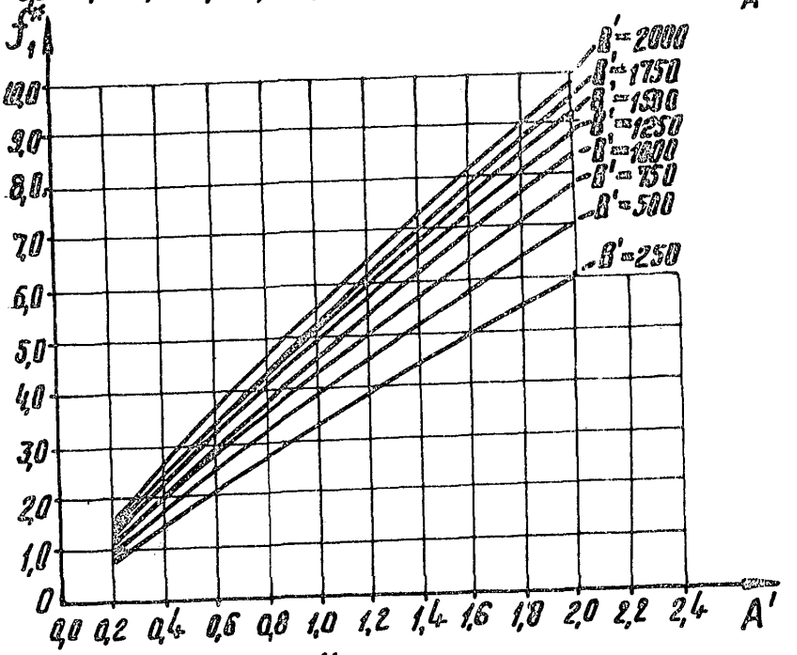
$$N_т = \frac{\pi a_1^2}{i}\left[\left(\eta_м P_м - \eta_т P_т\right) + \frac{f_2^*}{f_2^* K_q^* + K_q} P_0\right]$$

График $f_2^*(Z)$ приведен на черт. I4 в зависимости от Z:

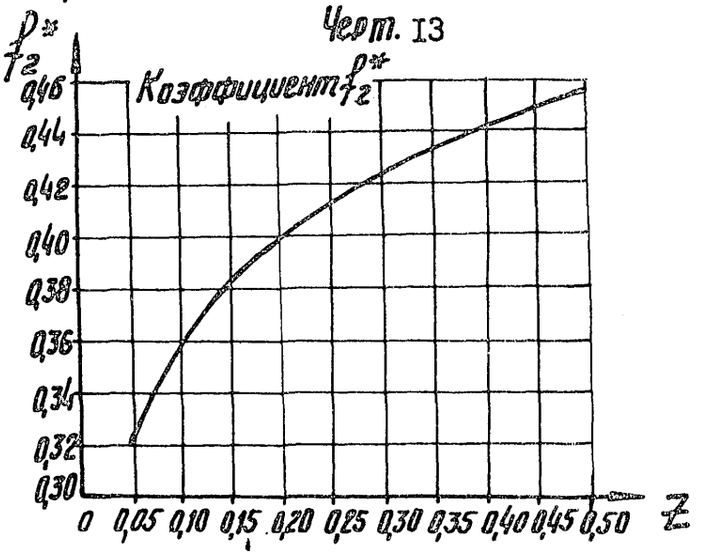
$$Z = \frac{43,7}{B}\left[\frac{S_к}{S_p(\eta_т + \eta_м)}\right]^3$$

Проверка прочности труб и крепления их в решетке, а также устойчивости труб должны проводиться по формулам(50), (52) и п. 2.2.7.I., 2.2.7.3. и 2.2.7.5.





Черт. I3



Черт. I4

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

Определение допускаемой амплитуды условных упругих напряжений при работе материала в условиях ползучести.

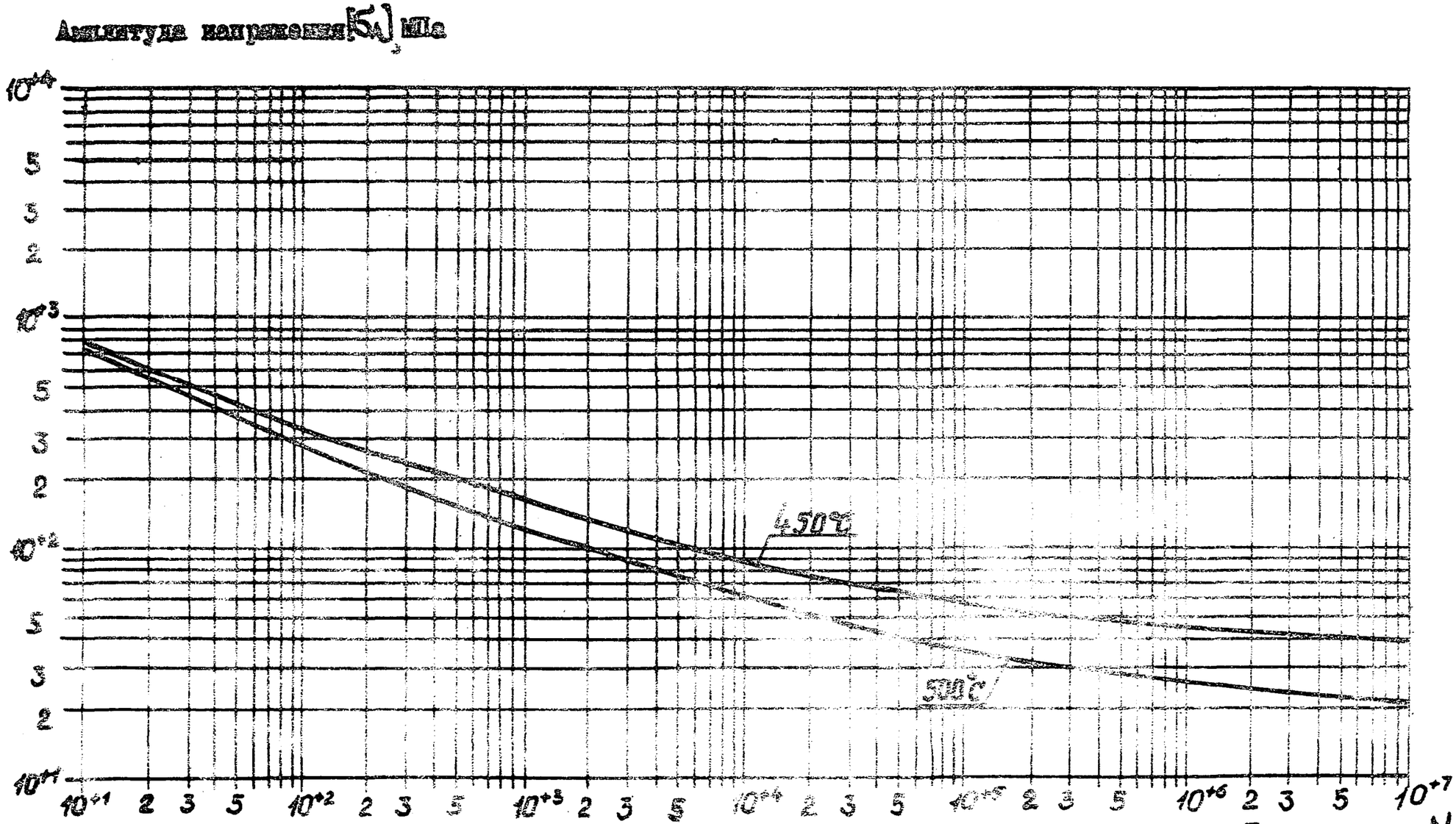
Если температура рассматриваемых элементов из углеродистых сталей превышает 380°С, из низколегированных коррозионностойких хромистых сталей - 500°С и из аустенитных сталей - 600°С, следует при выполнении расчета по ГОСТ 25859-83 принимать:

