



РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

*НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА
НА ПРОЧНОСТЬ ОПОРНЫХ УЗЛОВ
РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОБЕЧАЙКИ
АППАРАТА В МЕСТЕ КРЕПЛЕНИЯ
ОПОР-ЛАП И СТРОПОВЫХ УСТРОЙСТВ
(УШЕК И КРЮКОВ)*

РД РТМ 26-319-79

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ письмом Министерства химического
и нефтяного машиностроения от 29.06. 1979 г. № II-IO-4/
1227

ИСПОЛНИТЕЛИ	Руководитель разработки	Белов С.А.
СОГЛАСОВАН	НИИХИММАШем	
	Директор	Самсонов Н.М.
	НИИИНТЕМАШем	
	Директор	Уманчик Н.П.
	СИБУХМАШем	
	Начальник	Шибряев Б.Ф.

Утвержден
Зам.министра
А.В.Курамкин
" " 1979г.
Группа Г 02

УДК

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Нормы и методы расчета на прочность опорных узлов. Расчет на прочность обечайки аппарата в месте крепления опор-лап и строповых устройств (ушек и крюков)	РД РТМ 26- 319 Взамен РТМ 26-01-41-71 и ОСТ 26-665-72 в части приложения I	-79
---	---	-----

Письмом Министерства химического и нефтяного машиностроения от 29.06. 1979 г. № П-10-4/Срок введения установлен 1227 с 01.07.1980 г.

Настоящий руководящий технический материал устанавливает нормы и методы расчета на прочность цилиндрических обечайк сосудов и аппаратов в месте крепления стандартных опор-лап по ОСТ 26- 665 -79 и строповых устройств (ушек и крюков) по ГОСТ 13716-73.

Руководящий технический материал распространяется на расчет сосудов и аппаратов, изготовленных из пластичных углеродистых и легированных сталей и работающих в условиях, исключающих усталостное разрушение и коррозионное растрескивание.

Руководящий технический материал не распространяется на расчет сосудов с хрупкими покрытиями.

Руководящий технический материал распространяется на оборудование, отвечающее требованиям СТ СЭВ 596-77, СТ СЭВ 597-77 и ОСТ 26-291-71 при условии, что расстояние от опорного устройства до ближайших несущих конструктивных элементов типа трубной решетки плоского или конического неотбортованного днища превышает $\sqrt{D \cdot S}$.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- G - общая масса аппарата (сосуда) и среды в нем, кг;
 n - количество опор-лап;
 Q - нагрузка на одну опор-лапу или на одно строповое устройство, кгс (Мн);
 M - момент внешних нагрузок, кгс.см(Мн.м);
 D - внутренний диаметр аппарата (сосуда), см (м);
 S - исполнительная толщина стенки аппарата (сосуда), см(м);
 C - прибавка для компенсации коррозии, см (м);
 C₁ - дополнительная прибавка, см (м);
 $S_0 = S - C - C_1$ - толщина стенки аппарата (сосуда) в конце срока службы, см (м);
- f_{max} - максимальный зазор между аппаратом и подпорной рамой, см (м);
 l_i - плечо нагрузки Q относительно срединной поверхности аппарата (сосуда), см (м);
 γ - отношение внутреннего диаметра обечайки к удвоенной ее толщине;
- K_i (i = 1, 2, 3, 4) - коэффициенты напряженного состояния для опор-лап типа 1,2 (черт.7,8,9,10,11,12,13,14);
- K - коэффициент толщины накладного листа (черт. 15, 16);
- A_i, B_i (i = 1,2,3,4) - коэффициенты напряженного состояния для строповых устройств типа 1,2,3 исполнения 1 (черт.17,18,19,20,21,22, 23,24);
- C_i, D_i (i = 1,2,3,4) - коэффициенты напряженного состояния для стропового устройства типа 3 исполнения 2 (черт.25,26,27,28,29,30, 31,32);

- φ, φ_2 - коэффициенты, учитывающие влияние параметра δ (черт. 33, 34) ;
- N, N_2 - коэффициенты, учитывающие направление действия усилия со стороны стропового устройства (черт. 35, 36) ;
- σ_{mo} - максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок, кгс/см² (Мн/м²) ;
- σ_m - максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опорного узла, кгс/см² (Мн/м²)
- σ_u - максимальное изгибное напряжение от реакции опорного узла, кгс/см² (Мн/м²) ;
- σ_r - минимальное значение предела текучести материала при расчетной температуре, кгс/см² (Мн/м²).

Остальные обозначения по черт. I, 2, 3, 4, 5.

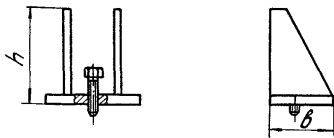
2. РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

2.1. При расчете обечайки аппаратов (сосудов) учитываются напряжения от основных нагрузок:

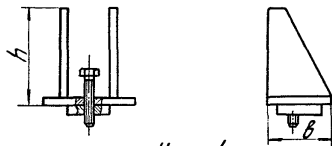
- внутреннего или наружного рабочего давления ;
- собственной массы аппарата (сосуда) ;
- массы среды ;
- массы площадок, лестниц, теплоизоляции и другого вспомогательного оборудования ;
- ветровых нагрузок ;
- сейсмических нагрузок ;
- гидравлического давления и массы при гидравлических испытаниях и местных нагрузок, вызываемых опорными устройствами .

В настоящем руководящем техническом материале предполагается, что по соответствующим методикам уже проведен расчет напряжений от всех основных нагрузок.

