

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

СОСУДЫ И АППАРАТЫ
НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА
ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛО-
ОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

РД 26-14-88

Издание официальное

ВНИИНЕФТЕМАШ
Москва 1988 г

УДК

Группа Г - 02

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

СОСУДЫ И АППАРАТЫ. НОРМЫ
И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧ-
НОСТЬ.

РД 26-14-88

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ
АППАРАТОВ.
ОКП

Дата введения 01.07.89

Настоящий руководя-

щий документ (нормы 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 26-291-87, ГОСТ 14249-80.

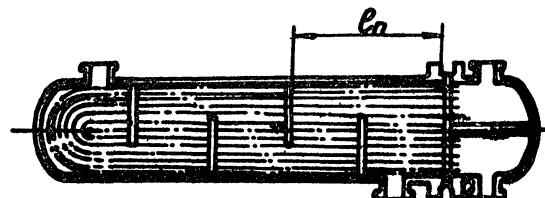
Схемы аппаратов, компенсатора, узлов крепления решетки к фланцу и схема для определения диаметра окружности, вписанной в максимальную беструбную зону, приведены на черт. I + 9.

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

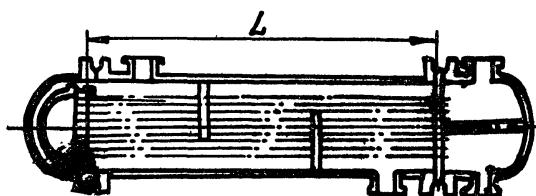
Перепечатка воспрещена

Аппарат с \mathcal{V} - образными трубами



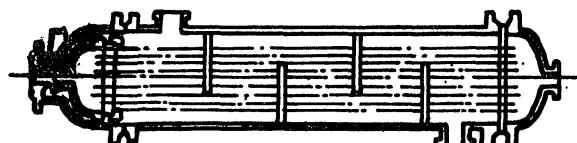
Черт.1

Аппарат с плавающей головкой



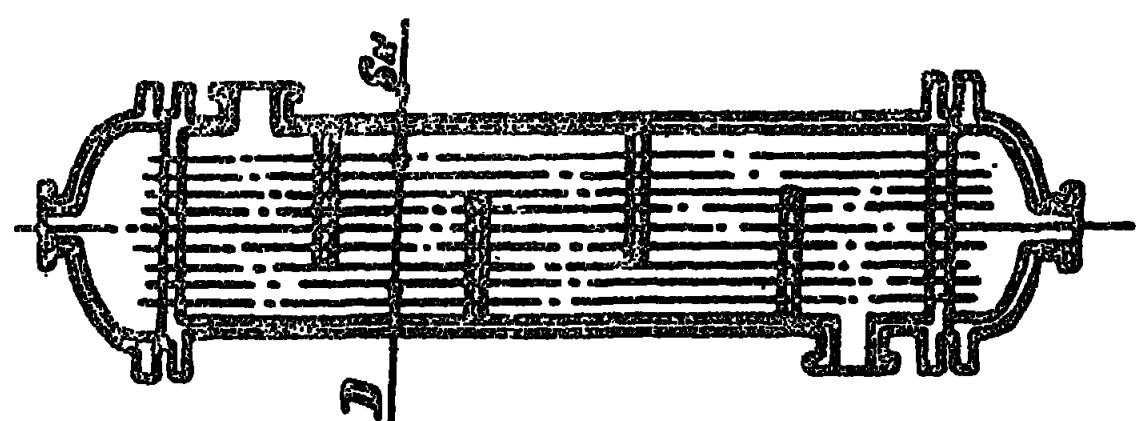
Черт.2

Аппарат с компенсатором на плавающей головке



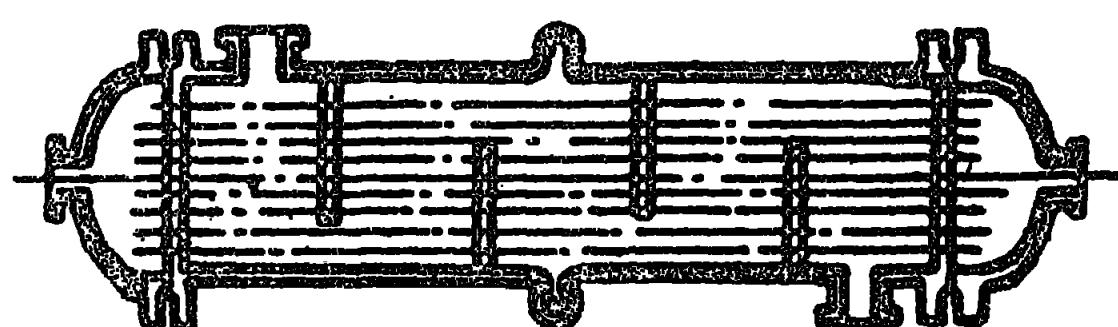
Черт.3

Аппарат с испарением трубчатых разогревателей



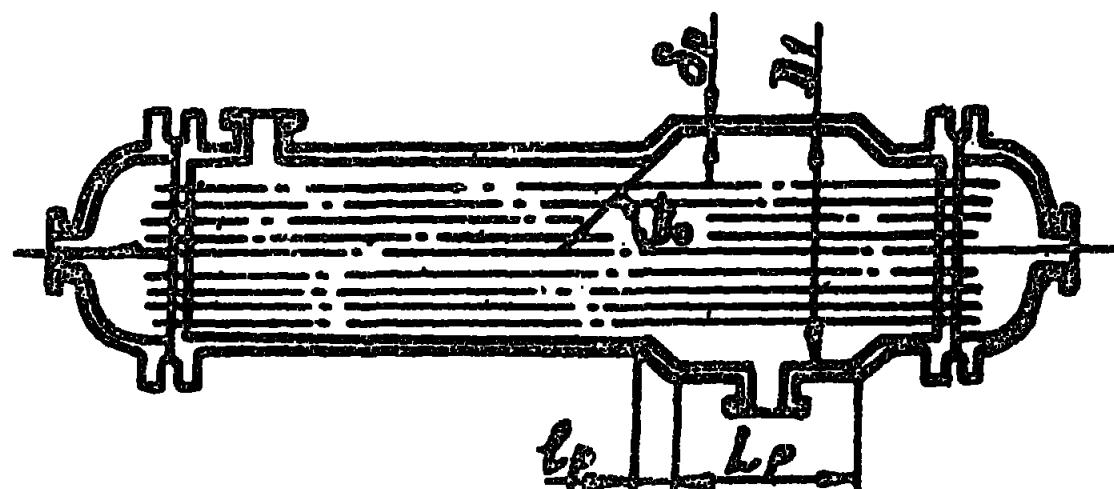
Черт 4

Аппарат с компенсатором на воздухе



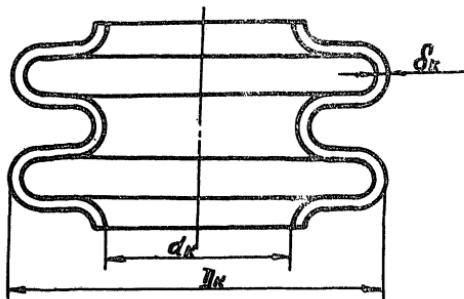
Черт 5

Аппарат с расширением на воздухе



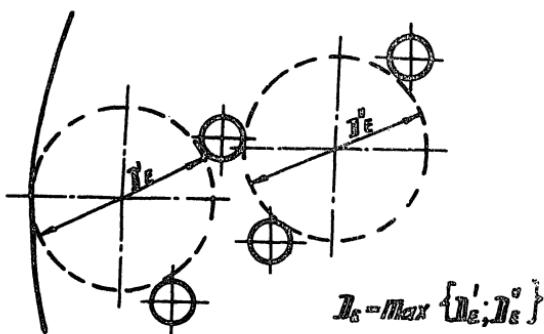
Черт 6

Компенсатор



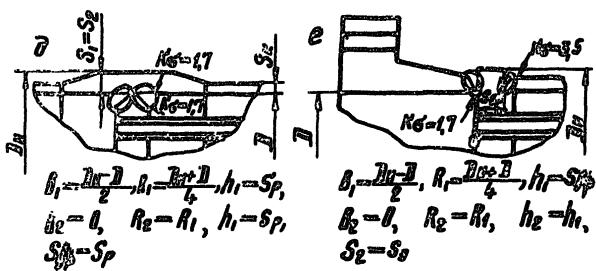
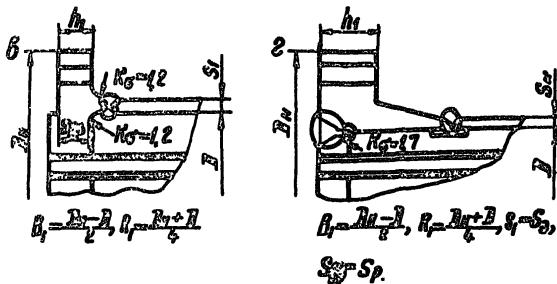
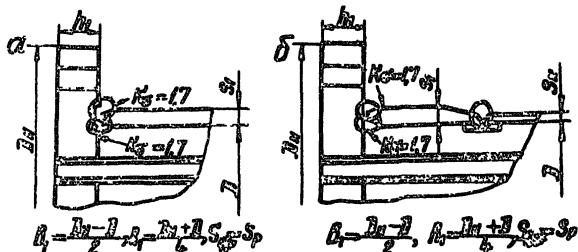
Черт. 7.

Схема для определения диаметра окружности, вписанной в максимальную бесструбную зону



Черт. 8

Крашенно розетки к фланцу или втулку



I. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТОЛЩИНЕ ТРУБНОЙ РЕШЕТКИ.

I.1. Толщина трубной решетки назначается конструктивно с последующей проверкой по рисункам I, 2, 3

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

Минимальная толщина решеток стандартных теплообменных аппаратов и специальных аппаратов, выпускаемых на базе стандартных, должны отвечать требованиям ОСТ 26-17-01-83 и ОСТ 26-02-1015-85.

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:

$$S_p > 0,5 D_E \sqrt{\frac{P_R}{[\sigma]_p}} + C, \text{ мм(см)} \quad (I)$$

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 \mathcal{V} -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:

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

2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ С НЕПОДВИЖНЫМИ ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ, КОМПЕНСАТОРОМ ИЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ НА КОЖУХЕ.

2.1. Вспомогательные величины.

2.1.1. Основные параметры трубной решетки.

2.1.1.1. Относительная характеристика беструбного края:

$$M_n = \frac{a}{a_1} \quad (3)$$

2.1.1.2. Коэффициенты влияния давления на трубную решетку:

$$\eta_m = 1 - \frac{i d_r^2}{4 a_1^2} \quad (4)$$

$$\eta_r = 1 - \frac{i (d_r - 2 S_r)^2}{4 a_1^2} \quad (5)$$

2.1.1.3. Коэффициент ослабления трубной решетки

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_o}{t} \quad (6)$$

2.1.1.4. Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_o определяется по табл. I. в зависимости от η_r :

Таблица I

η_r	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

^х - если теплообменник имеет трубный пучок смешенный 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 $i(a_1/a_n)^2$

2.1.2. Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

2.1.2.1. Модуль упругости основания (системы труб):

$$K_y = \frac{E_t (\gamma_r - \gamma_m)}{\ell} \cdot \frac{1}{\text{мм}^3} \cdot \frac{(\text{кгс})}{\text{см}^3} \quad (7)$$

2.1.2.2. Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха:

$$\beta = \frac{K_y d_t l}{E_k S_k} \quad (8)$$

2.1.2.3. Коэффициенты изменения жесткости системы трубы-кожух:

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

$$K_p^* = I + K_p \quad (10)$$

- 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.