$$[\sigma_A] = 0{,}65\,[\sigma],$$

где $[\sigma]$ - допускаемое напряжение по ГОСТ I4249-80 для рассчитываемого элемента при расчетной температуре

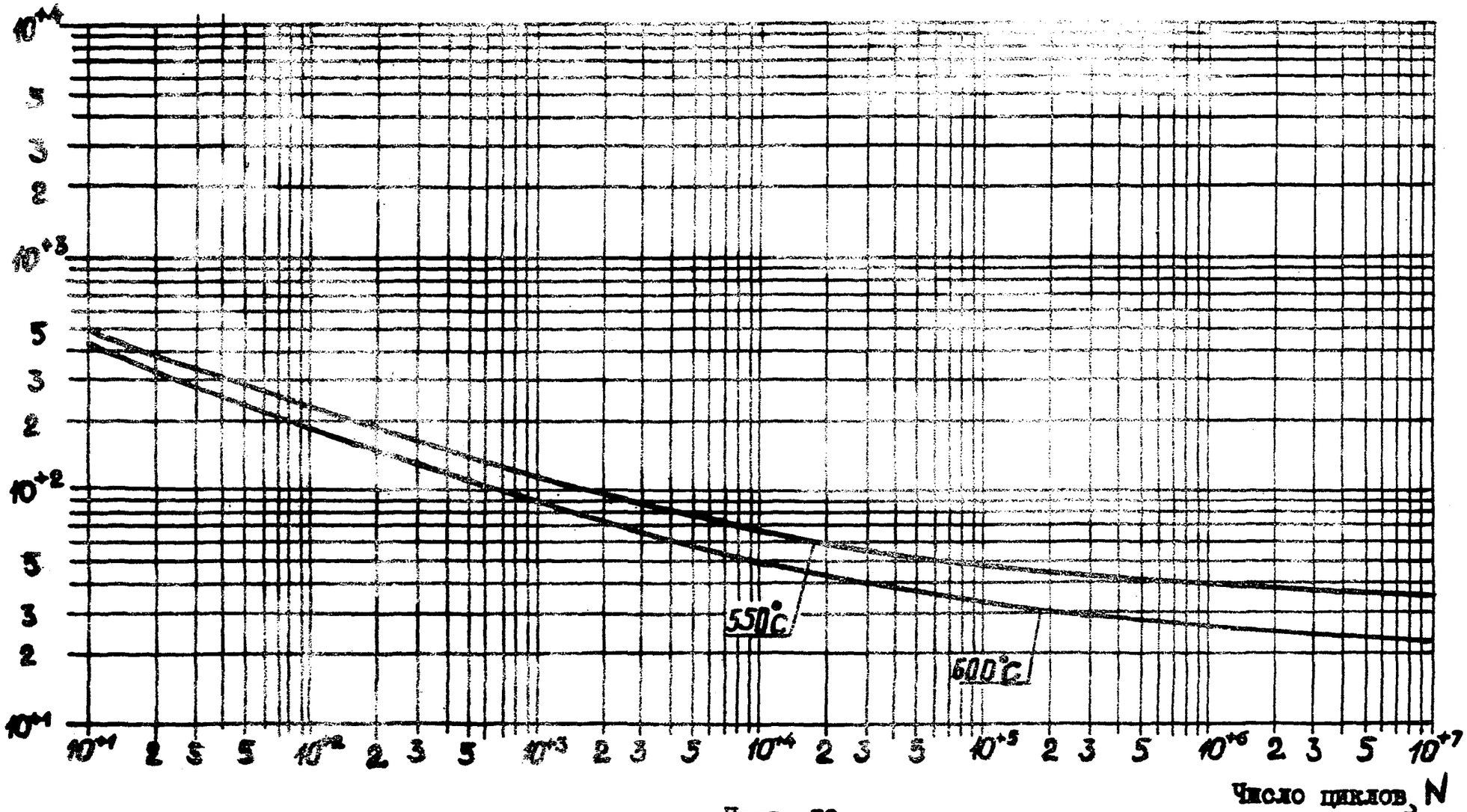
При температуре рассчитываемых элементов из низколегированных и коррозионностойких хромистых сталей от 420°С до 500°С допускается определять $[\sigma_A]$ по графику черт. I5.

При температуре рассчитываемых элементов из аустенитных сталей от 525°С до 600°С допускается определять $[\sigma_A]$ по графику черт. I6.



Черт 15

Расчетные кривые усталости для низколегированных и коррозионностойких хромистых сталей при длительности нагружения $2 \cdot 10^5$ ч



Черт I6

Расчетные кривые усталости коррозионностойких сталей аустенитного класса при длительности нагружения $2 \cdot 10^5$ ч

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Справочное

Величины $m_{1,2}$; $\beta_{1,2}$; $K_{1,2}$; $K_{\varphi 1,2}$ для стандартных фланцев. Фланцевые соединения под плоскую прокладку по ОСТ 26-427-80.

Таблица 9

D см	P_y кгс/см^2	$m_{1,2}$ см^2	$\beta_{1,2}$ 1/см	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс.см/см	$K_{\varphi 1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс.см/см
40	10	11,6	0,288	9,0	19,8
	16	12,4	0,275	11,5	23,2
	25	15,7	0,247	19,4	38,7
	40	22,4	0,211	47,8	56,9
	64	29,9	0,197	40,5	106
45	10	13,2	0,264	9,95	19,8
	16	14,0	0,254	12,2	22,7
	25	19,0	0,227	21,4	44,3
	40	26,0	0,191	48,1	91,7
	64	33,0	0,189	50,5	164,0
50	10	14,1	0,253	9,1	17,5
	16	15,2	0,242	11,5	20,6
	25	21,6	0,209	23,9	45,0
	40	30,8	0,182	45,1	102,0
	64	39,5	0,167	69,6	179,0
60	10	16,4	0,230	8,7	15,3
	16	18,7	0,212	13,2	20,9
	25	27,4	0,184	26,2	48,1
	40	39,1	0,160	51,9	109,0
	64	54,9	0,140	99,0	235,0
70	10	19,7	0,205	9,9	15,6
	16	24,5	0,192	13,6	25,0
	25	34,3	0,160	33,9	55,2
	40	48,4	0,145	53,1	118,0
	64	71,6	0,122	125,0	289,0
80	10	24,5	0,185	11,0	18,0
	16	28,8	0,173	15,5	25,9
	25	42,6	0,143	39,9	64,1
	40	59,9	0,126	72,6	136,0
	64	86,4	0,107	160,0	316,0