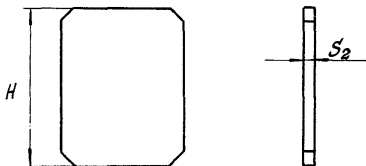
*Опора - лапа
Тип 1*



Тип 2

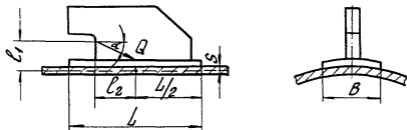


*Черт. 1
Накладной лист*



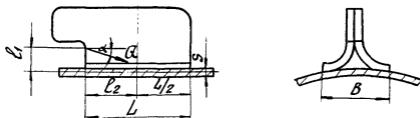
Черт. 2

Строповое устройство типа 1
Исполнение 1



Черт. 3

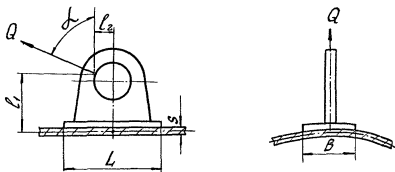
Строповое устройство типа 2
Исполнение 1



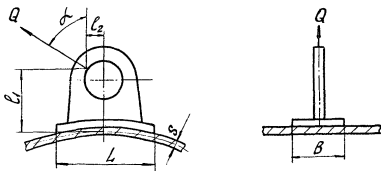
Черт. 4

Строповое устройство
типа 3

Исполнение 1



Исполнение 2



2.2. При определении нагрузки на опору-лапу действующие на аппарат (сосуд) нагрузки приводятся к осевому усилию G и моменту M относительно опорной поверхности (черт.6).

Величину нагрузки на одну опору определяют по формуле:

$$Q = \lambda_1 \frac{G}{n} + \lambda_2 \frac{M}{D + 2\ell_1} \quad (1)$$

Здесь
$$\ell_1 = \frac{b + f_{max} + S_0 + S_2}{2} \quad (2)$$

Коэффициенты λ_1 и λ_2 выбираются по таблице.

n	λ_1	λ_2
2	I	I*
3	I	I,3
4	2**	I

2.3. Нагрузка на строповое устройство определяется массой аппарата (сосуда) с учетом дополнительной нагрузки от площадок, трубопроводов и другого вспомогательного оборудования, монтируемого вместе с аппаратом, в зависимости от схемы строповки.

3. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО АППАРАТА (СОСУДА) ПОД ОПОРОЙ-ЛАПОЙ БЕЗ НАКЛАДНОГО ЛИСТА

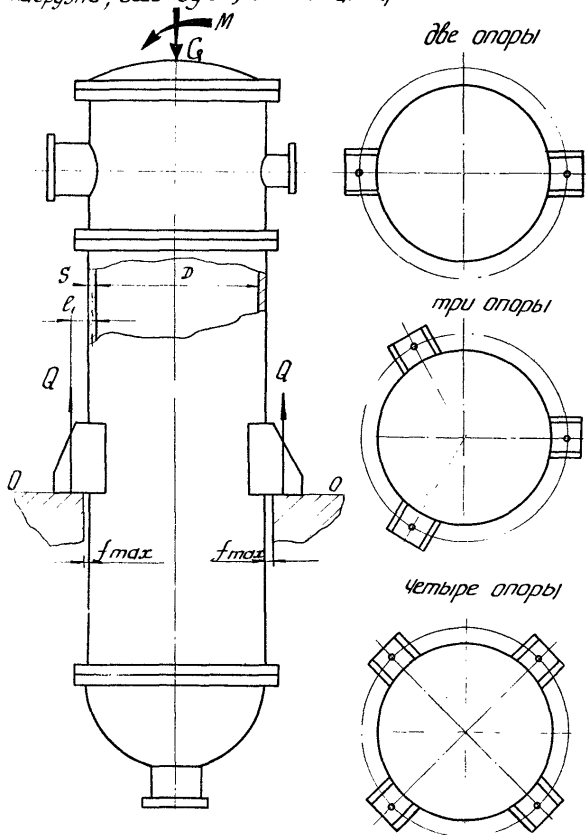
3.1. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры определяет по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{mo} + K_1 \cdot \frac{Q \cdot \ell_1}{D \cdot S_0^2} \quad (3)$$

* Момент передается только в плоскости опор

** Допускается применять $\lambda_1 = I$ в технически обоснованных случаях, обеспечивающих равномерное распределение нагрузки между опорами

Нагрузки, действующие на аппарат



Черт. 6

3.2. Максимальное изгибное напряжение от реакции опоры определяют по формуле:

$$\sigma_u = K_2 \frac{q \cdot l_1}{h \cdot S_0^2} \quad (4)$$

3.3. Условие прочности:

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_T} \right)^2 + \frac{0,8}{A} \frac{\sigma_u}{\sigma_T} \leq 1 \quad (5)$$

Здесь

A = 1,0 - для эксплуатационных условий,

A = 1,2 - для условий транспортирования, монтажа и гидравлических испытаний.

4. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО АППАРАТА (СОСУДА) ПОД ОПОРОЙ-ЛАПОЙ С НАКЛАДНЫМ ЛИСТОМ

4.1. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры определяют по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} \pm K_3 \frac{Q \cdot l_1}{D \cdot S_0^2} \quad (6)$$

4.2. Максимальное изгибное напряжение от реакции опоры определяют по формуле:

$$\sigma_u = K_4 \frac{Q \cdot l_1}{H \cdot S_0^2} \quad (7)$$

Условие прочности по п. 3.3.

4.3. Толщину накладного листа определяют по формуле:

$$S_2 = \sqrt{\frac{KQ}{A \cdot \sigma_T}} \quad (8)$$

Значения коэффициента A принимаются согласно п. 3.3.

5. ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО АППАРАТА (СОСУДА) ПОД СТРОПОВЫМ УСТРОЙСТВОМ

5.1. Общие положения

Несколько строповых устройств, расположенных в поперечном сечении обечайки с угловым расстоянием не менее чем 90° или в продольном сечении обечайки на расстоянии не менее $D/2$, рассчитываются как отдельные согласно пп. 5.2-5.4.