2.1.3. Приведенное давление

$$P_0 = [a_k(t_k - t_0) - \alpha_t(t_t - t_0)] K_y \cdot l + \\ + [\gamma_t - 1 + m_{cp} + m_n(m_n + 0,5 \beta K_q)] P_t - \\ - [\gamma_m - 1 + m_{cp} + m_n(m_n + 0,3 \beta K_p)] P_m, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (11)$$

где

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i(d_t - S_t)^2}{a_1^2} \quad (12)$$

2.2. Определение усилий в элементах аппаратов и расчет на прочность

2.2.1. Для конструкций теплообменных аппаратов, имеющих $K_y < 1,7$ (черт. 9), предназначенных для работы под давлением не более 6,3 МПа (63 кгс/см²) и перепаде температур труб и кожуха не более 40°C, при соблюдении условия $\frac{a - a_1}{S_p} \leq 3$ 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

2.2.2.1. Коэффициент системы решетка-трубы:

$$\beta = \frac{1,82}{S_p} \sqrt[4]{\frac{K_y S_p}{\psi_0 E_p}}, \quad \frac{I}{\text{мм}} \left(\frac{I}{\text{см}} \right) \quad (13)$$

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

$$\beta = 1,53 \sqrt[4]{\frac{K_y}{\psi_0} \left(\frac{1}{E_{p1} S_{p1}^3} + \frac{1}{E_{p2} S_{p2}^3} \right)}, \quad \frac{I}{\text{мм}} \left(\frac{I}{\text{см}} \right) \quad (14)$$

2.2.2.2. ^x Коэффициенты системы кожух-решетка и обечайка-фланец камеры:

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{\alpha S_1}}, \quad \frac{I}{\text{мм}} \left(\frac{I}{\text{см}} \right) \quad (15)$$

$$\beta_2 = \frac{1,3}{\sqrt{\alpha S_2}}, \quad \frac{I}{\text{мм}} \left(\frac{I}{\text{см}} \right) \quad (16)$$

2.2.2.3. ^x Жесткость фланцевого соединения при изгибе:

$$K_{\varphi} = K_{\varphi 1} + K_{\varphi 2} \quad (17)$$

где:

$$K_{\varphi 1} = \frac{E_1 h_1^3 B_1}{12 R_1^2} + K_1 \left(1 + \frac{\beta_1 h_1}{2} \right), \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \left(\frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}} \right) \quad (18)$$

$$K_{\varphi 2} = \frac{E_2 h_2^3 B_2}{12 R_2^2} + K_2 \left(1 + \frac{\beta_2 h_2}{2} \right), \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \left(\frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}} \right) \quad (19)$$

$$K_1 = \frac{\beta_1 \alpha E_1 S_1^3}{5,5 R_1}, \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \left(\frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}} \right) \quad (20)$$

$$K_2 = \frac{\beta_2 \alpha E_2 S_2^3}{5,5 R_2}, \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{мм}} \left(\frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}} \right) \quad (21)$$

^x Коэффициенты $\beta_1, \beta_2, K_{\varphi 1}, K_{\varphi 2}, K_1, K_2, m_1, m_2$ для конструкций по черт. 92, 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:

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

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

2.2.2.5. Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения:

$$\beta_1 = \frac{K_y Q \cdot Q_1}{\beta^2 k_p R_1} \quad (24)$$

2.2.2.6. Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края решетки и поддерживающие влияние труб Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , определяются по табл. 2.Значения Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 определяются по таблице в зависимости от $\omega = \beta Q_1$ (25)

Таблица 2

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	5,33
Φ_2	0	0,02	0,19	0,62	1,32	2,16	2,94	3,50
Φ_3	0	0,19	0,76	1,65	2,75	3,76	4,65	5,33
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	$\sqrt{2} (1)$
Φ_2	4,13	5,13	6,15	7,17	8,19	9,20	10,21	(1)
Φ_3	6,03	7,38	8,81	10,24	11,66	13,08	14,50	$\sqrt{2} (1)$

2.2.2.7. Значения T_1 , T_2 и T_3 определяются по табл. 3 в зависимости от ω и M_n или по формулам:

$$T_1 = \Phi_1 [m_n + 0,5(1 + m_n t)(t - 1)] \quad (26)$$

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

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

где: $t = 1 + 1,4 \omega (m_n - 1)$ (29)

Таблица 3

Mn	ω														
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
T_1															
I,0	2,00	2,00	2,06	2,28	2,79	3,58	4,50	5,39	6,19	7,65	9,08	10,5	II,9	13,4	14,8
I,1	2,20	2,35	2,59	3,07	4,02	5,51	7,39	9,44	II,6	I6,2	21,6	28,1	35,6	44,3	54,3
I,2	2,40	2,73	3,21	4,04	5,61	8,14	II,5	I5,5	I9,8	30,2	43,4	60,0	80,4	I05	I34
I,3	2,60	3,14	3,92	5,22	7,64	II,6	I7,1	23,9	31,6	50,8	76,3	I09	I51	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	251	341	450
I,5	3,00	4,07	5,67	8,35	I3,3	21,6	33,7	49,3	68,0	II6	I83	273	387	529	703
T_2															
I,0	0,00	0,02	0,19	0,62	I,32	2,16	2,94	3,59	4,13	5,13	6,13	7,17	8,19	9,20	10,2
I,1	0,00	0,02	0,22	0,75	I,69	2,92	4,18	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	7,13	8,79	I2,4	I6,6	I1,3	26,7	32,5	39,0
I,3	0,00	0,02	0,27	I,01	2,44	4,44	6,67	8,90	II,1	I6,0	I1,8	28,4	35,9	44,2	53,4
I,4	0,00	0,03	0,30	I,14	2,81	5,21	7,91	I0,7	I3,4	I9,6	27,0	35,5	45,1	55,9	67,8
I,5	0,00	0,03	0,32	I,28	3,18	5,97	9,16	I2,4	I5,8	23,2	32,2	42,5	54,4	67,6	82,2
T_3															
I,0	0,00	0,19	0,76	I,65	2,75	3,76	4,65	5,36	6,03	7,38	8,81	I0,2	II,7	I3,1	I4,5
I,1	0,00	0,21	0,84	I,81	3,02	4,14	5,11	5,90	6,63	8,12	9,69	II,3	I2,8	I4,4	I5,9
I,2	0,00	0,23	0,91	I,98	3,30	4,51	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	2,14	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	2,31	3,85	5,26	6,51	7,50	8,44	I0,3	I2,3	I4,3	I6,3	I8,3	20,3
I,5	0,00	0,28	I,14	2,47	4,12	5,64	6,97	8,04	9,04	II,1	I3,2	I5,4	I7,5	I9,6	I2,7

2.2.3. Усилия в элементах конструкции.

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

$$M = \left(\frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{P_1(T_1 + \beta K_q) - P_2 T_2}{(T_1 + \beta K_q)(T_3 + \beta p_1) - T_2^2}, \text{ Н.мм (кгс.см)} \quad (30)$$

$$Q = a_1 \frac{P_2(T_3 + p_1) - P_1 T_2}{(T_1 + \beta K_q)(T_3 + \beta p_1) - T_2^2}, \text{ Н.мм (кгс)} \quad (31)$$

где $P_1 = \frac{K_y}{\beta K_p} (m_1 P_M - m_2 P_T)$, Н.а (кгс/см²) (32)

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

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

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

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

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

$$M_T = \frac{E_T \eta_T \beta}{K_y a_1} (\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a), \text{ Н.мм (кгс.см)} \quad (36)$$

2.2.3.4. Усилия в кожухе

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

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

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

ℓ_{np} определяется по формулам, приведенным в п. 2.2.7.4.

2.2.4. Расчетные напряжения в элементах конструкции.

2.2.4.1. Расчетные напряжения в трубных решетках.

Напряжение в трубной решетке в месте соединения с колпуком:

$$\text{-- изгибающие: } \sigma_{p1} = \frac{6|M|}{(S_p - C)^2}, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (40)$$

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

Напряжение в перфорированной части трубной решетки:

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

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

здесь: M_{max} - максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решеткиПри $-1,0 < \frac{\beta Ma}{Qa} < 1,0$ - M_{max} определяется по формуле:

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

где: A - коэффициент, определяемый по табл. 4, в зависимости от

$$m = \frac{\beta Ma}{Qa}$$

При $\frac{\beta Ma}{Qa} < -1,0$ и $\frac{\beta Ma}{Qa} > 1,0$ - M_{max} определяется по

формуле:

$$M_{max} = B|Ma|, \text{ Н.мм (кгс.см)} \quad (45)$$

где: B - коэффициент, определяемый по табл. 5, в зависимости от

$$n = Qa / \beta Ma$$

Таблица 4

Коэффициент А

m	ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	>10
-1,0	0,726	0,754	0,783	0,813	0,858	0,878	0,895	0,898
-0,9	0,656	0,683	0,712	0,740	0,781	0,797	0,802	0,811
-0,8	0,586	0,613	0,641	0,668	0,705	0,716	0,720	0,724
-0,7	0,516	0,543	0,570	0,596	0,628	0,636	0,637	0,637
-0,6	0,446	0,473	0,500	0,524	0,551	0,555	0,554	0,550
-0,5	0,376	0,403	0,429	0,451	0,474	0,474	0,471	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	0,313	0,305	0,289
-0,2	0,166	0,192	0,274	0,355	0,305	0,273	0,289	0,308
-0,1	0,096	0,216	0,338	0,408	0,337	0,319	0,338	0,359
0	0,144	0,284	0,402	0,461	0,376	0,370	0,392	0,414
0,1	0,214	0,353	0,466	0,514	0,420	0,426	0,450	0,474
0,2	0,284	0,422	0,530	0,567	0,470	0,485	0,511	0,537
0,3	0,354	0,491	0,593	0,620	0,523	0,546	0,575	0,603
0,4	0,424	0,559	0,657	0,672	0,580	0,610	0,641	0,671
0,5	0,494	0,628	0,721	0,725	0,639	0,677	0,709	0,742
0,6	0,564	0,697	0,785	0,778	0,701	0,745	0,779	0,814
0,7	0,634	0,766	0,849	0,831	0,765	0,814	0,851	0,883
0,8	0,704	0,834	0,913	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	1,040
1	0,843	0,972	1,041	0,991	0,964	1,030	1,071	1,117

Таблица 5

Коэффициенты В

n	ω							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	≥10
1,0	0,843	0,972	1,041	0,991	0,964	1,029	1,071	1,117
0,9	0,829	0,943	1,000	0,949	0,940	1,000	1,040	1,083
0,8	0,815	0,914	0,960	0,908	0,910	0,971	1,009	1,051
0,7	0,800	0,886	0,920	0,871	0,884	0,944	0,979	1,020
0,6	0,786	0,858	0,880	0,836	0,860	0,918	0,951	0,990
0,5	0,771	0,829	0,840	0,804	0,839	0,894	0,925	0,953
0,4	0,757	0,801	0,799	0,777	0,819	0,871	0,900	0,938
0,3	0,742	0,773	0,761	0,754	0,802	0,852	0,878	0,915
0,2	0,728	0,744	0,732	0,737	0,789	0,836	0,860	0,898
0,1	0,714	0,716	0,714	0,727	0,780	0,823	0,846	0,882
0	0,700	0,702	0,709	0,725	0,776	0,816	0,837	0,874
-0,1	0,703	0,707	0,716	0,732	0,778	0,815	0,835	0,873
-0,2	0,705	0,712	0,723	0,741	0,787	0,821	0,841	0,876
-0,3	0,708	0,717	0,730	0,750	0,796	0,828	0,846	0,879
-0,4	0,711	0,722	0,738	0,759	0,805	0,835	0,852	0,882
-0,5	0,713	0,728	0,745	0,768	0,814	0,842	0,857	0,884
-0,6	0,716	0,733	0,753	0,777	0,823	0,850	0,863	0,887
-0,7	0,718	0,728	0,760	0,786	0,832	0,857	0,869	0,890
-0,8	0,721	0,743	0,768	0,795	0,841	0,864	0,874	0,893
-0,9	0,723	0,748	0,775	0,804	0,849	0,871	0,880	0,895
-1,0	0,726	0,754	0,783	0,813	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:

$$\sigma_{Mx} = \frac{|Q_K|}{(S_1 - C_K)} , \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (46)$$