Продолжение табл.9

D см	P_y кгс/см²	$m_{1,2}$ см²	$\beta_{1,2}$ 1/см	$K_{1,2}\cdot10^{-4}$ кгс·см/см	$K_{\phi_{1,2}}\cdot10^{-4}$ кгс·см/см
90	I0	29,3	0,I7I	II,6	I9,5
	I6	35,3	0,I57	I7,9	29,8
	25	48,2	0,I32	4I,5	64,0
	40	70,4	0,II6	68,8	I46,0
	64	I09,0	0,095	207,0	398,0
I00	I0	35,7	0,I56	I3,6	22,9
	I6	42,5	0,I43	20,8	34,3
	25	57,8	0,I2I	48,0	73,7
	40	85,9	0,I06	9I,2	I75,0
	64	I28,0	0,088	226,0	443,0
II0	I0	38,0	0,I50	I2,6	2I,9
	I6	47,9	0,I36	20,2	34,7
	25	67,7	0,II2	53,4	82,2
	40	99,8	0,099	95,0	I90,0
	64	I5I,0	0,080	266,0	497,0
I20	I0	43,4	0,I38	I4,8	22,6
	I6	53,7	0,I27	22,6	36,3
	25	78,3	0,I04	58,8	9I,2
	40	II8,0	0,090	II8,0	225,0
	64	I70,0	0,074	306,0	53I,0
I30	I0	49,7	0,I30	I5,7	24,7
	I6	62,2	0,II8	25,4	9I,2
	25	85,3	0,099	60,7	40,9
	40	I30,2	0,085	I29,0	229,0
	64	I97,0	0,069	343,0	605,0
I40	I0	52,5	0,I25	I5,0	23,0
	I6	68,8	0,III	28,0	43,0
	25	95,2	0,094	62,7	96,0
	40	I47,0	0,078	I54,0	254,0
	64	227,0	0,065	369,0	679,0

Продолжение табл 9

D см	P_y кгс/см²	$m_{1,2}$ см²	$\beta_{1,2}$ 1/см	$K_{1,2}\cdot10^{-4}$ кгс·см/см	$K_{\phi 1,2}\cdot10^{-4}$ кгс·см/см
	10	61,7	0,114	20,0	28,8
	16	76,9	0,103	32,0	47,9
150	25	107,0	0,087	72,6	106,0
	40	176,0	0,072	192,0	322,0
	64	253,0	0,061	407,0	730,0
	10	67,5	0,108	21,6	30,7
	16	84,4	0,097	35,3	51,1
160	25	116,0	0,084	71,7	106,0
	40	196,0	0,068	199,0	344,0
	64	284,0	0,057	471,0	818,0
	10	81,3	0,098	24,4	34,4
180	16	100,0	0,089	38,7	55,3
	25	137,0	0,0785	72,8	111,0
	10	93,3	0,092	24,8	35,3
200	16	117,0	0,084	38,5	57,3
	25	167,0	0,072	82,1	131,0
	10	105,0	0,087	25,0	35,7
220	16	131,0	0,079	38,9	57,9
	10	123,0	0,082	26,1	39,0
240	16	163,0	0,074	41,9	72,1
	10	140,0	0,076	28,5	42,5
260	16	187,0	0,069	47,9	80,1
	10	158,0	0,072	31,2	46,1
280	16	213,0	0,065	51,2	87,0
	10	175,0	0,069	30,7	47,9
300	16	239,0	0,062	54,5	94,0
	10	194,0	0,065	32,8	50,8
320	16	269,0	0,058	58,9	102,0
	6	169,0	0,066	26,3	34,7
340	10	223,0	0,062	37,4	58,7

Продолжение табл.9

D см	p_y	$m_{1,2}$	$\beta_{1,2}$	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$	$K_{\varphi 1,2}\ 10^{-4}$
360	6	177,0	0,064	25,7	33,4
	10	250,0	0,059	40,8	65.0
380	6	197,0	0,062	26,3	35,6
	10	273,0	0,055	44,5	69,8
400	6	221,0	0,058	30,1	40,7
	10	294,0	0,053	49,2	73,3

Фланцевые соединения под плоскую прокладку аппаратов с наружным базовым диаметром по ОСТ 26-427-80

Таблица 10

Сортамент днища или трубы	Ру кгс/см^2	$m_{1,2}$ см^2	$\beta_{1,2}$ 1/см	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс см/см	$K_{\varphi 1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс см/см
	25	15,7	0,246	19,0	37,6
426x10	40	22,7	0,209	41,3	87,1
426x12	64	30,4	0,196	57,7	172,0
	25	19,2	0,225	21,7	43,6
480x12	40	26,3	0,196	40,8	90,2
530x10	25	20,3	0,217	18,6	37,1
530x12	40	31,8	0,178	29,2	106,0
630x10	25	25,8	0,192	20,6	39,6
630x14	40	39,4	0,163	46,1	111,0
720x10	16	24,9	0,190	14,5	26,1
720x12	25	34,7	0,158	35,7	58,0

Фланцевые соединения под прокладку восьмиугольного сечения по ОСТ 26-428-80.

Таблица II

D (см)	Ру кгс/см²	$m_{1,2}$ см²	$\beta_{1,2}$ кгс/см²	$K_{I,2} \cdot 10^{-4}$ кгс·см/см	$K_{\varphi 1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс·см/см
40	64	29,9	0,197	57,0	172,0
	80	35,4	0,175	99,0	248,0
	100	42,1	0,161	153,0	353,0
	160	68,7	0,130	412,0	1020,0
45	64	33,0	0,189	50,5	164,0
	80	41,4	0,159	116,0	257,0
	100	51,7	0,145	182,0	420,0
	160	81,7	0,117	482,0	1140,0
50	64	39,5	0,167	69,5	179,0
	80	49,5	0,144	140,0	294,0
	100	61,7	0,131	224,0	479,0
	160	98,1	0,105	617,0	1340,0
60	64	54,9	0,140	99,0	235,0
	80	66,0	0,123	180,0	377,0
	100	84,6	0,111	292,0	619,0
	160	133,0	0,090	814,0	1700,0
70	64	71,6	0,122	125,0	288,0
	80	86,6	0,107	233,0	450,0
	100	111,0	0,097	366,0	774,0
	160	179,0	0,077	1060,0	2250,0
80	64	86,4	0,107	160,0	316,0
	80	109,0	0,095	285,0	544,0
	100	139,0	0,086	470,0	933,0
	160	235,0	0,068	1390,0	2970,0
90	64	109,0	0,095	207,0	398,0
	80	139,0	0,085	352,0	693,0
	100	176,0	0,077	553,0	1160,0
	160	288,0	0,061	1700,0	3510,0