5.2. Строповые устройства типа I и 2

5.2.1. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства определяют по формуле:

$$\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{mo} \cdot 10^{-4} \cdot \left[(A_1 \varphi_1 + A_2 \varphi_2) \cdot \sin \alpha \pm (B_1 \varphi_1 + B_2 \varphi_2) \cos \alpha \cdot N_2 \frac{l_1}{L} \right] \frac{Q}{S_0} \cdot \gamma \frac{B}{L} \quad (9)$$

5.2.2. Максимальное изгибное напряжение от реакции стропового устройства определяют по формуле:

$$\bar{\sigma}_u = \left[(A_3 \varphi_1 + A_4 \varphi_2) \cdot \sin \alpha \pm (B_3 \varphi_1 + B_4 \varphi_2) \cos \alpha \cdot N_2 \frac{l_1}{L} \right] \frac{Q}{S_0} \cdot \gamma \frac{B}{L} \quad (10)$$

Условие прочности по п.3.3.

5.3. Строповое устройство типа 3, исполнение I

5.3.1. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства определяют по формуле:

$$\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{mo} \cdot 10^{-4} \left[(A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2) \pm (B_1 \varphi_1 + B_2 \varphi_2) \cdot N_1 \cdot \frac{l_1}{L} \right] \frac{Q}{S_0} \cdot \cos \alpha \cdot \gamma \frac{B}{L} \quad (11)$$

5.3.2. Максимальное изгибное напряжение от реакции стропового устройства определяют по формуле:

$$\sigma_u = \left[(A_3 \varphi_1 + A_4 \varphi_2) \pm (B_3 \varphi_1 + B_4 \varphi_2) \cdot N_1 \frac{l_1}{L} \right] \cdot \frac{Q}{S_o^2} \cos \alpha \frac{B}{L} \quad (12)$$

Условие прочности по п.3.3.

5.4. Строповое устройство типа 3, исполнение 2

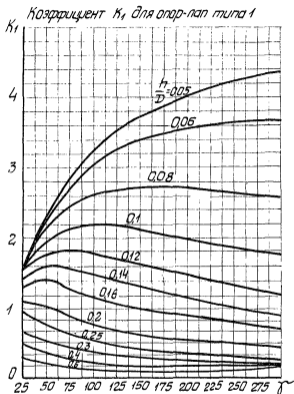
5.4.1. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства определяют по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m_0} + 10^{-4} \left[(C_1 \varphi_1 + C_2 \varphi_2) \pm (D_1 \varphi_1 + D_2 \varphi_2) \cdot N_1 \frac{l_1}{L} \right] \frac{Q}{S_o^2} \cos \alpha \cdot \gamma \frac{B}{L} \quad (13)$$

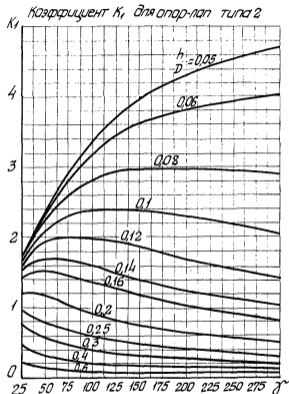
5.4.2. Максимальное изгибное напряжение от реакции стропового устройства определяют по формуле:

$$\sigma_u = \left[(C_3 \varphi_1 + C_4 \varphi_2) \pm (D_3 \varphi_1 + D_4 \varphi_2) \cdot N_1 \frac{l_1}{L} \right] \frac{Q}{S_o^2} \cos \alpha \cdot \frac{B}{L} \quad (14)$$

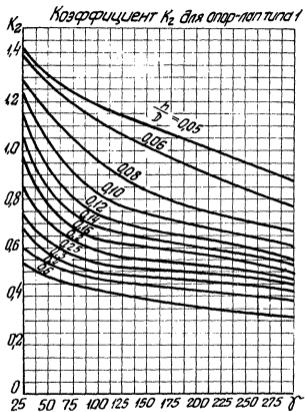
Условие прочности по п.3.3.



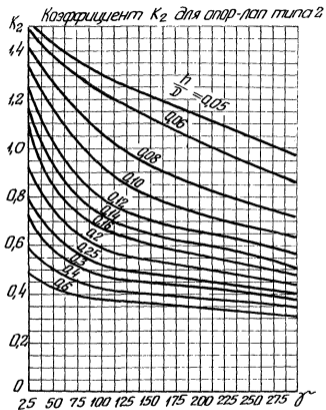
Черт. 7



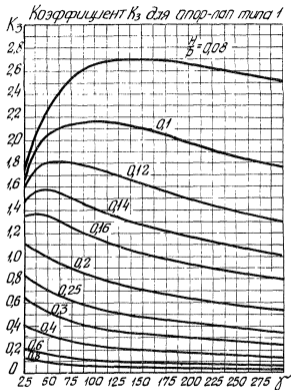
Черт. 8



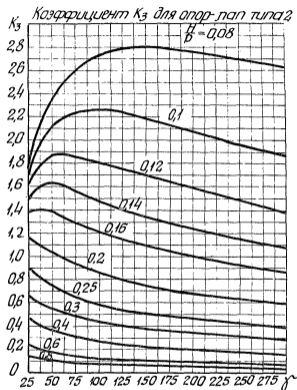
Черт. 9



Черт. 10.

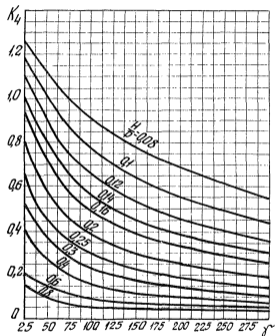


Черт. 11.