- изгибающие:

$$\sigma_{Ux} = \frac{6|M_K|}{(S_1 - C_K)^2} , \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (47)$$

- в окружном направлении:

- мембранные:

$$\sigma_{M\varphi} = \frac{|P_M| \alpha}{(S_1 - C_K)} , \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (48)$$

- изгибающие:

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

2.2.4.3. Расчетные напряжения в трубах

- в осевом направлении:

$$\sigma_{1T} = \frac{|N_T|}{2(d_T - S_T)S_T} , \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (50)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1T} + \frac{d_T|M_T|}{2J_T} , \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (51)$$

- окружном направлении:

$$\sigma_{2T} = \frac{(d_T + S_T) \max\{|P_T|, |P_M|, |P_T - P_M|\}}{2 S_T} , \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (52)$$

2.2.5. Расчет трубных решеток на прочность и жесткость

2.2.5.1. Условие статической прочности трубной решетки:

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

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 колпуком:

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

$K\sigma$ - по черт. 9

- в перфорированной части

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_{p2}; \Delta \sigma_2 = \Delta \sigma_3 = 0; K\sigma = 1 \quad (55)$$

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:

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

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:

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

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

Таблица 6

D	$D \leq 0,6 \text{ м}$	$0,6 \text{ м} < D < 1 \text{ м}$	$1 \text{ м} < D \leq 2 \text{ м}$	$D > 2 \text{ м}$
$[W]$	$0,7 \text{ мм} (0,07 \text{ см})$	$0,9 \text{ мм} (0,09 \text{ см})$	$1,1 \text{ мм} (0,11 \text{ см})$	$1,2 \text{ мм} (0,12 \text{ см})$

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.

2.2.6.1. Условия статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

$$\sigma_{Mx} \leq 1,3 [\sigma]_K \quad (58)$$

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

При проверке кожуха на малоциклическую прочность следует принимать:

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_{Mx} + \sigma_{Cx}; \Delta \sigma_2 = \sigma_{M\varphi} + \sigma_{C\varphi}; \Delta \sigma_3 = 0 \quad (59)$$

K_{σ} - по черт. 9

2.2.6.3. Если условие прочности кожуха в месте соединения с разъемом по п. 2.2.6.1. или п. 2.2.6.2. не выполняется, можно установить переходной косой утолщенный торец длиной не более $2\sqrt{D_3 t}$.

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

2.2.7. Рассчет труб на прочность, устойчивость и жесткость и расчет прошивки труб в рабочем.

2.2.7.1. Условие статической прочности труб:

$$\max \{ \sigma_{1t} ; \sigma_{2t} \} < [\sigma]_t ; \quad (60)$$

2.2.7.2. Проверка труб на изодинамовую прочность производится по ГОСТ 25859-83. В случае, если при расчете давления устойчивая ползучесть материала, допускается производить проверку на изодинамовую прочность по Приложению З.

При проверке труб на изодинамовую прочность следует принимать:

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_1 ; \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0 ; \quad K_3 = 1 \quad (61)$$

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

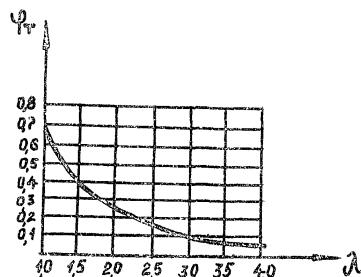
$$\sigma_{1t} \leq \psi_t [\sigma]_t ; \quad (62)$$

где: Ψ_T - коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе определяется по черт. II в зависимости от λ .

$$\lambda = 1,5 \sqrt{\frac{[G]_T}{E_T}} \cdot \frac{\ell_R}{(d_T - S_T)} \quad (63)$$

где: $\ell_R = \ell$ - для аппаратов без перегородок в кожухе.

$$\ell_R = \max \{ \ell_{2R}; 0,7 \ell_{1R} \}$$



Черт. II

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 производится только при $N_T < 0$.

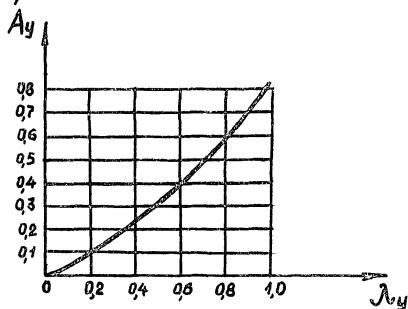
Прогиб трубы:

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

здесь: A_y - коэффициент, определяемый по графику черт. II в зависимости от λ_y :

$$\lambda_y = \frac{|N_T| \ell_{np}^2}{E_T y_T} \quad (65)$$

где:

 $\ell_{np} = \ell$ - для аппаратов без перегородок в кожухе. $\ell_{np} = \ell_{1R}/3$ - 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 развалцовки, должно выполняться условие:

$$|N_t| \leq [N]_{tr} \quad (66)$$

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

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

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

$$\tau = \frac{|N_t|d_t + 4|M_t|}{\pi d_t^2 \delta} \leq \varphi_c \min\{[\sigma]_t, [\sigma]_p\} \quad (67)$$

где:

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

$$\text{МПа (кгс/см}^2\text{)} \quad (68)$$

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

$$\frac{\varphi_c \min\{[\sigma]_t, [\sigma]_p\}}{\tau} \cdot \frac{|N|_{tp}}{|N_t|} \geq 1 \quad (69)$$

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

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

$$S_p \geq S_p^p + C \quad (70)$$

где:

$$S_p^p = \frac{D_{ch}}{4,2} \sqrt{\frac{\rho_r}{\varphi_e [\sigma]_p}}, \text{ мм(см)} \quad (71)$$

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

определять по формуле:

$$S_p^p = 0,82 \alpha_1 \sqrt{\frac{P_R}{\varphi_E [\sigma]_p}} \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{2\alpha_1 + 1,5 \frac{D_{cn}}{\alpha_1} (D_{cn} - 2\alpha_1)}{D_{cn} - 2\alpha_1 (1 - \varphi_E)}} \varphi_E + \frac{P_R}{\varphi_E [\sigma]_p} \right\} \text{ мм (см)} \quad (72)$$

3.3. Эффективный коэффициент ослабления φ_E определяется по формуле:

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

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, закреплёнными 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:

$$S_{pr} \geq \max \left\{ 0,71 \sqrt{\frac{P_R}{[\sigma]_p} (D_{cn} - D_B)}; 0,5 D_{cn} \frac{P_R}{[\sigma]_p} \right\} + c, \text{ мм (см)} \quad (74)$$

4. ПЕРЕГОРОДКИ МЕЖДУ ХОДАМИ ПО ТРУБНОМУ ПРОСТРАНСТВУ

Толщина перегородки должна отвечать условию:

$$S_{\text{nep}} \geq 0,71 \delta_{\text{nep}} \sqrt{\frac{\Delta P \cdot f_n}{[G]_h}} + C_n \quad (75)$$

где:

$$f_n = \frac{1}{1 + \frac{b_{\text{nep}}}{L_{\text{nep}}} + \left(\frac{b_{\text{nep}}}{L_{\text{nep}}} \right)^2} \quad (76)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Обязательное

Определение коэффициентов изменения жесткости K_q^x и K_p^x для аппаратов с компенсатором или расширителем на кожухе.

Коэффициент K_q^x 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^x 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^x и K_p^x для аппаратов с компенсатором на расширителе допускается определять, как суммы соответствующих величин для аппаратов с компенсатором и расширителем.

При определении Коэффициентов K_q^x и K_p^x не учитывают влияние трубного пучка и равнодействующую внутреннего давления, действующую на края корпуса в осевом направлении.

Допускается определять значения коэффициентов K_q^x и K_p^x с помощью численных методов теории пластин и оболочек.

Для аппаратов с компенсатором на кожухе коэффициенты K_q^x и K_p^x могут быть определены по формулам:

$$K_q^* = \frac{\pi a E_k S_k}{l \cdot K_k}$$

$$K_p^* = - \frac{\pi (D_k^2 - d_k^2) E_k \cdot S_k}{4,8 l_a K_k}$$

Жесткость компенсатора K_K следует определять по действующей нормативно-технической документации.

Для ненормализованных компенсаторов допускается определять осевую жесткость по формуле:

$$K_K = \frac{E_{KOM} \cdot \delta_K^3}{\rho_{KOM} \alpha_K^2} A_K \quad , \text{Н/мм (кг с/см)}$$

где:

$$A_K = \frac{6,8 \beta_K (1 + \beta_K)}{C_f (1 - \beta_K)^3}$$

$$\beta_K = \frac{d_K}{D_K}$$

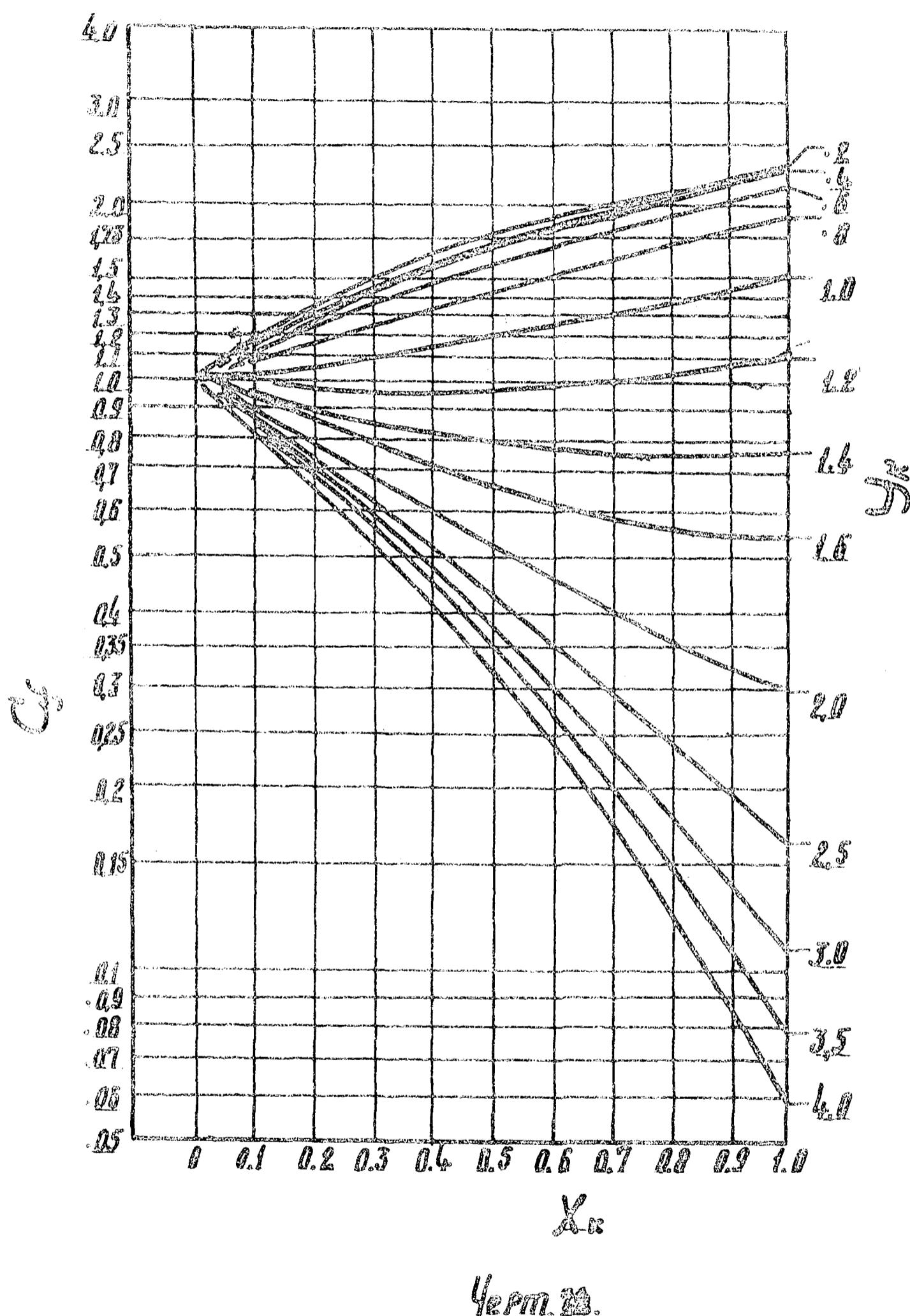
C_f - определяется по графику черт. 12 в зависимости от

$$X_K = \frac{4 \Gamma_K \beta_K}{d_K (1 - \beta_K)} \quad \text{и} \quad Y_K = \frac{2,57 \Gamma_K}{\sqrt{d_K \delta_K (1 + \frac{1}{\beta_K})}}$$