Продолжение табл. II

D (см)	P_y кгс/см²	$m_{1,2}$ см²	$\beta_{1,2}$ 1/см	$K_{I\,1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс/см²·см/см	$K_{\varphi 1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс·см/см
	64	129,0	0,088	226	443
	80	167,0	0,077	423	798
100	100	212,0	0,070	677	1360
	160	344,0	0,055	2080	4070
	64	154,0	0,080	266	516
	80	199,0	0,071	480	932
110	100	255,0	0,064	811	1620
	160	413,0	0,050	2430	4830
	64	176,0	0,074	306	568
	80	228,0	0,065	559	1020
120	100	289,0	0,060	877	1740
	160	488,0	0,046	2920	5700
	64	200,0	0,069	343	624
130	80	263,0	0,061	642	1170
	100	338,0	0,055	1020	2010
	64	234,0	0,065	369	723
140	80	302,0	0,057	703	1310
	100	386,0	0,051	1170	2270
	64	257,0	0,061	407	751
150	80	345,0	0,054	788	1480
	100	445,0	0,048	1340	2620
	64	289,0	0,057	471	839
160	80	389,0	0,050	886	1640

Величины $K_{I,2}$; $K_{\varphi 1,2}$ приведены в таблицах настоящего приложения, рассчитаны в предположении, что модуль продольной упругости материала фланцев равен: $E = 1{,}99 \times 10^6$ $\frac{кгс}{см^2}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Справочное

Допускаемая нагрузка на вальцовочное соединение трубы с решеткой

При отсутствии более точных данных, впредь, до разработки унифицированного нормативного метода расчета вальцовочных соединений, допускается определять допускаемую нагрузку на вальцовочное соединение трубы с решеткой по формуле:

$$[N]_{тр} = d_т \ell_в [q] \quad , Н (кгс)$$

где:

$[q]$ = I4,7 МПа (I50 кгс/см^2) - для гладкозавальцованных труб

$[q]$ = 29,4 МПа (300 кгс/см^2) - для труб завальцованных в паз

$[q]$ = 39,2 МПа (400 кгс/см^2) - для труб завальцованных с отбортовкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

Расчетные зависимости для определения величин, приведенных в таблицах или на графиках.

$$\psi_0 = \eta_T^{7/3}$$

$$\Phi_1 = \frac{\omega}{T}\left[ber^2\omega + bei^2\omega + \frac{0{,}7}{\omega}\left(ber'\omega \cdot bei\omega - bei'\omega \cdot ber\omega\right)\right]$$

$$\Phi_2 = \frac{\omega}{T}\left(ber\omega \cdot ber'\omega + bei\omega \cdot bei'\omega\right)$$

$$\Phi_3 = \frac{\omega}{T}\left(ber'^2\omega + bei'^2\omega\right)$$

$$A = \frac{0{,}91}{T}\left\{f_1(\omega)\, bei''x - f_2(\omega)\, ber''x + m\left(ber'\omega\, ber''x + bei'\omega\, bei''x\right)\right\}$$

$$B = \frac{0{,}91}{T}\left\{n\left[f_1(\omega)\, bei''x - f_2(\omega)\, ber''x\right] + ber'\omega\, ber''x + bei'\omega\, bei''x\right\}$$

где:

$$T = -f_2(\omega)\, bei'\omega - f_1(\omega)\, ber'\omega$$

$$f_1(\omega) = \frac{0{,}7}{\omega} ber'\omega + bei\omega$$

$$f_2(\omega) = \frac{0{,}7}{\omega} bei'\omega - ber\omega$$

x - величина, принадлежащая отрезку:

$x \in [0, \omega]$ при $\omega \leqslant 3$,

или отрезку

$x \in [0, (\omega - 3)]$ при $\omega > 3$,

выбираемое таким образом, чтобы коэффициенты A или B, соответственно, принимали максимальные значения.

$ber'', bei'', ber', bei', ber, bei$ - функции Бесселе, которые могут быть определены по формулам:

$$ber''y = -beiy - \frac{ber'y}{y}$$

$$bei''y = bery - \frac{bei'y}{y}$$

$$ber'y = -\frac{1}{2!}\left(\frac{y}{2}\right)^3 + \frac{1}{3!\,4!}\left(\frac{y}{2}\right)^7 - \frac{1}{5!\,6!}\left(\frac{y}{2}\right)^{11} + \ldots$$

$$bei'y = \frac{y}{2} - \frac{1}{2!\,3!}\left(\frac{y}{2}\right)^5 + \frac{1}{4!\,5!}\left(\frac{y}{2}\right)^9 - \ldots$$

$$bery = 1 - \frac{1}{(2!)^2}\left(\frac{y}{2}\right)^4 + \frac{1}{(4!)^2}\left(\frac{y}{2}\right)^8 - \ldots$$

$$beiy = \left(\frac{y}{2}\right)^2 - \frac{1}{(3!)^2}\left(\frac{y}{2}\right)^6 + \frac{1}{(5!)^2}\left(\frac{y}{2}\right)^{10} - \ldots$$

$$\varphi_T = \frac{1}{\sqrt{1+\lambda^4}}$$

$$A_y = \frac{1 - \cos\sqrt{\lambda_y}}{\cos\sqrt{\lambda_y}}$$

$$f_1^* = 1{,}29(A')^{4/5}(B')^{1/5}\left[\frac{(A')^{3/5}(B')^{2/5}+0{,}43}{(A')^{3/5}(B')^{2/5}+0{,}85}\right]^4;$$

$$f_2^* = \frac{\sqrt[4]{Z}}{\sqrt[4]{Z}+1};$$

$$A_{p1} = \frac{2}{\sin\beta_0\cos^2\beta_0}\ln\frac{1}{\beta_p};$$

$$A_{p2} = \frac{1{,}82\sin^2\beta_0}{(\cos\beta_0)^{3/2}}\left(1+\sqrt{\beta_p}\right);$$

$$B_{p1} = \frac{-1{,}06}{\sin\beta_0\cos^2\beta_0}\left[\ln\frac{1}{\beta_p}+\left(\frac{1}{\beta_p^2}-1\right)(0{,}3\cos^4\beta_0 + 1{,}5\sin^2\beta_0 - 0{,}5\cos^2\beta_0 + \sin^4\beta_0)\right];$$

$$B_{p2} = \frac{0{,}965\sin^2\beta_0}{(\cos\beta_0)^{3/2}}\left(\frac{1}{\beta_p^2}-1\right)$$

$$A_p = 9{,}20\frac{\beta_p^2(1-\beta_p^2)}{(1-\beta_p^2)^2-4\beta_p^2\ln^2\beta_p} \quad \text{при } \beta_p \leqslant 0{,}9$$

$$A_p \approx \frac{13{,}8}{(1-\beta_p)^3}\left[1-\frac{5}{2}(1-\beta_p)+\frac{61}{30}(1-\beta_p)^2-\frac{11}{20}(1-\beta_p)^3\right]$$