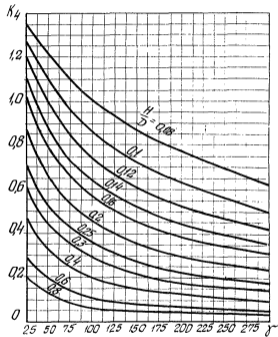
Черт. 12

Коэффициент K_4 для опор-лонг типа 1



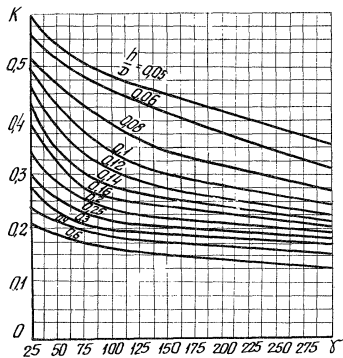
Черт. 13

Коэффициент K_4 для опор-лонг типа 2



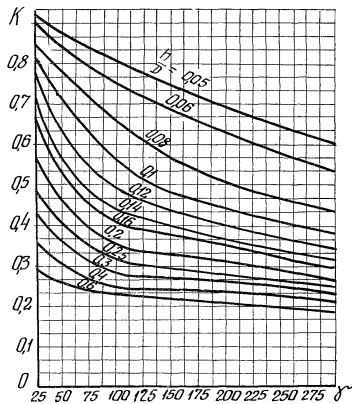
Черт. 14

Коэффициент K для опор-лап
типа 1

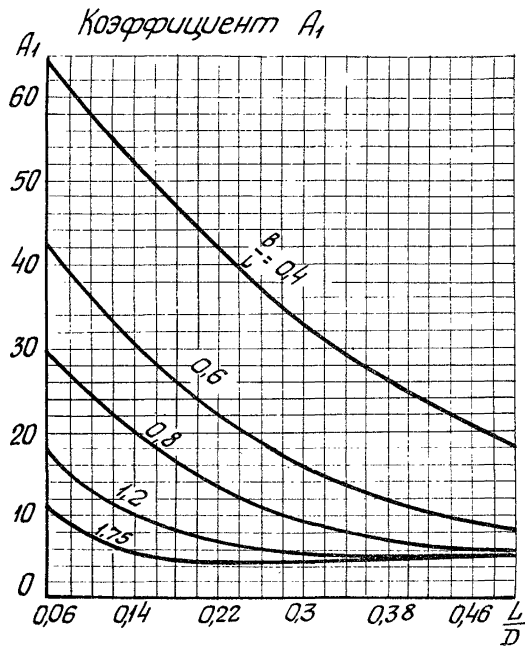


Черт. 15

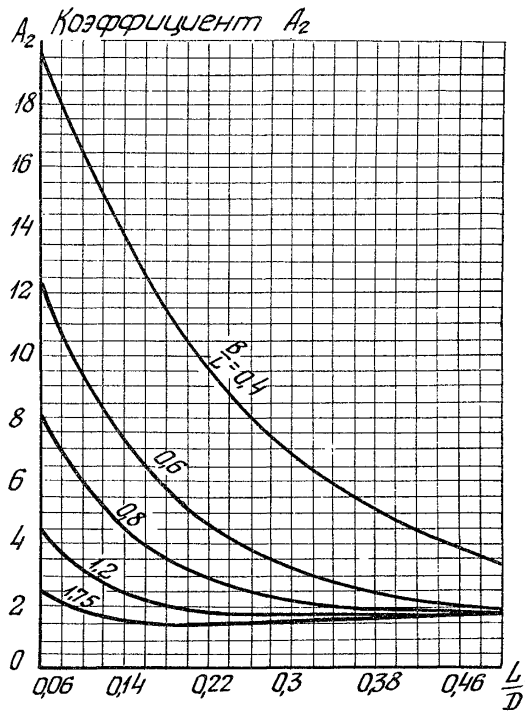
Коэффициент K для опор-лап
типа 2



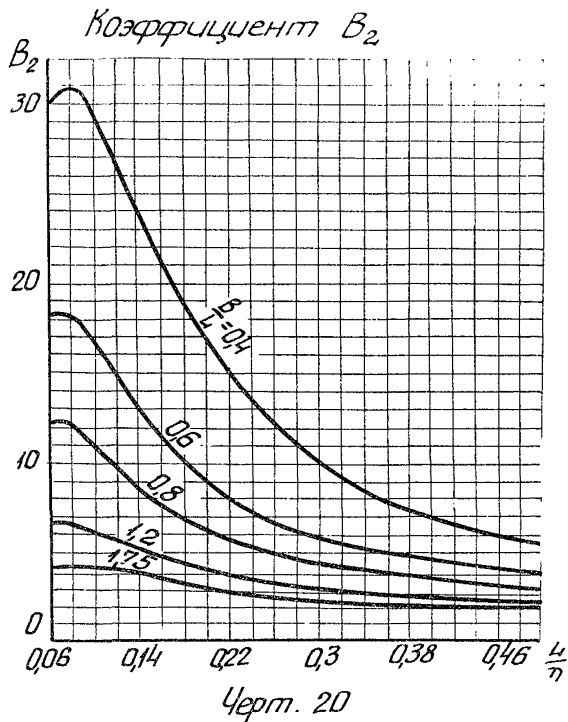
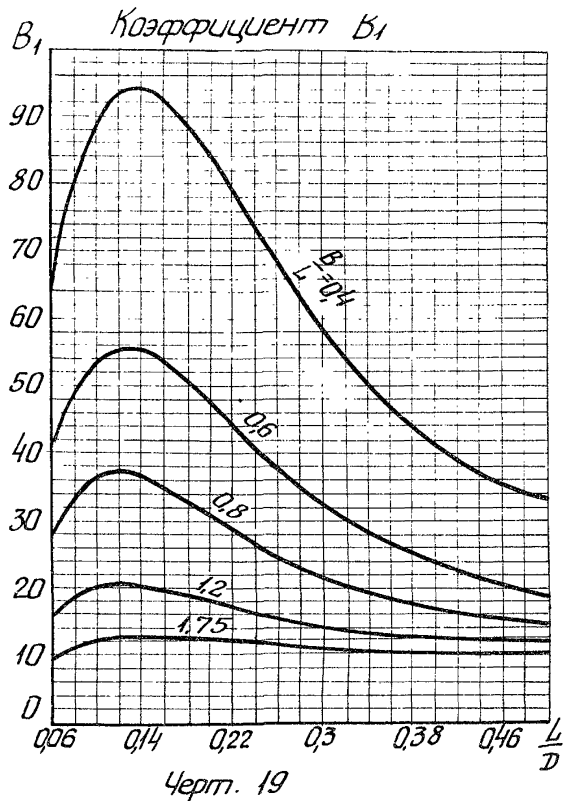
Черт. 16