Для аппаратов с расширителем на колюке при $\beta_0 = 90^\circ$ коэффициенты K_q^* и K_p^* могут быть определены по формулам:

$$K_q^* = \frac{\alpha S_K}{\ell} \left(\frac{\pi E_K}{K_{рас.}} + \frac{h_p}{S_p D_1} \right)$$

$$K_p^* = - \frac{\alpha S_K}{\ell \beta_p^2} \left\{ \left(1 - \frac{\beta_p^2}{4,8} \right) \left[\frac{\pi E_K}{K_{рас.}} + \frac{h_p}{S_p D_1} \right] - 0,5 \frac{\pi h_p}{S_p D_1} \right\}$$



где:

$$\beta_p = \frac{\Phi}{\Phi_1}$$

$$K_{pac.} = \frac{E_k \beta_p^3}{\Phi^2} A_p$$

A_p - определяется по табл. 7, в зависимости от β_p

Таблица 7

Коэффициенты A_p

β_p	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58
A_p	23,4	26,0	29,0	32,3	35,9	40,1	44,8	50,0
β_p	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66
A_p	56,0	62,7	70,3	78,9	88,8	100	113	128
β_p	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74
A_p	145	164	187	214	245	281	324	375
β_p	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82
A_p	436	509	597	704	834	996	1197	1451
β_p	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9
A_p	1770	2190	2740	3460	4450	5820	7770	10600

Для аппаратов с расширителем на кожухе при $15^\circ \leq \beta_p \leq 60^\circ$
коэффициенты K_q^k и K_p^k могут быть определены по формулам:

$$K_q = \frac{a(A_{p1} + A_{p2} \sqrt{D_1/S_K}) - 0.5(1-\beta_p) L_p}{\ell}$$

$$K_p = \frac{(B_{p1} + B_{p2} \sqrt{D_1/S_K}) a}{\ell}$$

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 радиатором на кожухе.

Таблица 8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,36	15°	8,695	0,204	-1,452	0,498
	30°	5,60	0,899	-7,650	2,144
	45°	5,939	2,436	-20,866	5,813
	60°	9,698	6,145	-60,596	14,664
0,36	15°	8,462	0,205	-1,525	0,457
	30°	5,449	0,903	-7,278	2,010
	45°	5,779	2,449	-19,675	5,450
	60°	9,438	6,177	-56,996	13,748
0,37	15°	8,235	0,207	-1,586	0,429
	30°	5,303	0,908	-6,932	1,887
	45°	5,624	2,461	-18,575	5,116
	60°	9,185	6,209	-53,677	12,906
0,38	15°	8,014	0,208	-1,636	0,403
	30°	5,160	0,913	-6,608	1,774
	45°	5,473	2,474	-17,557	4,808
	60°	8,938	6,241	-50,609	12,129
0,39	15°	7,799	0,209	-1,677	0,380
	30°	5,022	0,917	-6,306	1,669
	45°	5,327	2,486	-16,612	4,524
	60°	8,698	6,272	-47,768	11,412

Продолжение табл. 8

β_p	β_0	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,40	15°	7,589	0,210	- 1,709	0,357
	30°	4,887	0,922	- 6,022	1,572
	45°	5,183	2,498	- 15,733	4,260
	60°	8,464	6,303	- 45,130	10,747
0,41	15°	7,384	0,211	- 1,733	0,337
	30°	4,755	0,926	- 5,755	1,481
	45°	5,044	2,510	- 14,914	4,016
	60°	8,236	6,333	- 2,678	10,131
0,42	15°	7,185	0,212	- 1,751	0,318
	30°	4,627	0,930	- 5,504	1,398
	45°	4,907	2,522	- 14,149	3,789
	60°	8,014	6,363	- 40,393	9,558
0,43	15°	6,990	0,213	- 1,762	0,300
	30°	4,501	0,935	- 5,267	1,320
	45°	4,774	2,534	- 13,434	3,577
	60°	7,796	6,393	- 38,260	9,024
0,44	15°	6,800	0,214	- 1,768	0,284
	30°	4,379	0,939	- 5,043	1,247
	45°	4,644	2,546	- 12,764	3,380
	60°	7,584	6,422	- 36,266	8,527
0,45	15°	6,613	0,215	- 1,770	0,268
	30°	4,259	0,943	- 4,831	1,179
	45°	4,517	2,557	- 12,135	3,196
	60°	7,376	6,451	- 34,399	8,062

Продолжение табл.8

β_P	β_s	A_{P1}	A_{P2}	B_{P1}	B_{P2}
0,46	15°	6,431	0,216	- I,767	0,254
	30°	4,141	0,947	- 4,631	1,115
	45°	4,393	2,568	- II,544	3,023
	60°	7,173	6,479	-32,647	7,627
0,47	15°	6,253	0,216	- I,760	0,240
	30°	4,027	0,952	- 4,440	1,056
	45°	4,271	2,580	-10,987	2,862
	60°	6,975	6,508	-31,001	7,220
0,48	15°	6,079	0,217	- I,750	0,227
	30°	3,914	0,956	- 4,258	1,000
	45°	4,152	2,591	-10,463	2,711
	60°	6,780	6,536	-29,453	6,838
0,49	15°	5,908	0,218	- I,737	0,216
	30°	3,805	0,960	- 4,085	0,947
	45°	4,035	2,602	- 9,967	2,568
	60°	6,590	6,563	-27,995	6,479
0,50	15°	5,741	0,219	- I,721	0,204
	30°	3,697	0,964	- 3,920	0,898
	45°	3,921	2,613	- 9,499	2,434
	60°	6,403	6,591	-20,619	6,141
0,51	15°	5,577	0,220	- I,702	0,194
	30°	3,591	0,968	- 3,763	0,852
	45°	3,809	2,623	- 9,055	2,306
	60°	6,220	6,618	-25,320	5,823

Продолжение табл. 8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,52	15°	5,416	0,221	- 1,682	0,184
	30°	3,488	0,972	- 3,612	0,808
	45°	3,699	2,634	- 8,635	2,190
	60°	6,041	6,645	-24,091	5,524
0,53	15°	5,258	0,222	- 1,659	0,174
	30°	3,386	0,976	- 3,468	0,766
	45°	3,591	2,645	- 8,236	2,077
	60°	5,865	6,672	-22,927	5,241
0,54	15°	5,103	0,223	- 1,634	0,165
	30°	3,286	0,979	- 3,330	0,727
	45°	3,486	2,655	- 7,856	1,971
	60°	5,692	6,698	-21,824	4,973
0,55	15°	4,951	0,224	- 1,608	0,157
	30°	3,188	0,983	- 3,197	0,690
	45°	3,382	2,665	- 7,496	1,871
	60°	5,523	6,724	-20,778	4,720
0,56	15°	4,802	0,225	- 1,581	0,149
	30°	3,092	0,987	- 3,070	0,655
	45°	3,290	2,676	- 7,152	1,776
	60°	5,356	6,750	-19,784	4,481
0,57	15°	4,656	0,225	- 1,552	0,141
	30°	2,998	0,991	- 2,947	0,622
	45°	3,180	2,686	- 6,825	1,686
	60°	5,193	6,776	-18,839	4,254

Продолжение табл. 8

β_p	β_c	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	C_{p2}
0,58	15°	4,512	0,226	- 1,522	0,134
	30°	2,905	0,995	- 2,829	0,591
	45°	3,081	2,696	- 6,512	1,601
	60°	5,032	6,801	-17,939	4,038
0,59	15°	4,370	0,227	- 1,491	0,128
	30°	2,814	0,998	- 2,716	0,561
	45°	2,985	2,706	- 6,214	1,520
	60°	4,874	6,826	-17,082	3,834
0,60	15°	4,231	0,228	- 1,459	0,121
	30°	2,724	1,002	- 2,606	0,532
	45°	2,890	2,716	- 5,929	1,443
	60°	4,719	6,851	-16,264	3,639
0,61	15°	4,094	0,229	- 1,426	0,115
	30°	2,636	1,006	- 2,500	0,505
	45°	2,796	2,726	- 5,656	1,369
	60°	4,566	6,876	-15,484	3,454
0,62	15°	3,959	0,230	- 1,393	0,109
	30°	2,550	1,009	- 2,398	0,479
	45°	2,704	2,736	- 5,394	1,300
	60°	4,416	6,901	-14,739	3,278
0,63	15°	3,827	0,230	- 1,359	0,103
	30°	2,464	1,013	- 2,299	0,455
	45°	2,614	2,745	- 5,144	1,233
	60°	4,268	6,925	-14,026	3,111

Продолжение табл.8

β_p	β_c	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,64	15°	3,696	0,231	- I,324	0,098
	30°	2,380	1,016	- 2,204	0,431
	45°	2,525	2,755	- 4,903	I,170
	60°	4,123	6,950	- I3,344	2,951
0,65	15°	3,568	0,232	- I,289	0,093
	30°	2,298	1,020	- 2,III	0,409
	45°	2,437	2,764	- 4,672	I,109
	60°	3,979	6,974	- I2,691	2,798
0,66	15°	3,441	0,233	- I,253	0,088
	30°	2,216	1,023	- 2,021	0,388
	45°	2,351	2,774	- 4,451	I,051
	60°	3,838	6,997	- I2,065	2,652
0,67	15°	3,317	0,234	- I,217	0,084
	30°	2,136	1,027	- I,935	0,367
	45°	2,265	2,783	- 4,237	0,996
	60°	3,699	7,021	- II,465	2,513
0,68	15°	3,194	0,234	- I,181	0,079
	30°	2,057	1,030	- I,850	0,348
	45°	2,182	2,792	- 4,032	0,943
	60°	3,563	7,045	- I0,889	2,380