при $\beta_p > 0{,}9$

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

ПРИМЕР РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Исходные данные

Внутренний радиус кожуха, см	a = I40
Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, см	a_1 = I34,75
Диаметр окружности, вписанной в максимальную беструбную область, см	D_E = 7,925
Радиус отбортовки, см	r = 3,0
Внутренний диаметр кожуха, см	D = 280
Наружный диаметр трубы, см	d_T = 2,5
Диаметр отверстия в решетке, см	d_o = 2,55
Расчетная длина трубы, см	l_R = 300
Шаг расположения отверстий в решетке, см	t_p = 3,7
Количество труб	i = 4II7
Высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке, см	δ = 0,2
Прибавка на коррозию, см	c = 0,2
Половина длины труб, см	l = I50
Толщина стенок кожуха труб см	S_K = I,2 S_T = 0,2
Толщина трубной решетки, см	S_p = I,0
Толщина стенок в месте соединения с решеткой, см	$S_1=S_2$ = I,2
$h_1 = h_2 = S_p$ см	$h_1=h_2$ = I,0
$b_1 = b_2 = r + S = 3,0 + 1,2 = 4,2$ см	$b_1=b_2$ = 4,2
$R_1=R_2 = a + \frac{S_2}{2} = 140 + \frac{1,2}{2} = 140,6$ см	$R_1=R_2$ = I40,6
Средняя температура стенки, °С	
кожуха	t_K = II5°
труб	t_T = I32°
сборки	t_o = 20°

Коэффициенты линейного расширения материалов, I/град

кожуха $\alpha_к = I6,66 \cdot I0^{-6}$

труб $\alpha_т = I6,73 \cdot I0^{-6}$

Модули упругости материалов, кГс/см^2

решетки $E_р = I,9 \cdot I0^6$

труб $E_т = I,99 \cdot I0^6$

кожуха $E_к = I,99 \cdot I0^6$

камеры $E_о = I,9 \cdot I0^6$

Допускаемое число циклов нагружения $[N] = 2000$

Допускаемые напряжения для материала, кГс/см^2

труб $[\sigma]_т = I600$

решеток, кожуха $[\sigma]_р = I480 = [\sigma]_к$

Давление в трубном пространстве, кГс/см^2 $P_т = 6$

Давление в межтрубном пространстве, кГс/см^2 $P_м = 0,7$

Модули упругости материалов фланцев, кГс/см^2

кожуха $E_1 = I,99 \cdot I0^6$

камеры $E_2 = I,9 \cdot I0^6$

Толщина трубной решетки назначается конструктивно

$$S_р = 1,0 \text{ см}$$

Для решетки, выполненной заодно с фланцем, принятая толщина должна быть не менее толщины ответного фланца.

Принятая толщина трубной решетки должна удовлетворять условию прочности беструбной зоны:

$$S_р \geqslant 0,5 D_в \sqrt{\frac{P_к}{[\sigma]_р}} + C = 0,5 \cdot 7,925 \sqrt{\frac{6}{1480}} + 0,2 = 0,45 \text{ см}$$

$$1,00 \text{ см} > 0,45 \text{ см}$$

ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ С НЕПОДВИЖНЫМИ ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ

Вспомогательные величины.

Основные параметры трубной решетки.

Относительная характеристика беструбного края:

$$m_n = a/a_1 = 140/134,75 = 1,04$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку:

$$\eta_м = 1 - \frac{i d_т^2}{4 a_1^2} = 1 - \frac{4117 \cdot 2,5^2}{4 \cdot 134,75^2} = 0,65$$

$$= 1 - \frac{i (d_т - 2S_т)^2}{4 a_1^2} = 1 - \frac{4117 (2,5 - 2 \cdot 0,2)^2}{4 \cdot 134,75^2} = 0,75$$

Коэффициент ослабления трубной решетки:

$$\mu_p = 1 - \frac{d_o}{t_p} = 1 - \frac{2,55}{3,7} = 0,311$$

Коэффициент жесткости перфорированной плиты по табл.I в зависимости от η_T:

$$\psi_o = 0,51$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб):

$$K_y = \frac{E_T(\eta_T - \eta_M)}{l} = \frac{1,99 \cdot 10^6 (0,75 - 0,65)}{150} = 1327$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха:

$$\beta = \frac{K_y a_1 l}{E_K S_K} = \frac{1327 \cdot 134,75 \cdot 150}{1,99 \cdot 10^6 \cdot 1,2} = 11,2$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

$$K_q = 1 + K_q^*$$
$$K_p = 1 + K_p^*$$

для аппаратов с неподвижными трубными решетками:

$$K_p^* = K_q^* = 0$$
$$K_q = 1$$
$$K_p = 1$$

Приведенное давление:

$$P_o = [\alpha_K(t_K - t_o) - \alpha_T(t_T - t_o)] K_y l + [h_T - 1 + m_{cp} + m_n(m_n + 0,5\beta K_q)] P_T - [h_M - 1 + m_{cp} + m_n(m_n + 0,3\beta K_p)] P_M, \quad кгс/см^2,$$

где

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i(a_T - S_T)^2}{a_1^2} = 0,15 \frac{4117(2,5 - 0,2)^2}{134,75^2} = 0,18$$

$$P_o = [16,66(115 - 20) - 16,73(132 - 20)] \cdot 1327 \cdot 150 \cdot 10^{-6} + [0,75 - 1 + 0,18 + 1,04(1,04 + 0,5 \cdot 11,2 \cdot 1)] 6 - [0,65 - 1 + 0,18 + 1,04(1,04 + 0,3 \cdot 11,2 \cdot 1)] \cdot 0,7 = -20.$$

Определение усилий в элементах аппаратов и расчет на прочность.

Характеристики жесткости элементов конструкции.

Коэффициент системы решетка-трубы :

$$\beta = \frac{1,82}{S_p}\sqrt[4]{\frac{K_y S_p}{\psi_0 E_p}} = \frac{1,82}{1,0}\sqrt[4]{\frac{1327\cdot 1,0}{0,51\cdot 1,9\cdot 10^6}} = 0,346\ \frac{1}{см}$$

Коэффициенты системы кожух-решетка и обечайка-фланец камеры :

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{a s_1}} = \frac{1,3}{\sqrt{140\cdot 1,2}} = 0,1\ \frac{1}{см}$$

$$\beta_2 = \frac{1,3}{\sqrt{a\cdot s_2}} = \frac{1,3}{\sqrt{140\cdot 1,2}} = 0,1\ \frac{1}{см}$$

Жесткость фланцевого соединения при изгибе :

$$K_\phi = K_{\phi 1} + K_{\phi 2} = (0,065 + 0,063)10^6 = 0,128\cdot 10^6\ \frac{кгс\cdot см}{см}$$

$$K_{\phi 1} = \frac{E_1 h_1^3 b_1}{12 R_1^2} + K_1\left(1 + \frac{\beta_1 h_1}{2}\right)\ \frac{кгс\cdot см}{см},$$