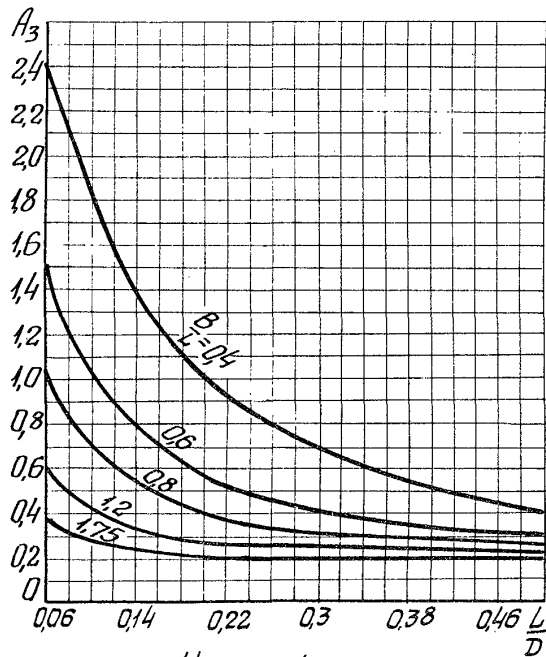
Черт. 17



Черт. 18

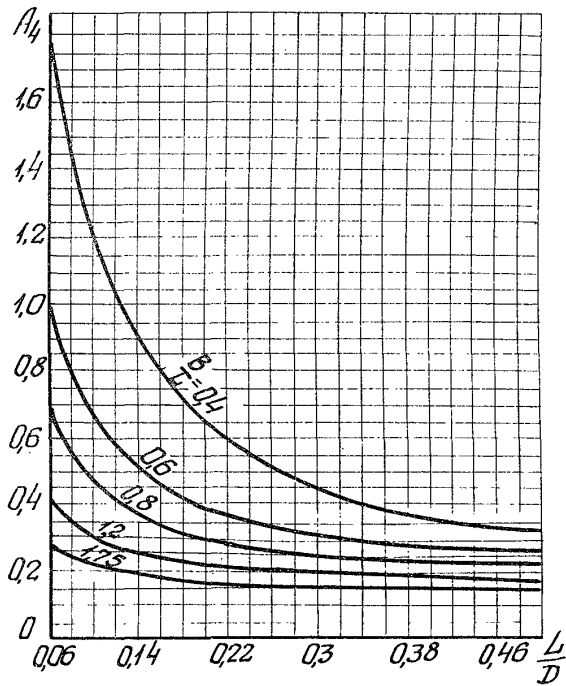


Коэффициент A_3



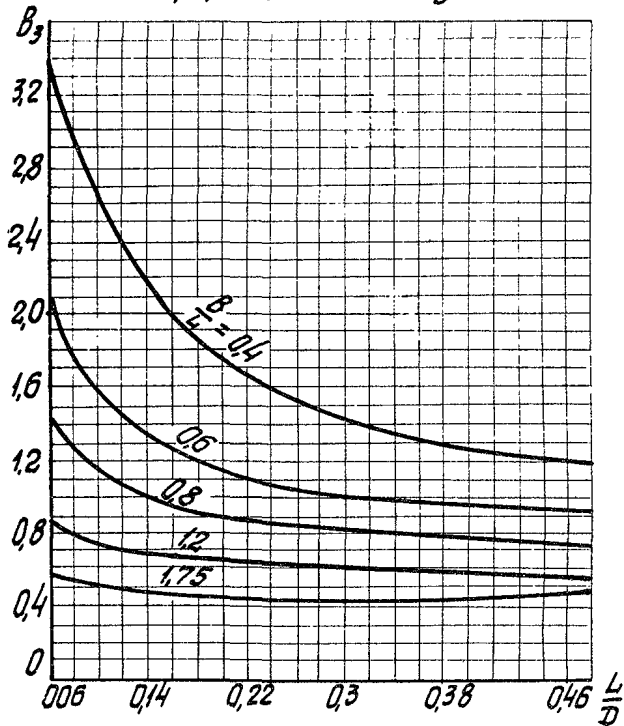
Черт. 21

Коэффициент A_4



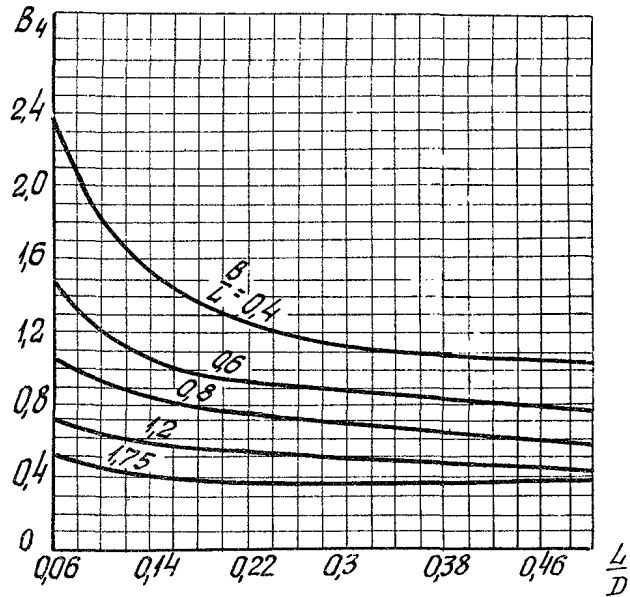