Продолжение табл.8

β_p	β_c	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,69	15°	3,073	0,235	- I, I44	0,075
	30°	I, 979	I, 034	- I, 768	0,329
	45°	2,099	2,802	- 3,834	0,893
	60°	3,428	7,068	- I0,336	2,253
0,70	15°	2,954	0,236	- I, I07	0,071
	30°	I, 902	I, 037	- I, 689	0,312
	45°	2,018	2,811	- 3,644	0,845
	60°	3,295	7,091	- 9,804	2,131
0,71	15°	2,837	0,237	- I, 070	0,067
	30°	I, 827	I, 040	- I, 611	0,294
	45°	I, 937	2,820	- 3,460	0,798
	60°	3,164	7,114	- 9,293	2,014
0,72	15°	2,721	0,237	- I, 033	0,063
	30°	I, 752	I, 044	- I, 536	0,278
	45°	I, 858	2,829	- 3,283	0,754
	60°	3,035	7,137	- 8,801	I, 902
0,73	15°	2,606	0,238	- 0,995	0,060
	30°	I, 678	I, 047	- I, 463	0,262
	45°	I, 780	2,838	- 3,112	0,711
	60°	2,907	7,160	- 8,327	I, 794
0,74	15°	2,494	0,239	- 0,958	0,056
	30°	I, 606	I, 050	- I, 391	0,247
	45°	I, 703	2,847	- 2,946	0,670
	60°	2,782	7,182	- 7,870	I, 691

Продолжение табл. 8

β_p	β_0	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,75	15°	2,383	0,240	- 0,920	0,053
	30°	1,534	1,054	- 1,322	0,233
	45°	1,627	2,856	- 2,786	0,631
	60°	2,658	7,204	- 7,430	1,592
0,76	15°	2,273	0,240	- 0,882	0,050
	30°	1,464	1,057	- 1,254	0,219
	45°	1,552	2,865	- 2,632	0,593
	60°	2,535	7,227	- 7,005	1,497
0,77	15°	2,165	0,241	- 0,845	0,047
	30°	1,394	1,060	- 1,188	0,206
	45°	1,479	2,873	- 2,482	0,557
	60°	2,414	7,249	- 6,595	1,406
0,78	15°	2,058	0,242	- 0,807	0,044
	30°	1,325	1,063	- 1,123	0,193
	45°	1,406	2,882	- 2,337	0,522
	60°	2,295	7,271	- 6,199	1,318
0,79	15°	1,952	0,243	- 0,769	0,041
	30°	1,257	1,066	- 1,060	0,180
	45°	1,333	2,891	- 2,197	0,489
	60°	2,178	7,292	- 5,817	1,233
0,80	15°	1,848	0,243	- 0,732	0,038
	30°	1,190	1,070	- 0,998	0,168
	45°	1,262	2,899	- 2,060	0,456
	60°	2,061	7,314	- 5,447	1,151

РД 26-І4-88

РД 26-ІІ85-88 С. 37

Продолжение табл.8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,81	15°	1,745	0,244	- 0,694	0,036
	30°	1,124	1,073	- 0,938	0,157
	45°	1,192	2,908	- 1,928	0,425
	60°	1,947	7,336	- 5,090	1,073
0,82	15°	1,644	0,245	- 0,656	0,033
	30°	1,058	1,076	- 0,879	0,146
	45°	1,123	2,916	- 1,800	0,395
	60°	1,833	7,357	- 4,743	0,997
0,83	15°	1,543	0,245	- 0,619	0,031
	30°	0,994	1,079	- 0,822	0,135
	45°	1,054	2,925	- 1,676	0,366
	60°	1,721	7,378	- 4,408	0,924
0,84	15°	1,444	0,246	- 0,581	0,028
	30°	0,930	1,082	- 0,766	0,125
	45°	0,986	2,933	- 1,555	0,339
	60°	1,611	7,399	- 4,084	0,854
0,85	15°	1,346	0,247	- 0,544	0,026
	30°	0,867	1,085	- 0,710	0,115
	45°	0,919	2,941	- 1,437	0,312
	60°	1,501	7,420	- 3,769	0,786

Продолжение табл. 8

β_p	β_o	A_{p1}	A_{p2}	B_{p1}	B_{p2}
0,86	15°	1,249	0,248	-0,507	0,024
	30°	0,804	1,088	-0,656	0,108
	45°	0,853	2,950	-1,323	0,236
	60°	1,393	7,441	-3,464	0,721
0,87	15°	1,153	0,248	-0,470	0,022
	30°	0,743	1,091	-0,604	0,086
	45°	0,788	2,958	-1,212	0,261
	60°	1,286	7,462	-3,168	0,657

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Обязательное

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

Толщина трубной решетки:

$$S_p \gg S_p^p + c$$

где:

$$S_p^p = \frac{f_1^* S_k}{Z_T - Z_M}$$

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

$$A^I = \frac{|P_0|}{2[\sigma]_a K_q \Psi_p}$$

$$B^I = \frac{\Psi_p l}{S_k}$$

Осевое усилие в кожухе:

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

При $F < 0$ кожух проверяется на устойчивость по ГОСТ 14249-80.

Осевое усилие в трубе:

$$N_T = \frac{\pi a^2}{i} \left[\left(\gamma_M P_M - \gamma_T P_T \right) + \frac{f_2^*}{f_2^* K_q^* + K_p} P_0 \right]$$

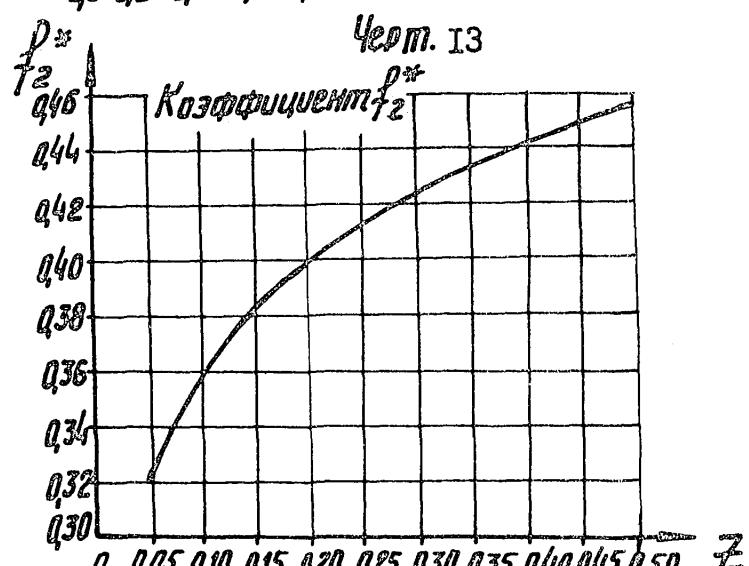
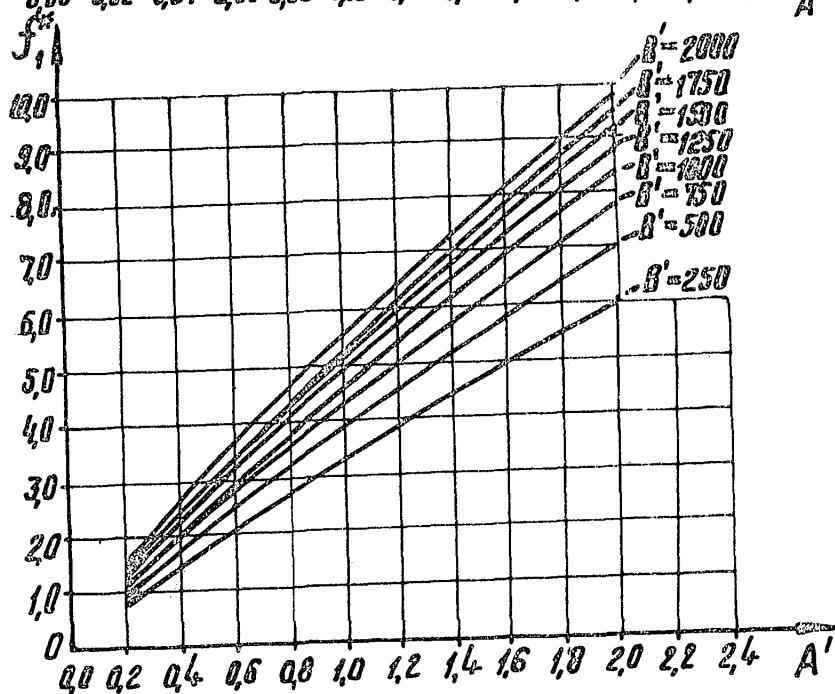
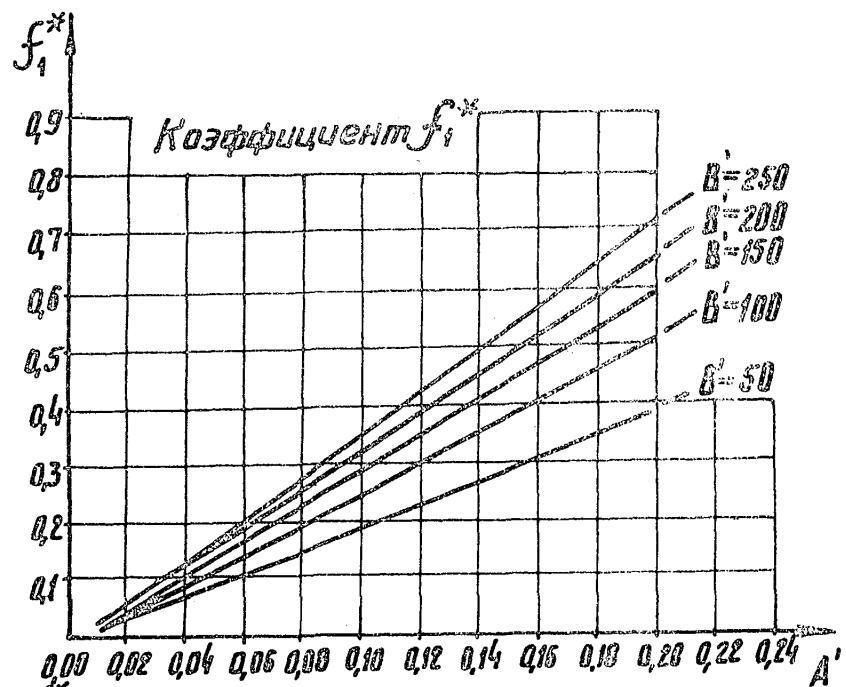
График $f_2^*(Z)$ приведен на черт. I4 в зависимости от Z :

$$Z = \frac{43.7}{B} \left[\frac{S_k}{S_p(\gamma_T + \gamma_M)} \right]^3$$

Проверка прочности труб и крепления их в решетке, а также устойчивости труб должна проводиться по формулам (50), (52) и п. 2.2.7.1., 2.2.7.3. и 2.2.7.5.