где

$$K_1 = \frac{\beta_1 a E_к S_1^3}{5,5 R_1} = \frac{0,1\cdot 140\cdot 1,99\cdot 10^6\cdot 1,2^3}{5,5\cdot 140,6} = 0,062\cdot 10^6\ \frac{кгс\cdot см}{см}$$

$$K_{\phi 1} = \frac{1,99\cdot 10^6\cdot 1,0^3\cdot 4,2}{12\cdot 140,6^2} + 0,062\left(1 + \frac{0,1\cdot 1,0}{2}\right)10^6 = 0,065\cdot 10^6\ \frac{кгс\cdot см}{см}$$

$$K_{\phi 2} = \frac{E_2 h_2^3 b_2}{12 R_2^2} + K_2\left(1 + \frac{\beta_2 h_2}{2}\right)\ \frac{кгс\cdot см}{см},$$

где

$$K_2 = \frac{\beta_2 a E_D S_2^3}{5,5 R_2} = \frac{0,1\cdot 140\cdot 1,9\cdot 10^6\cdot 1,2^3}{5,5\cdot 140,6} = 0,06\cdot 10^6\ \frac{кгс\cdot см}{см}$$

$$K_{\phi 2} = \frac{1,9\cdot 10^6\cdot 1,0^3\cdot 4,2}{12\cdot 140,6^2} + 0,06\left(1 + \frac{0,1\cdot 1,0}{2}\right)\cdot 10^6 = 0,063\cdot 10^6\ \frac{кгс\cdot см}{см}$$

Коэффициенты влияния давления на изгиб фланцев:

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 h_1}{2\beta_1^2}\ см^2$$

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 h_2}{2\beta_2^2}\ см^2$$

$$m_1 = m_2 = \frac{1 + 0,1\cdot 1,0}{2\cdot 0,1^2} = 5,5\ см^2$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения:

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 K_\phi \cdot R_1} = \frac{1327 \cdot 140 \cdot 134{,}75}{0{,}346^2 \cdot 0{,}128 \cdot 10^6 \cdot 140{,}6} = 11{,}6$$

Коэффициент

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 0{,}346 \cdot 134{,}75 = 46{,}6$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края решетки и поддерживающее влияние труб:

$$\varphi_1 = \varphi_3 = \sqrt{2} \cdot \omega = \sqrt{2} \cdot 46{,}6 = 66$$
$$\varphi_2 = \omega = 46{,}6$$

Коэффициенты:

$$t = 1 + 1{,}4\omega(m_n - 1) = 1 + 1{,}4 \cdot 46{,}6(1{,}04 - 1) = 3{,}6$$
$$T_1 = \varphi_1[m_n + 0{,}5(1 + m_n t)(t-1)] =$$
$$= 66[1{,}04 + 0{,}5(1 + 1{,}04 \cdot 3{,}6)(3{,}6 - 1)] = 476$$
$$T_2 = \varphi_2 t = 46{,}6 \cdot 3{,}6 = 168$$
$$T_3 = \varphi_3 m_n = 66 \cdot 1{,}04 = 68{,}6$$

Усилия в элементах конструкции.

Изгибающий момент и перерезывающая сила, распределенные по краю трубной решетки:

$$M = \left(\frac{a_1}{\beta}\right) \frac{P_1(T_1 + \rho K_q) - P_0 T_2}{(T_1 + \rho K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2},$$

где

$$P_1 = \frac{K_y}{\beta K_\phi}(m_1 P_M - m_2 P_T) = \frac{1327}{0{,}346 \cdot 0{,}128 \cdot 10^6} =$$
$$= (55 \cdot 0{,}7 - 55 \cdot 6) = -8{,}73 \ \frac{кгс}{см^2}$$

$$M = \frac{134{,}75}{0{,}346} \cdot \frac{(-8{,}73)(476 + 11{,}2 \cdot 1) - (-20) \cdot 168}{(476 + 11{,}2 \cdot 1)(68{,}6 + 11{,}6) - 168^2} = -30 \ \frac{кгс \cdot см}{см}$$

$$Q = a_1 \frac{P_0(T_3 + \rho_1) - P_1 T_2}{(T_1 + \rho K_q)(T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 134{,}75 \cdot$$
$$\cdot \frac{(-20)(68{,}6 + 11{,}6) - (-8{,}73) \cdot 168}{(476 + 11{,}2 \cdot 1)(68{,}6 + 11{,}6) - 168^2} = -1{,}7 \ \frac{кгс}{см}$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки:

$$M_a = M + (a - a_1)Q = -30 + (140 - 134{,}75)\cdot(-1{,}7) = -39 \frac{кгс\cdot см}{см}$$

$$Q_a = m_n Q = 1{,}04\cdot(-1{,}7) = -1{,}77 \frac{кгс}{см}$$

Осевая сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

$$N_т = \frac{\pi a_1}{i}\left[(\eta_м P_м - \eta_т P_т)a_1 + \varphi_2 Q_a + \varphi_2 \beta M_a\right] =$$

$$= \frac{3{,}14\cdot 134{,}75}{4117}\left[(0{,}65\cdot 0{,}7 - 0{,}75\cdot 6)134{,}75 + 66(-1{,}77) + \right.$$

$$\left. + 46{,}6\cdot 0{,}346\cdot(-39)\right] = -133 кгс.$$

$$M_т = \frac{E_т J_т \beta}{K_y a_1 l_{пр}}(\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a) =$$

$$\frac{1{,}99\cdot 10^6\cdot 0{,}962\cdot 0{,}346}{1327\cdot 134{,}75\cdot 150}\left(46{,}6\cdot(-1{,}77) + 66\cdot 0{,}346\cdot(-39)\right) = -24 кгс\cdot см$$

$$J_т = \frac{\pi}{64}\left(d_т^4 - (d_т - 2S_т)^4\right) = 0{,}962\ см^4$$

Усилия в кожухе:

$$Q_к = \frac{a}{2}P_т - Q = \frac{140}{2}\cdot 6 - (-1{,}7) = 422 \frac{кгс}{см}$$

$$M_к = \frac{K_1}{\rho_1 K_\varphi \beta}(T_2 Q + T_3 \beta M) - \frac{P_м}{2\beta_1^2} =$$

$$= \frac{0{,}062\cdot 10^6}{11{,}6\cdot 0{,}128\cdot 10^6\cdot 0{,}346}\left(168(-1{,}7) + 68{,}6\cdot 0{,}346(-30)\right) - \frac{0{,}7}{2\cdot 0{,}12} =$$

$$= -155 \frac{кгс\cdot см}{см}$$

$$F = \pi D Q_к = 3{,}14\cdot 280\cdot 422 = 371022 кгс.$$

Расчетные напряжения в элементах конструкции.

Расчетные напряжения в трубных решетках.