Черт. 22

Коэффициент B_3

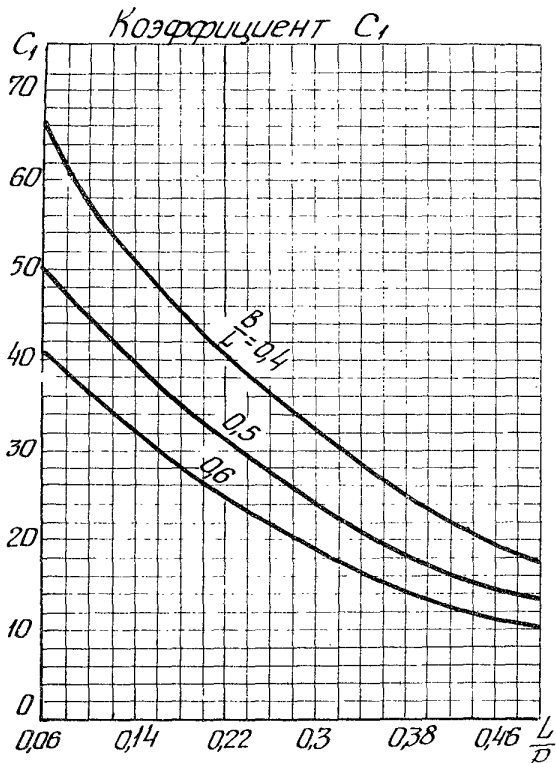


Черт. 23

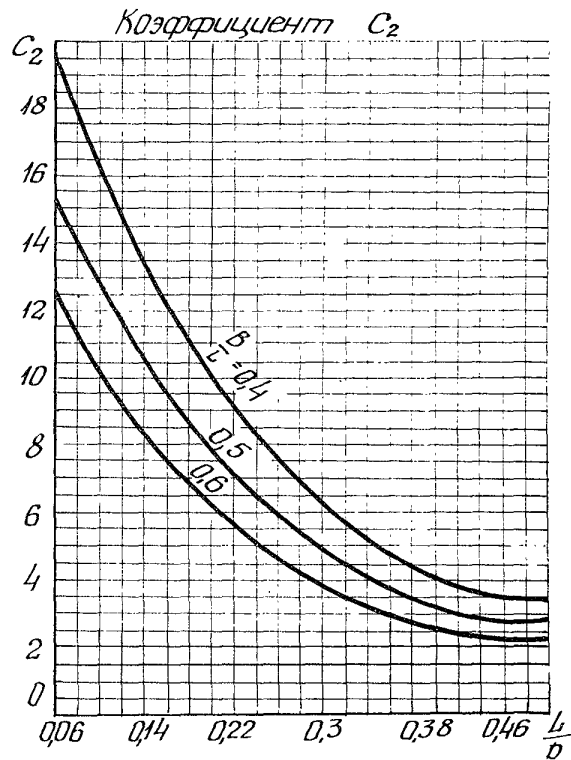
Коэффициент B_4



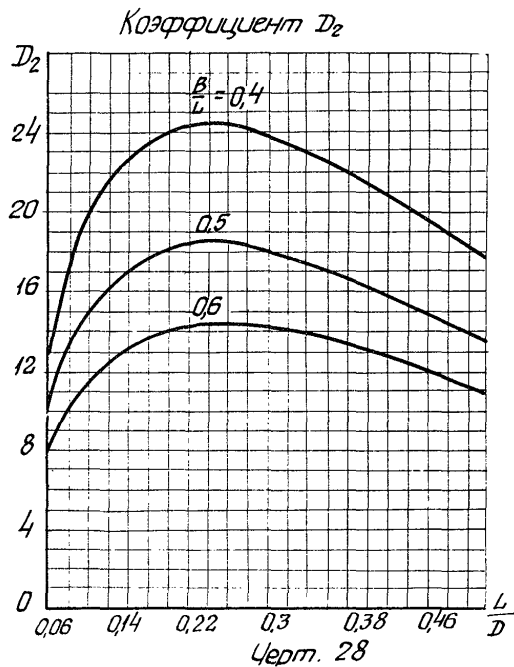
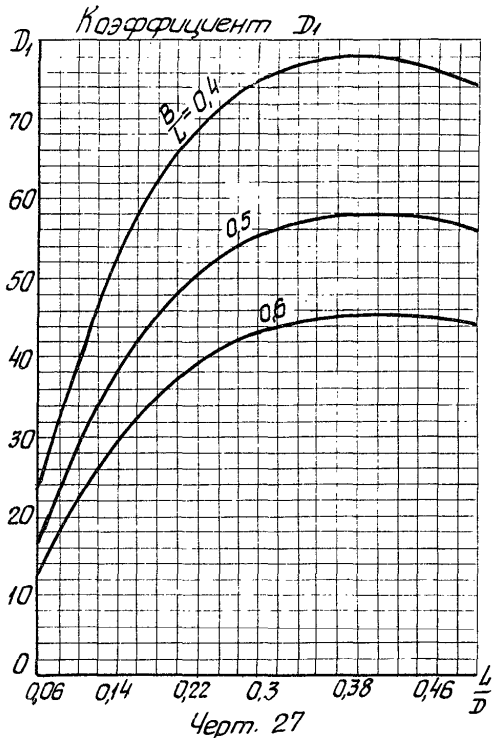
Черт. 24