С.40

РД 26-14-88



Черт. 14

ПРИЛОЖЕНИЕ З

Обязательное

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

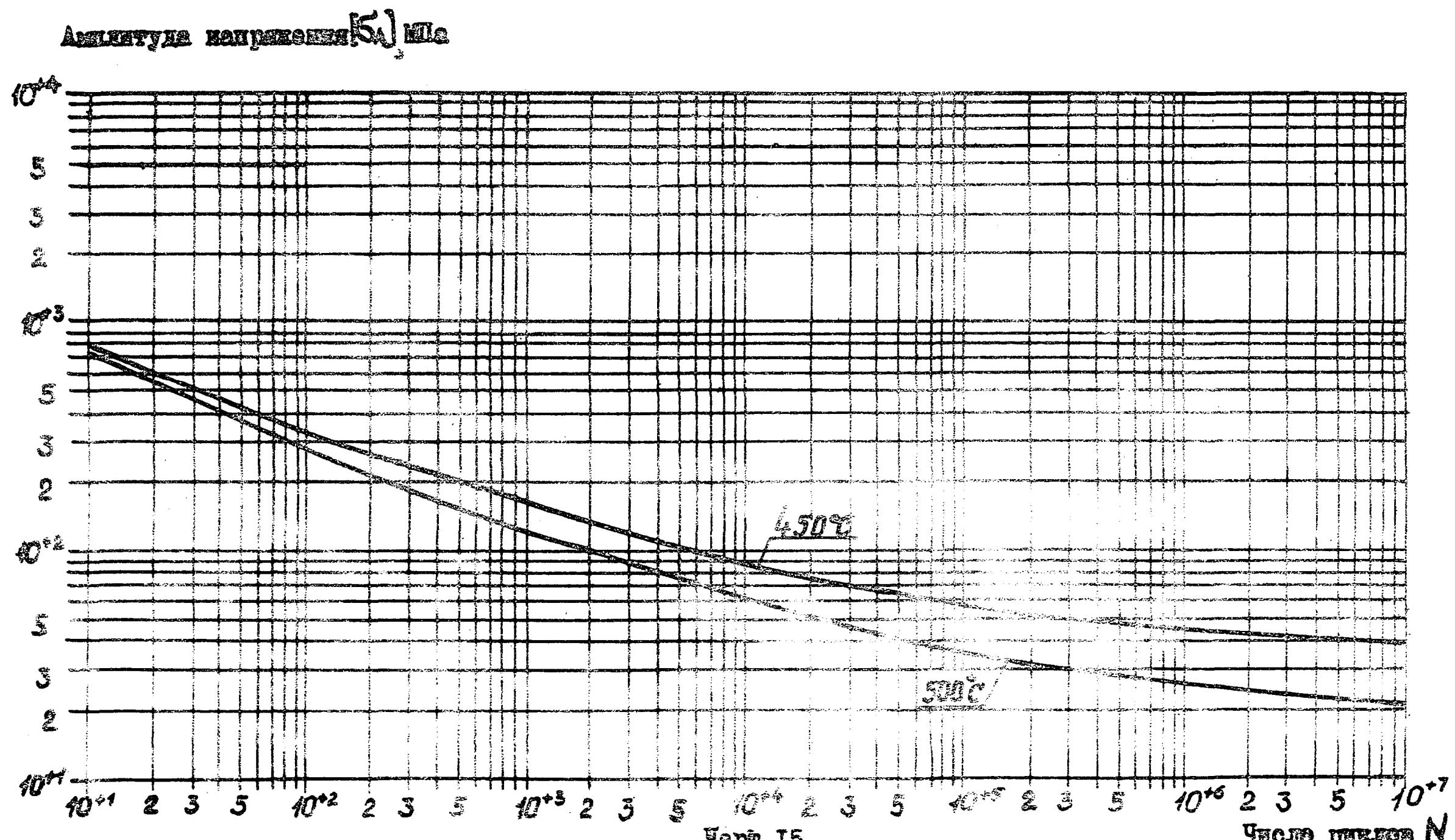
Если температура рассматриваемых элементов из углеродистых сталей превышает 380°C , из низколегированных коррозионностойких хромистых сталей – 500°C и из аустенитных сталей – 600°C , следует при выполнении расчета по ГОСТ 25859-83 принимать:

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

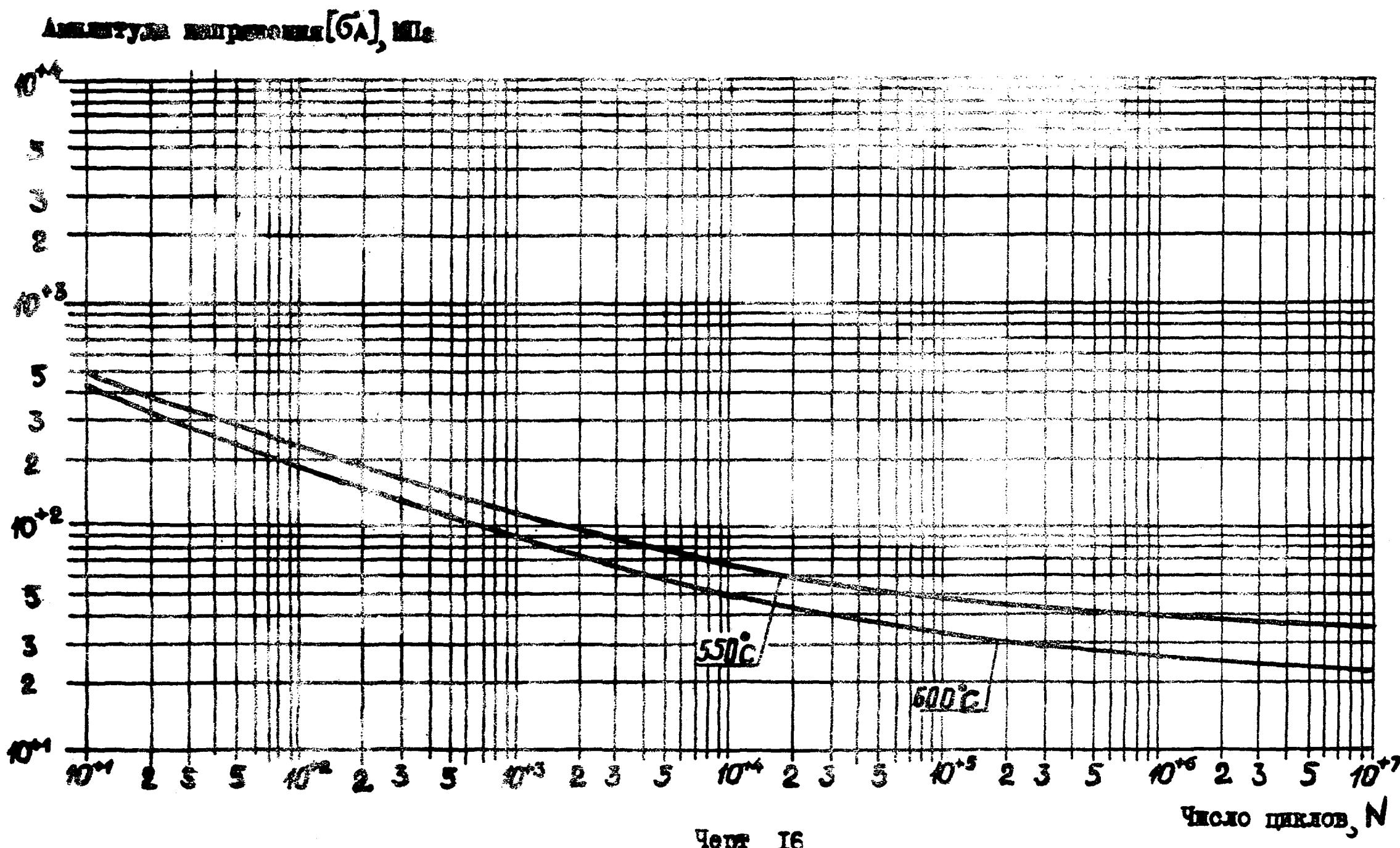
где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение по ГОСТ 14249-80 для рассчитываемого элемента при расчетной температуре

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

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



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



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/см ²	$m_{1,2}$ см ²	$\beta_{1,2}$ с/см	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс·см/см	$K_{\phi 1,2} \cdot 10^{-4}$ кгс·см/см
90	10	29,3	0,171	11,6	19,5
	16	35,3	0,157	17,9	29,8
	25	48,2	0,132	41,5	64,0
	40	70,4	0,116	68,8	146,0
	64	109,0	0,095	207,0	398,0
100	10	35,7	0,156	13,6	22,9
	16	42,5	0,143	20,8	34,3
	25	57,8	0,121	48,0	73,7
	40	85,9	0,106	91,2	175,0
	64	128,0	0,088	226,0	443,0
110	10	38,0	0,150	12,6	21,9
	16	47,9	0,136	20,2	34,7
	25	67,7	0,112	53,4	82,2
	40	99,8	0,099	95,0	190,0
	64	151,0	0,080	266,0	497,0
120	10	43,4	0,138	14,8	22,6
	16	53,7	0,127	22,6	36,3
	25	78,3	0,104	58,8	91,2
	40	118,0	0,090	118,0	225,0
	64	170,0	0,074	306,0	531,0
130	10	49,7	0,130	15,7	24,7
	16	62,2	0,118	25,4	41,2
	25	85,3	0,099	60,7	40,9
	40	130,2	0,085	129,0	229,0
	64	197,0	0,069	343,0	605,0
140	10	52,5	0,125	15,0	23,0
	16	68,8	0,111	28,0	43,0
	25	95,2	0,094	62,7	96,0
	40	147,0	0,078	154,0	254,0
	64	227,0	0,065	369,0	679,0

Продолжение табл 9

D см	P _у кгс/см ²	m _{1,2} см ²	β _{1,2} 1/см	K _{1,2} · 10 ⁻⁴ кгс·см/см	K _{φ1,2} · 10 ⁻⁴ кгс·см/см
150	I0	61,7	0,114	20,0	28,8
	I6	76,9	0,103	32,0	47,9
	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
160	I0	67,5	0,108	21,6	30,7
	I6	84,4	0,097	35,3	51,1
	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
180	I0	81,3	0,098	24,4	34,4
	I6	100,0	0,089	38,7	55,3
	25	137,0	0,0785	72,8	111,0
200	I0	93,3	0,092	24,8	35,3
	I6	117,0	0,084	38,5	57,3
	25	167,0	0,072	82,1	131,0
220	I0	105,0	0,087	25,0	35,7
	I6	131,0	0,079	38,9	57,9
240	I0	123,0	0,082	26,1	39,0
	I6	163,0	0,074	41,9	72,1
260	I0	140,0	0,076	28,5	42,5
	I6	187,0	0,069	47,9	80,1
280	I0	158,0	0,072	31,2	46,1
	I6	213,0	0,065	51,2	87,0
300	I0	175,0	0,069	30,7	47,9
	I6	239,0	0,062	54,5	94,0
320	I0	194,0	0,065	32,8	50,8
	I6	269,0	0,058	58,9	102,0
340	6	169,0	0,066	26,3	34,7
	I0	223,0	0,062	37,4	58,7

Продолжение табл.9

D см	P_y	$m_{1,2}$	$\beta_{1,2}$	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$	$K_{\varphi_{1,2}} \cdot 10^{-4}$
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	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
426x10	25	15,7	0,246	19,0	37,6
	40	22,7	0,209	41,3	67,1
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
	25	20,3	0,217	18,6	37,1
530x10	40	31,8	0,178	19,2	106,0
	25	25,8	0,192	20,6	39,6
630x14	40	39,4	0,163	46,1	111,0
	25	24,9	0,190	14,5	26,1
720x10	16	34,7	0,158	35,7	58,0
	25				

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

Таблица II

D (см)	P_y $\text{кгс}/\text{см}^2$	$M_{1,2}$ см^2	$\beta_{1,2}$ $\text{кгс}/\text{см}^2$	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$ $\text{кгс} \cdot \text{см}/\text{см}$	$K_{\varphi 1,2} \cdot 10^{-4}$ $\text{кгс} \cdot \text{см}/\text{см}$
40	64	29,9	0,197	57,0	172,0
	80	35,4	0,175	99,0	243,0
	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/см ²	$m_{1,2}$ см ²	$\beta_{1,2}$ 1/см	$K_{1,2} \cdot 10^{-4}$ кг ² с ² см/см	$K_{Q1,2} \cdot 10^{-4}$ кг ² с ² см/см
100	64	129,0	0,088	226	443
	80	167,0	0,077	423	798
	100	212,0	0,070	677	1360
	160	344,0	0,055	2080	4070
110	64	154,0	0,080	266	516
	80	199,0	0,071	490	932
	100	255,0	0,064	811	1620
	160	413,0	0,050	2430	4830
120	64	176,0	0,074	306	568
	80	228,0	0,065	559	1020
	100	289,0	0,060	877	1740
	160	488,0	0,046	2920	5700
130	64	200,0	0,069	343	624
	80	263,0	0,061	642	1170
	100	338,0	0,055	1020	2010
140	64	234,0	0,065	369	723
	80	302,0	0,057	703	1310
	100	386,0	0,051	1170	2270
150	64	257,0	0,061	407	751
	80	345,0	0,054	788	1480
	100	445,0	0,048	1340	2620
160	64	289,0	0,057	471	839
	80	389,0	0,050	886	1640