Напряжение в трубной решетке в месте соединения с кожухом:

- изгибные $\sigma_{р1} = \frac{6|M|}{(S_{1р} - c)^2} = \frac{6\cdot 30}{(1{,}0 - 0{,}2)^2} = 281 кгс/см^2$

- касательные $\tau_{р1} = \frac{|Q|}{(S_{1р} - c)} = \frac{1{,}7}{1{,}0 - 0{,}2} = 2 \frac{кгс}{см^2}$

Напряжение в перфорированной части трубной решетки:

- изгибное: $\sigma_{p2} = \frac{6M_{max}}{\gamma_p (s_p - c)^2}$

$$\frac{\beta M_a}{Q_a} = \frac{0346 \cdot (-39)}{(-1,77)} = 7,6$$

$$M_{max} = B|M_a|$$

$$n = \frac{Q_a}{\beta M_a} = 0,1 \; ; \; \omega = 46,6 > 10; \; B = 0,882$$

$$M_{max} = 0,882 \cdot 39 = 34 \text{ кгс} \cdot \text{см}.$$

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \cdot 34}{0,311 (1,0 - 0,2)^2} = 1025 \text{ кгс/см}^2$$

- касательные: $\tau_{p2} = \frac{|Q_a|}{\gamma_p (s_p - c)} = \frac{1,44}{0,311 (1,0 - 0,2)} = 7 \text{ кгс/см}^2$

Расчетные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке.

- в меридиональном направлении:

  - мембранные

$$\sigma_{мк} = \frac{|Q_к|}{(s_1 - c_к)} = \frac{422}{(1,2 - 0,2)} = 422 \text{ кгс/см}^2$$

  - изгибные

$$\sigma_{ик} = \frac{6|M_к|}{(s_1 - c_к)^2} = 930 \text{ кгс/см}^2$$

- в окружном направлении:

  - мембранные:

$$\sigma_{м\varphi} = \frac{|p_м| a}{(s_1 - c_к)} = \frac{0,7 \cdot 140}{1,2 - 0,2} = 98 \text{ кгс/см}^2$$

  - изгибные:

$$\sigma_{и\varphi} = 0,3 \sigma_{ик} = 0,3 \cdot 930 = 279 \text{ кгс/см}^2$$

Расчетные напряжения в трубах:

- в осевом направлении:

$$\sigma_{1т} = \frac{|N_т|}{\pi (d_т - s_т) s_т} = \frac{133}{3,14 (2,5 - 0,2) 0,2} = 92 \text{ кгс/см}^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1т} + \frac{d_т |M_т|}{2 J_т} = 92 + \frac{2,5 \cdot 2,4}{2 \cdot 0,962} = 123 \text{ кгс/см}^2$$

- в окружном направлении:

$$\sigma_{2т} = \frac{(d_т + s_т)_{max} \{|p_т|; |p_м|; |p_т - p_м|\}}{2 s_т} =$$

$$\frac{(2,5 + 0,2) \cdot 6}{2 \cdot 0,2} = 40,5 \text{ кгс/см}^2$$

Расчет трубных решеток на прочность и жесткость.

Условие статической прочности трубной решетки:

$$\max\{\tau_{p1};\ \tau_{p2}\} \leq 0{,}5[\sigma]_p$$

$$7 < 740$$

Проверка трубной решетки на малоцикловую прочность производится по ГОСТ 25859-83;

- в месте соединения с кожухом:

$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p1} = 281\ кгс/см^2$

$\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0$

по черт.9 $K_\sigma = 1{,}7$

$$\sigma_A = \frac{K_\sigma}{2}\max\{|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2|;\ |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3|;\ |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1|\} = \frac{1{,}7}{2}\cdot 281 = 239\ кгс/см^2 < [\sigma_A] = 4300\ кгс/см^2$$

- в перфорированной части:

$\Delta\sigma_1 = \sigma_{p2} = 1025\ кгс/см^2$

$\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0$

$K_\sigma = 1$

$$\sigma_A = \frac{K_\sigma}{2}\max\{|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2|;\ |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3|;\ |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1|\} = \frac{1}{2}\cdot 1025 = 513\ \frac{кгс}{см^2} < [\sigma_A] = 4300\ \frac{кгс}{см^2}$$

Расчет кожуха на прочность и устойчивость.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

$$\sigma_{мк} \leq 1{,}3[\sigma]_к$$

$$422\ кгс/см^2 < 1{,}3\cdot 1480 = 1924\ кгс/см^2$$

Проверка кожуха в месте присоединения к решетке на малоцикловую прочность производится по ГОСТ 25859-83.

$\Delta\sigma_1 = \sigma_{мк} + \sigma_{ик} = 422 + 930 = 1352\ кгс/см^2$

$\Delta\sigma_2 = \sigma_{му} + \sigma_{иу} = 98 + 279 = 377\ кгс/см^2$

$\Delta\sigma_3 = 0$

$K_\sigma = 1{,}7$ по черт. 9

$$\sigma_A = \frac{K\sigma}{2} \max\{|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2|; |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3|; |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1|\} =$$

$$\frac{1,7}{2} \max\{975; 377; 1352\} = 1149 \frac{кгс}{см^2} < [\sigma_A] = 4300 \frac{кгс}{см^2}$$

Расчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет крепления труб в решетке.

Условие статической прочности труб:

$$\max\{\sigma_{1T}; \sigma_{2T}\} \leqslant [\sigma]_T; \quad 92 \frac{кгс}{см^2} < 1600 \frac{кгс}{см^2}$$

Проверка труб на малоцикловую прочность производится по ГОСТ 25859-83:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_1 = 123 \text{ кгс/см}^2$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

$$K\sigma = 1$$

$$\sigma_A = \frac{K\sigma}{2} \max\{|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2|; |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3|; |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1|\} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 123 = 61,5 \frac{кгс}{см^2} < [\sigma_A] = 4300 \frac{кгс}{см^2}$$

Так как $N_T = -133$ кГс < 0, проверяем трубы на устойчивость.

Условие устойчивости:

$$\sigma_{1T} \leqslant \varphi_T [\sigma]_T$$

$$\varphi_T = f(\lambda); \lambda = 1,3 \sqrt{\frac{[\sigma]_T}{E_T}} \cdot \frac{l_R}{(d_T - S_T)} =$$

$$= 1,3 \sqrt{\frac{1600}{1,99 \cdot 10^6}} \cdot \frac{150}{(2,5 - 0,2)} = 2,4; \quad \varphi_T = 0,18$$

$$92 \frac{кгс}{см^2} < 0,18 \cdot 1600 = 288 \frac{кгс}{см^2}$$

Проверка прочности крепления трубы в решетке.