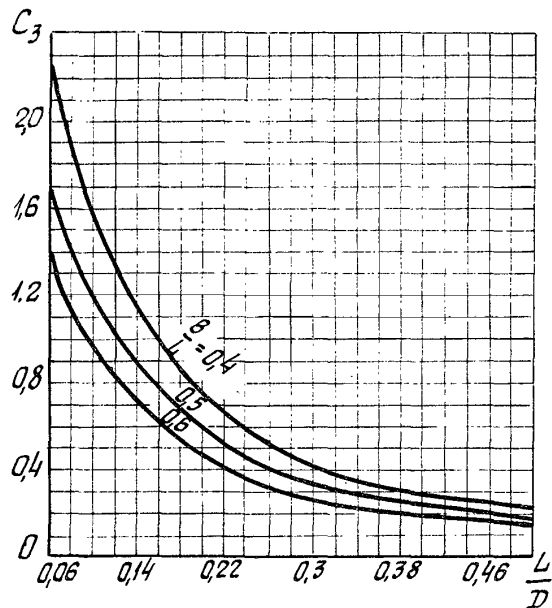
Черт. 25



Черт. 26

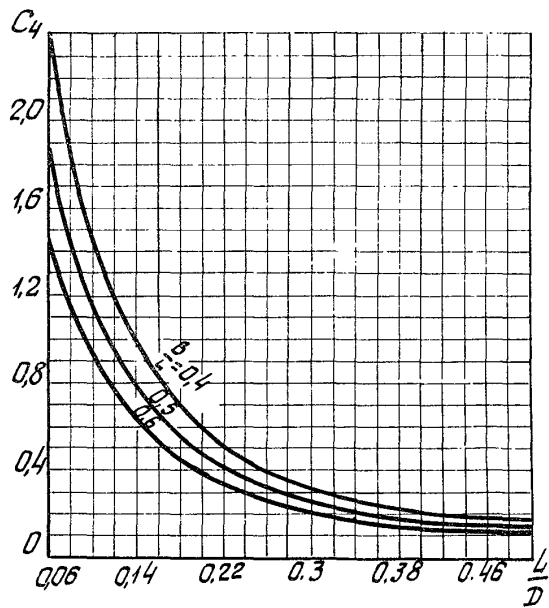


Коэффициент C_3

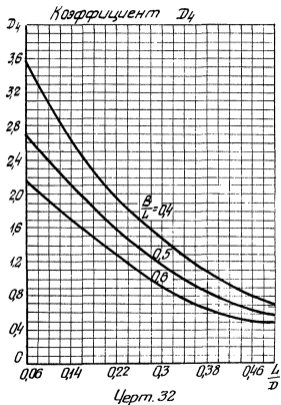
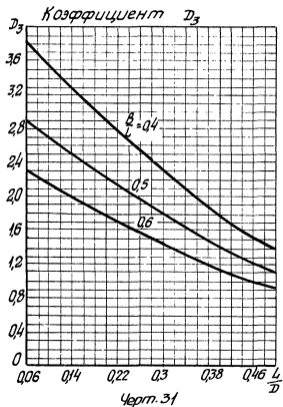