Величины $K_{1,2}$; $K_{Q1,2}$ приведены в таблицах настоящего приложе-
ния, рассчитаны в предположении, что модуль продольной упругости
материала фланцев равен: $E = 1,99 \times 10^6$ $\frac{\text{нгс}}{\text{см}^2}$

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:

$$[N]_{tp} = d_t l_b [q] \quad , \text{Н (кгс)}$$

где:

$[q] = 14,7 \text{ МПа (150 кгс/см}^2\text{)} - \text{для гладкозавальцованных труб}$

$[q] = 29,4 \text{ МПа (300 кгс/см}^2\text{)} - \text{для труб завальцованных в пазы}$

$[q] = 39,2 \text{ МПа (400 кгс/см}^2\text{)} - \text{для труб завальцованных с от-}\text{бортовкой}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Справочное

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

$$\Psi_0 = \eta^{\frac{7}{3}} \tau$$

$$\Phi_1 = \frac{\omega}{\tau} [\operatorname{ber}^2 \omega + \operatorname{bei}^2 \omega + \frac{0.7}{\omega} (\operatorname{ber}' \omega \cdot \operatorname{bei} \omega - \operatorname{bei}' \omega \cdot \operatorname{ber} \omega)]$$

$$\Phi_2 = \frac{\omega}{\tau} (\operatorname{ber} \omega \cdot \operatorname{ber}' \omega + \operatorname{bei} \omega \cdot \operatorname{bei}' \omega)$$

$$\Phi_3 = \frac{\omega}{\tau} (\operatorname{ber}'^2 \omega + \operatorname{bei}'^2 \omega)$$

$$A = \frac{0.91}{\tau} \{ f_1(\omega) \operatorname{bei}'' x - f_2(\omega) \operatorname{ber}'' x + m (\operatorname{ber}' \omega \operatorname{ber}'' x + \operatorname{bei}' \omega \operatorname{bei}'' x) \}$$

$$B = \frac{0.91}{\tau} \{ n [f_1(\omega) \operatorname{bei}'' x - f_2(\omega) \operatorname{ber}'' x] + \operatorname{ber}' \omega \operatorname{ber}'' x + \operatorname{bei}' \omega \operatorname{bei}'' x \}$$

где:

$$T = -f_2(\omega) \operatorname{bei}' \omega - f_1(\omega) \operatorname{ber}' \omega$$

$$f_1(\omega) = \frac{0.7}{\omega} \operatorname{ber}' \omega + \operatorname{bei} \omega$$

$$f_2(\omega) = \frac{0.7}{\omega} \operatorname{bei}' \omega - \operatorname{ber} \omega$$

χ - величина, принадлежащая отрезку:

$$x \in [0, \omega] \quad \text{при } \omega \leq 3,$$

или отрезку

$$x \in [0, (\omega - 3)] \quad \text{при } \omega > 3,$$

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:

$$\text{ber}''y = -\text{ber}iy - \frac{\text{ber}'y}{y}$$

$$\text{bei}''y = \text{ber}iy - \frac{\text{bei}'y}{y}$$

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

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

$$\text{ber}iy = 1 - \frac{1}{(2!)^2} \left(\frac{y}{2}\right)^4 + \frac{1}{(4!)^2} \left(\frac{y}{2}\right)^8 - \dots$$

$$\text{bei}iy = \left(\frac{y}{2}\right)^2 - \frac{1}{(3!)^2} \left(\frac{y}{2}\right)^6 + \frac{1}{(5!)^2} \left(\frac{y}{2}\right)^{10} - \dots$$

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

$$A_y = \frac{1 - \cos \sqrt{\lambda} y}{\cos \sqrt{\lambda} y}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$A_p \approx \frac{13,8}{(1 - \beta_p)^3} \left[1 - \frac{5}{2} (1 - \beta_p) + \frac{61}{30} (1 - \beta_p)^2 - \frac{11}{20} (1 - \beta_p)^3 \right] \text{ при } \beta_p > 0,9$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ
ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Исходные данные

Внутренний радиус кожуха, см	$a = 140$
Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, см	$a_1 = 134,75$
Диаметр окружности, вписанной в максимальную беструбную область, см	$D_E = 7,925$
Радиус отбортовки, см	$\zeta = 3,0$
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	$i = 4117$
Высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке, см	$\delta = 0,2$
Прибавка на коррозию, см	$C = 0,2$
Половина длины труб, см	$\ell = 150$
Толщина стенок кожуха труб см	$S_K = 1,2$ $S_T = 0,2$
Толщина трубной решетки, см	$S_p = 1,0$
Толщина стенок в месте соединения с решеткой, см	$S_1 = S_2 = 1,2$
$h_1 = h_2 = S_p$ см	$h_1 = h_2 = 1,0$
$b_1 = b_2 = \zeta + S = 3,0 + 1,2 = 4,2$ см	$b_1 = b_2 = 4,2$
$R_1 = R_2 = a + \frac{S_2}{2} = 140 + \frac{1,2}{2} = 140,6$ см	$R_1 = R_2 = 140,6$
Средняя температура стенки, $^{\circ}\text{C}$	$t_K = 115^{\circ}$
кожуха	$t_T = 132^{\circ}$
труб	
сборки	$t_o = 20^{\circ}$

Коэффициенты линейного расширения
материалов, 1/град

корзуха

труб

$$\alpha_K = 16,66 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_T = 16,73 \cdot 10^{-6}$$

Модули упругости материалов, кГс/см²

решетки

$$E_p = 1,9 \cdot 10^6$$

труб

$$E_T = 1,99 \cdot 10^6$$

корзуха

$$E_K = 1,99 \cdot 10^6$$

камеры

$$E_D = 1,9 \cdot 10^6$$

Допускаемое число циклов нагружения

Допускаемые напряжения для материала, кГс/см²

труб

$$[\sigma]_T = 1600$$

решеток, корзуха

$$[\sigma]_p = 1480 = [\sigma]_K$$

Давление в трубном пространстве, кГс/см²

Давление в межтрубном пространстве, кГс/см²

Модули упругости материалов фланцев, кГс/см²

корзуха

$$P_T = 6$$

камеры

$$P_M = 0,7$$

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^6$$

$$E_2 = 1,9 \cdot 10^6$$

Толщина трубной решетки назначается конструктивно

$$S_p = 1,0 \text{ см}$$

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:

$$S_p \gg 0,5 \cdot \frac{P_T}{[\sigma]_p} + C = 0,5 \cdot 2,925 \sqrt{\frac{6}{1480}} + 0,2 = 0,45 \text{ см}$$

$$1,00 \text{ см} > 0,45 \text{ см}$$

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:

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

$$= 1 - \frac{L (d_T - 2S_T)^2}{4 a_1^2} = 1 - \frac{4117 (2,5 - 2 \cdot 0,2)^2}{4 \cdot 134,75^2} = 0,75$$

Коэффициент ослабления трубной решетки:

$$\varphi_p = 1 - \frac{\alpha_p}{\alpha_T} = 1 - \frac{2,55}{3,7} = 0,311$$

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

$$\psi_0 = 0,51$$

Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб):

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

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха:

$$\beta = \frac{K_y a_1 \ell}{E_k s_k} = \frac{1327 \cdot 134,75 \cdot 150}{1,99 \cdot 10^6 \cdot 1,2} = 11,2$$

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:

$$P_0 = [d_k(t_k - t_0) - \alpha_T(t_T - t_0)] K_y \ell + [h_T - 1 + m_{cp} + \\ + m_n(m_n + 0,5 \beta K_q)] P_T - [h_M - 1 + m_{cp} + \\ + m_n(m_n + 0,3 \beta K_p)] P_M, \quad \text{kg/cм}^2,$$

где

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i(t_T - t_T)^2}{\alpha_1^2} = 0,15 \frac{4117(2,5 - 0,2)^2}{134,75^2} = 0,18$$

$$P_0 = [16,66(115 - 20) - 16,73(132 - 20)] \cdot 1327 \cdot 150 \cdot 10^{-6} + \\ + [0,75 - 1 + 0,18 + 1,04(1,04 + 0,5 \cdot 11,2 \cdot 1)] 6 - \\ - [0,65 - 1 + 0,18 + 1,04(1,04 + 0,3 \cdot 11,2 \cdot 1)] \cdot 0,7 = -20.$$

Определение усилий в элементах аппаратов и расчет на прочность.

Характеристики жесткости элементов конструкции.

Коэффициент системы решетка-трубы:

$$\beta = \frac{1,82}{S_p} \sqrt{\frac{K_y S_p}{\gamma_0 E_p}} = \frac{1,82}{1,0} \sqrt{\frac{1327 \cdot 1,0}{0,51 \cdot 1,9 \cdot 10^6}} = 0,346 \frac{1}{\text{см}}$$

Коэффициенты системы кожух-решетка и обечайка-фланец камеры:

$$\beta_1 = \frac{1,3}{\sqrt{a \cdot S_1}} = \frac{1,3}{\sqrt{140 \cdot 1,2}} = 0,1 \frac{1}{\text{см}}$$

$$\beta_2 = \frac{1,3}{\sqrt{a \cdot S_2}} = \frac{1,3}{\sqrt{140 \cdot 1,2}} = 0,1 \frac{1}{\text{см}}$$

Жесткость фланцевого соединения при изгибе:

$$K_{\varphi} = K_{\varphi_1} + K_{\varphi_2} = (0,065 + 0,063) \cdot 10^6 = 0,128 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}}$$

$$K_{\varphi_1} = \frac{E_1 h_1^3 b_1}{12 R_1^2} + K_1 \left(1 + \frac{\beta_1 h_1}{2}\right) \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}},$$

где

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

$$K_{\varphi_1} = \frac{1,99 \cdot 10^6 \cdot 1,0^3 \cdot 4,2}{12 \cdot 140,6^2} + 0,062 \left(1 + \frac{0,1 \cdot 1,0}{2}\right) \cdot 10^6 = 0,065 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}}$$

$$K_{\varphi_2} = \frac{E_2 h_2^3 b_2}{12 R_2^2} + K_2 \left(1 + \frac{\beta_2 h_2}{2}\right) \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}},$$

$$\text{где } K_2 = \frac{\beta_2 \alpha E_2 S_2^3}{5,5 R_2} = \frac{0,1 \cdot 140 \cdot 1,9 \cdot 10^6 \cdot 1,2^3}{5,5 \cdot 140,6} = 0,06 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}}$$

$$K_{\varphi_2} = \frac{1,9 \cdot 10^6 \cdot 1,0^3 \cdot 4,2}{12 \cdot 140,6^2} + 0,06 \left(1 + \frac{0,1 \cdot 1,0}{2}\right) \cdot 10^6 = 0,063 \cdot 10^6 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}}$$

Коэффициенты влияния давления на изгиб фланцев:

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

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

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

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения:

$$\beta_1 = \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\varphi} \cdot R_1} = \frac{1324 \cdot 140 \cdot 134,75}{0,346^2 \cdot 0,128 \cdot 10^6 \cdot 140,6} = 11,6$$