В случае крепления труб к решетке методом приварки, должно выполняться условие:

$$\tau = \frac{|N_T| d_T + 4|M_T|}{\pi d_T^2 \delta} \leqslant \varphi_c \min\{[\sigma]_T; [\sigma]_p\}$$

$$\tau = \frac{133 \cdot 2,5 + 4 \cdot 24}{3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 0,2} = 109 < 0,29 \cdot 1480 = 429$$

$$\varphi_c = \min\{0,5; (0,95 - 0,2 \lg N)\} = 0,29.$$

$$109 \frac{кгс}{см^2} < 429 \frac{кгс}{см^2}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Справочное

Термины, используемые в руководящем документе, и их условные обозначения

Термин	Условное обозначение
Внутренний радиус кожуха, мм (см)	a
Расстояние от оси пучка до оси наиболее удаленной трубы, мм (см)	a_n
Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, мм (см)	a_1
Ширина канавки под прокладку в многоходовом аппарате, мм (см)	b_n
Ширина перегородки, мм (см)	$b_{пер.}$
Расчетная прибавка к толщине трубной решетки, мм (см)	c
При назначении величины "С" следует учитывать коррозию, как со стороны трубного, так и межтрубного пространства	
Расчетная прибавка к толщине перегородки, мм (см)	c_n
Расчетная прибавка к толщине стенки кожуха, мм (см)	$c_к$
Внутренний диаметр кожуха, мм (см)	D
Диаметр окружности, вписанной в максимальную беструбную площадь, мм (см)	$D_б$
Наружный диаметр компенсатора, мм (см)	$D_к$
Средний диаметр прокладки, мм (см)	$D_{сп}$
Внутренний диаметр расширителя, мм (см)	D_1
Внутренний диаметр компенсатора, мм (см)	$d_к$
Наружный диаметр трубы, мм (см)	$d_т$
Диаметр отверстия в решетке, мм (см)	$d_о$
Модули продольной упругости материалов решетки, камеры, кожуха, труб и компенсатора, МПа (кгс/см^2)	$E_р, E_б, E_к, E_т, E_{кон.}$
Модули продольной упругости материалов фланцев кожуха и камеры, МПа (кгс/см^2)	E_1, E_2

Термин	Условное обозначение
Ширина тарелки фланца кожуха и камеры, мм (см)	b_1, b_2
Толщина тарелки фланца кожуха и камеры, мм (см)	h_1, h_2
Количество труб	i
Жесткость компенсатора, Н/мм (кгс/см)	$K_к$
Эффективный коэффициент концентрации напряжений	$K_б$
Коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н.мм (кгс/см)	$K_ф$
Длина перегородки в трубном пространстве, мм (см)	$L_{пер.}$
Длина расширителя, мм (см)	$l_р$
Половина длины труб, мм (см)	l
Глубина развальцовки труб, мм (см)	$l_в$
Расчетная длина труб при продольном изгибе, мм (см),	l_R
Длина расширителя, мм (см)	$L_р$
Максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм (см)	l_{1R}
Максимальный пролет трубы между перегородками, мм (см)	l_{2R}
Максимальный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки, Н.мм/мм (кгс/см)	M_{max}
Изгибающий момент, распределенный по периметру трубной решетки, Н.мм/мм (кгс/см)	M
Изгибающий момент, распределенный по периметру перфорированной части трубной решетки, Н.мм/мм (кгс.см/см)	$M_а$
Изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, Н.мм/мм (кгс.см/см)	$M_к$
Количество циклов нагружения за расчетный срок службы (если количество циклов нагружения не оговорено, рекомендуется принимать $N = 2000$)	N
Момент инерции поперечного сечения трубы, $мм^4$ ($см^4$)	$J_т$
Изгибающий момент, действующий на трубу, Н.мм(кгс/см)	$M_т$
Осевая сила, действующая на трубу, Н (кгс)	$N_т$

Термин	Условное обозначение
Число вол линз (волн) компенсатора	n
Перепад давлений между ходами по трубному пространству МПа (кгс/см 2)	ΔP
Расчетное давление в межтрубном пространстве, МПа (кгс/см 2)	$P_м$
Расчетное давление в трубном пространстве, МПа (кгс/см^2)	$P_т$
Расчетное давление, МПа (кгс/см^2). Принимается равным максимально возможному перепаду давлений, действующих на решетку	P_R
Перерезывающая сила, распределенная по периметру перфорированной части трубной решетки, Н/мм (кгс/см)	Q_a
Усилие, распределенное по периметру кожуха, Н/мм (кгс/см)	$Q_к$
Допускаемая нагрузка на единицу условной поверхности соединения трубы с решеткой, МПа (кгс/см^2)	$[q]$
Радиусы центров тяжести тарелок фланцев кожуха и камеры, мм (см)	R_1, R_2
Толщина стенки кожуха, мм (см)	$S_к$
Толщина трубной решетки в сечении канавки, мм (см)	S_n
Эквивалентная толщина втулки фланца, определяется по ОСТ 26-373-78, мм (см)	S_9
Толщина трубных решеток, мм (см)	$S_{р1}, S_{р2},$
Толщина стенки трубы, мм (см)	$S_т$
Толщина стенки кожуха и камеры в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм (см)	S_1, S_2
Толщина решетки в зоне кольцевой канавки, мм (см)	$S_{1р}$
Толщина перегородки по трубному пространству, мм(см)	$S_{пер}$
Осевая сила, действующая на кожух, Н)(кгс)	F
Перерезывающая сила, распределенная по периметру трубной решетки, Н/мм (кгс/см)	Q

Термин	Условное обозначение
Расстояние между осями рядов отверстий, расположенных с двух сторон от паза, мм (см)	t_n
Шаг расположения отверстий в решетке, мм (см)	t_p
Средняя температура стенки кожуха, стенок труб и температура сборки аппарата, °С ($t_o \approx 20$°С)	$t_к, t_т, t_o$
Коэффициенты линейного расширения материалов кожуха и труб, I/°С при температурах $t_к$ и $t_т$, соответственно	$\alpha_к, \alpha_т$
Высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке, мм (см)	s
Толщина стенки компенсатора и расширителя, мм (см)	$\delta_к, \delta_р$
Допускаемая амплитуда упругих напряжений, МПа (кгс/см^2)	$[\sigma_A]$
Допускаемые напряжения для материалов кожуха, труб, решетки, перегородки соответственно, МПа (кгс/см^2)	$[\sigma]_к, [\sigma]_т, [\sigma]_р, [\sigma]_п$

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

I. Разработан ВНИИнефтемашем, НИИхиммашем, УкрНИИхиммашем.

Исполнители:
Г. В. Мамонтов, канд. техн. наук; В. П. Мишин; А. Г. Вихман, канд. техн наук; А. М. Бубакин; С. И. Зусмановская; канд. техн. наук; Т. В. Булчинская, Б. С. Вольфсон (отв.исполнитель) ; В. А. Волошина; Л. П. Перцев, докт. техн. наук; В. Н. Стогний; П. С. Марченко, канд. техн. наук, (отв. исполнитель), В.И.Рачков, канд.техн.наук.

2. Утвержден Министерством химического и нефтяного машиностроения.
3. Взамен ОСТ 26-II85-8I.
4. Ссылочные нормативно-технические документы

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения
ГОСТ I4249-80	Вводная часть, п 2.2.6.4.; приложение 7.
ГОСТ 25859-83	2.2.6.2; 2.2.7.2.
ОСТ 26-29I-87	Вводная часть.
ОСТ 26-37 3-78	приложение 7.
ОСТ 26-427 -80	2.I.2.2.; 2.2.2.2. 4 2.2.2.3. 4 2.2.2.4. ; приложение 4.
ОСТ 26-428-80	приложение 4.
ОСТ 26-02-I015-85	I.2.
ОСТ 26-I7-0I-83	I.2.

gost.e-ecolog.ru