Коэффициент

$$\omega = \beta \cdot \alpha_1 = 0,346 \cdot 134,75 = 46,6$$

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

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

$$\varphi_2 = \omega = 46,6$$

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:

$$M = \frac{(\alpha_1) P_1 (T_1 + \beta K_2) - P_0 T_2}{(T_1 + \beta K_2)(T_3 + \beta_1) - T_2^2},$$

$$\text{зде } P_1 = \frac{K_y}{\beta K_{\varphi}} (m_1 P_M - m_2 P_T) = \frac{1324}{0,346 \cdot 0,128 \cdot 10^6} = \\ = (55 \cdot 0,7 - 55 \cdot 6) = -8,73 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

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

$$Q = \alpha_1 \frac{P_0 (T_3 + \beta_1) - P_1 T_2}{(T_1 + \beta K_2)(T_3 + \beta_1) - T_2^2} = 134,75 \cdot$$

$$\cdot \frac{(-20)(68,6 + 11,6) - (-8,73) \cdot 168}{(476 + 11,2 \cdot 1)(68,6 + 11,6) - 168^2} = -1,7 \frac{\text{кгс}}{\text{см}}$$

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

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

$$Q_a = M_n Q = 1,04 \cdot (-1,7) = -1,44 \frac{\text{кгс}}{\text{см}}$$

Основная сила и изгибающий момент, действующие на трубу:

$$N_T = \frac{\pi a_1}{l} [(\gamma_M P_M - \gamma_T P_T) a_1 + \varphi_1 Q_a + \varphi_2 \beta M_a] = \\ = \frac{3,14 \cdot 134,75}{4117} [(0,65 \cdot 0,7 - 0,75 \cdot 6) 134,75 + 66 (-1,44) +$$

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

$$M_T = \frac{E_T \gamma_T \beta}{K_4 a_1 l_{np}} (\varphi_2 Q_a + \varphi_3 \beta M_a) =$$

$$\frac{1,99 \cdot 10^6 \cdot 0,962 \cdot 0,346}{132,4 \cdot 134,75 \cdot 150} (46,6 \cdot (-1,44) + 66 \cdot 0,346 \cdot (-39)) = -24 \text{ кгс}\cdot\text{см}$$

$$\gamma_T = \frac{\pi}{64} (d_T^4 - (d_T - 2s_T)^4) = 0,962 \text{ см}^4$$

Усилия в кожухе:

$$Q_K = \frac{a}{2} P_T - Q = \frac{140}{2} \cdot 6 - (-1,7) = 422 \text{ кгс}/\text{см}$$

$$M_K = \frac{K_1}{\rho_1 K_4 \beta} (T_2 Q + T_3 \beta M) - \frac{P_M}{2 \beta^2} =$$

$$= \frac{0,062 \cdot 10^6}{11,6 \cdot 0,128 \cdot 10^6 \cdot 0,346} (168 (-1,7) + 68,6 \cdot 0,346 (-39)) - \frac{0,4}{2 \cdot 0,12} =$$

$$= -155 \frac{\text{кгс}\cdot\text{см}}{\text{см}}$$

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

Расчетные напряжения в элементах конструкции.

Расчетные напряжения в трубных решетках.

Напряжение в трубной решетке в месте соединения с кожухом:

$$- \text{изгибающие } \sigma_{p1} = \frac{6 |M|}{(S_{1p} - c)^2} = \frac{6 \cdot 30}{(1,0 - 0,2)^2} = 281 \text{ кгс}/\text{см}^2$$

$$- \text{касательные } \tau_{p1} = \frac{|Q|}{(S_{1p} - c)} = \frac{1,7}{1,0 - 0,2} = 2 \text{ кгс}/\text{см}^2$$

Напряжение в перфорированной части трубной решетки:

- изгибающие: $\sigma_{p2} = \frac{6M_{max}}{I_p(S_p-c)^2}$

$$\frac{\beta M_a}{Qa} = \frac{0,346 \cdot (-39)}{(-1,44)} = 4,6$$

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

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

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

$$\sigma_{p2} = \frac{6 \cdot 34}{0,346(1,0-0,2)^2} = 1025 \text{ кгс/см}^2$$

- касательные: $\tau_{p2} = \frac{|Qa|}{I_p(S_p-c)} = \frac{1,44}{0,346(1,0-0,2)} = 4 \text{ кгс/см}^2$

Расчетные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке.

- в меридиональном направлении:

- мембранные

$$\sigma_{m2} = \frac{|Qa|}{(S_1-c_k)} = \frac{42,2}{(1,2-0,2)} = 42,2 \text{ кгс/см}^2$$

- изгибающие

$$\sigma_{ik} = \frac{6|M_k|}{(S_1-c_k)^2} = 930 \text{ кгс/см}^2$$

- в окружном направлении:

- мембранные:

$$\sigma_{my} = \frac{|P_m|a}{(S_1-c_k)} = \frac{0,4 \cdot 140}{1,2-0,2} = 98 \text{ кгс/см}^2$$

- изгибающие:

$$\sigma_{iy} = 0,3\sigma_{ik} = 0,3 \cdot 930 = 279 \text{ кгс/см}^2$$

Расчетные напряжения в трубах:

- в осевом направлении:

$$\sigma_{1T} = \frac{|N_T|}{\pi(d_T-S_T)S_T} = \frac{133}{3,14(2,5-0,2)0,2} = 92 \text{ кгс/см}^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_{1T} + \frac{\sigma_T |M_T|}{2 \cdot S_T} = 92 + \frac{2,5 \cdot 2,4}{2 \cdot 0,962} = 123 \text{ кгс/см}^2$$

- в окружном направлении:

$$\sigma_{2T} = \frac{(d_T + S_T) \max\{|P_T|, |P_M|, |P_T - P_M|\}}{2S_T} =$$

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

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 малопрочловую прочность производится по ГОСТ 25859-83:

- в месте соединения с кожухом:

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_{p1} = 281 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

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

по черт. 9 $K_\sigma = 1,7$

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

$$= \frac{1,7}{2} \cdot 281 = 239 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2} < [\sigma_A] = 4300 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

- в перфорированной части:

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_{p2} = 1025 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

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

$$K_\sigma = 1$$

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

$$= \frac{1}{2} \cdot 1025 = 513 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2} < [\sigma_A] = 4300 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

Расчет кожуха на прочность и устойчивость.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

$$\sigma_{MK} \leq 1,3[\sigma]_K$$

$$422 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2} \leq 1,3 \cdot 1480 = 1924 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

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

$$\Delta \sigma_1 = \sigma_{MK} + \sigma_{Ch} = 422 + 930 = 1352 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \sigma_2 = \sigma_{Ch} + \sigma_{Ch} = 98 + 249 = 347 \frac{\text{krc}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \sigma_3 = 0$$

$$K_\sigma = 1,7 \text{ по черт. 9}$$

С.62

РД 26-14-88

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

$$\frac{1,4}{2} \max \{ 975; 344; 1352 \} = 1149 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} < [\sigma_A] = 4300 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

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

Условие статической прочности труб:

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

Проверка труб на малоцикловую прочность производится по

ГОСТ 25859-83:

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

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

$$K_G = 1$$

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

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

Так как $N_T = -133 \text{ кгс} < 0$, проверяем трубы на устойчивость.

Условие устойчивости:

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

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

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

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

Проверка прочности крепления труб в решетке.

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

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

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
СправочноеТермины, используемые в руководящем
документе, и их условные обозначения

Термин	Условное обозначение
Внутренний радиус кожуха, мм (см)	α
Расстояние от оси пучка до оси наиболее удаленной трубы, мм (см)	$a_{\text{н}}$
Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы, мм (см)	$a_{\text{и}}$
Ширина канавки под прокладку в многоходовом аппарате, мм (см)	$b_{\text{н}}$
Ширина перегородки, мм (см)	$b_{\text{пер.}}$
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)	$c_{\text{п}}$
Расчетная прибавка к толщине стенки кожуха, мм (см)	$c_{\text{к}}$
Внутренний диаметр кожуха, мм (см)	D
Диаметр окружности, вписанной в максимальную бесструбную площадь, мм (см)	$D_{\text{Б}}$
Наружный диаметр компенсатора, мм (см)	$D_{\text{к}}$
Средний диаметр прокладки, мм (см)	$D_{\text{ср}}$
Внутренний диаметр расширителя, мм (см)	D_{1}
Внутренний диаметр компенсатора, мм (см)	$d_{\text{к}}$
Наружный диаметр трубы, мм (см)	$d_{\text{т}}$
Диаметр отверстия в решетке, мм (см)	$d_{\text{о}}$
Модули продольной упругости материалов решетки, камеры, кожуха, труб и компенсатора, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$)	$E_{\text{Р}}, E_{\text{Д}}, E_{\text{К}}, E_{\text{Т}}, E_{\text{КОМ.}}$
Модули продольной упругости материалов фланцев кожуха и камеры, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$)	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_k
Эффективный коэффициент концентрации напряжений	K_e
Коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н.мм (кгс/см)	K_{ϕ}
Длина перегородки в трубном пространстве, мм (см)	l_{per}
Длина расширителя, мм (см)	l_p
Половина длины труб, мм (см)	l
Глубина разваливовки труб, мм (см)	l_B
Расчетная длина труб при продольном изгибе, мм (см),	l_R
Длина расширителя, мм (см)	l_p
Максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм (см)	l_{IR}
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_a
Изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха, Н.мм/мм (кгс.см/см)	M_k
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_t
Изгибающий момент, действующий на трубу, Н.мм(кгс/см)	M_t
Осьевая сила, действующая на трубу, Н (кгс)	N_t

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_M
Расчетное давление в трубном пространстве, МПа (кгс/см ²)	P_T
Расчетное давление, МПа (кгс/см ²). Принимается равным максимально возможному перепаду давлений, действующим 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_K
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_K
Толщина трубной решетки в сечении канавки, мм (см)	S_n
Эквивалентная толщина втулки фланца, определяется по ОСТ 26-373-78, мм (см)	S_g
Толщина трубных решеток, мм (см)	$S_{p1}, S_{p2},$
Толщина стенки трубы, мм (см)	S_T
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_{4P}
Толщина перегородки по трубному пространству, мм (см)	S_{neP}
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, $^{\circ}\text{C}$ ($t_o \approx 20^{\circ}\text{C}$)	t_k, t_t, t_o
Коэффициенты линейного расширения материалов кожуха и труб, $1/{}^{\circ}\text{C}$ при температурах t_k и t_t , соответственно	α_k, α_t
Высота сварного шва в месте приварки трубы к решетке, мм (см)	S
Толщина стенки компенсатора и расширителя, мм (см)	δ_k, δ_p
Допускаемая амплитуда упругих напряжений, МПа (kgs/cm^2)	$[\sigma_A]$
Допускаемые напряжения для материалов кожуха, труб, решетки, перегородки соответственно, МПа (kgs/cm^2)	$[\sigma]_k, [\sigma]_t, [\sigma]_p, [\sigma]_n$

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. Разработан ВНИИнефтехимашем, 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 26-1185-81.

4. Ссылочные нормативно-технические документы

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, приложения
ГОСТ 14249-80	Вводная часть, п 2.2.6.4.; приложение 7.
ГОСТ 25859-83	2.2.6.2; 2.2.7.2.
ОСТ 26-291-87	Вводная часть.
ОСТ 26-373-78	приложение 7.
ОСТ 26-427-80	2.1.2.2.; 2.2.2.2. ; 2.2.2.3. ; 2.2.2.4. ; приложение 4.
ОСТ 26-428-80	приложение 4.
ОСТ 26-02-1015-85	1.2.
ОСТ 26-17-01-83	1.2.