Черт. 29

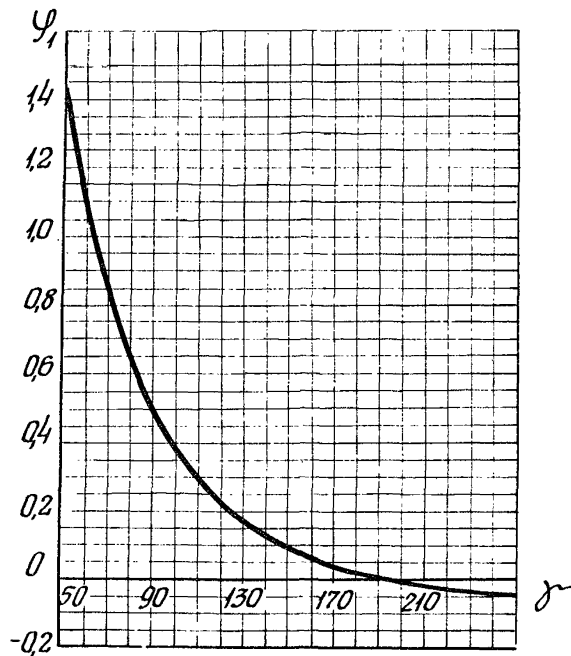
Коэффициент C_4



Черт. 30

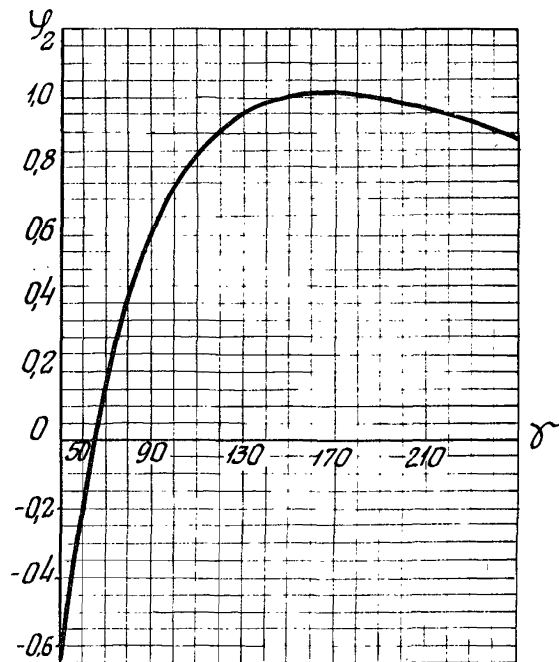


Коэффициент ψ_1



Черт. 33

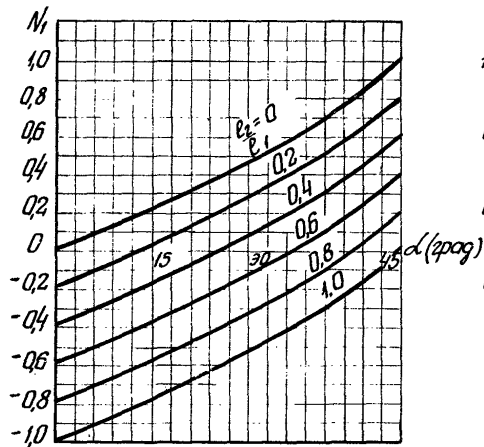
Коэффициент ψ_2



Черт. 34

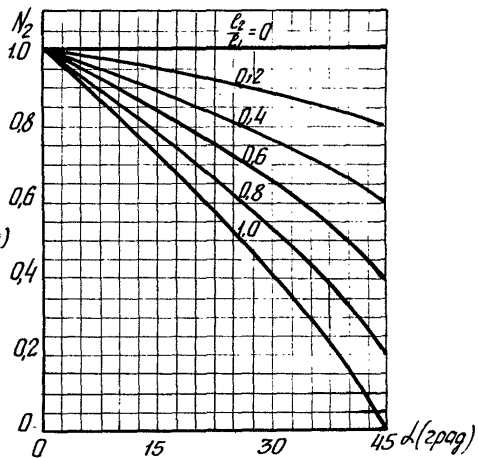
РД. РТМ 26 - 319 - 79 стр. 25

Коэффициент N_1



Черт. 35

Коэффициент N_2



Черт. 36

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

I. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СТЕНКИ АППАРАТА, УСТАНОВЛЕННОГО
НА ОПОРАХ-ЛАПАХ

I.I. Исходные данные

Материал обечайки аппарата	сталь ВСтЗсп5
Температура, °С	200
Рабочее давление, кгс/см ²	2
Внутренний диаметр аппарата, см	240
Исполнительная толщина стенки аппарата, см	1,2
Прибавка для компенсации коррозии, см	0,2
Дополнительная прибавка, см	0,08
Масса аппарата в рабочем состоянии, кг	14000
Масса аппарата в режиме гидроиспытания, кг	28000
Момент внешних нагрузок в рабочем состоянии, кгс.см	$1,25 \cdot 10^6$
Момент внешних нагрузок в режиме гидроиспытания, кгс.см	$0,7 \cdot 10^6$
Количество опор, шт.	4
Пробное давление, кгс/см ²	3,5
Высота столба на уровне подошвы опор, см	650
Плотность воды δ_s , кг/см ³	0,001

I.2. Эксплуатационный режим

В соответствии с условиями монтажа и эксплуатации аппарата

$$\lambda_1 = 2 ; \lambda_2 = 1.$$

Предварительно выбираем опору 2-16000 ОСТ 26- 665 -79, имеющую размеры: $b = 65$ см, $h = 78$ см, $f_{max} = 36$ см.

Определяем плечо нагрузки по формуле (2):

$$\ell_1 = \frac{b + f_{max} + s_0 + s_2}{2} = \frac{65 + 36 + 0,92 + 0}{2} = 51 \text{ см}$$

Здесь

$$s_0 = s' - c - c_1 = 1,2 - 0,2 - 0,08 = 0,92 \text{ см}$$

Нагрузку на одну опору определяем по формуле (I):

$$Q = \lambda_1 \frac{G}{n} + \lambda_2 \frac{M}{D \cdot 2\ell} = 2 \cdot \frac{14000}{4} + 1 \cdot \frac{1,25 \cdot 10^6}{240 + 2 \cdot 51} =$$

$$= 10700 \text{ кгс}$$

Нагрузка допустима для выбранной опоры.

Соотношение параметров аппарата и опоры:

$$\gamma = \frac{D}{2 \cdot s_0} = \frac{240}{2 \cdot 0,92} = 130 ;$$

$$\frac{h}{D} = \frac{78}{240} = 0,325$$

Осевое напряжение от внутреннего давления и изгибающего момента равно:

$$\sigma_{mz} = \frac{P D}{4 S_0} + \frac{4M}{\pi D^2 S_0} = \frac{2 \cdot 240}{4 \cdot 0,92} + \frac{4 \cdot 1,25 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 240^2 \cdot 0,92} = 160 \text{ кгс/см}^2$$

Окружное напряжение от внутреннего давления равно:

$$\sigma_{m0} = \frac{P D}{2 S_0} = \frac{2 \cdot 240}{2 \cdot 0,92} = 262 \text{ кгс/см}^2$$

Таким образом, максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок равно:

$$\sigma_{m0} = 262 \text{ кгс/см}^2$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры по формуле (3):

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \sigma_{m0} \pm K_1 \frac{Q \cdot l_1}{D \cdot S_0^2} = 262 \pm 0,3 \cdot \frac{10700 \cdot 51}{240 \cdot 0,92^2} = \\ &= 262 \pm 806 = \begin{matrix} + 1068 \text{ кгс/см}^2 \\ - 544 \text{ кгс/см}^2 \end{matrix} \end{aligned}$$

Коэффициент $K_1 = 0,3$ взят из графика черт.8.

Максимальное изгибное напряжение от реакции опоры по формуле (4):

$$\sigma_u = K_2 \frac{Q \cdot l_1}{h \cdot S_0^2} = 0,43 \frac{10700 \cdot 51}{78 \cdot 0,92^2} = 3554 \text{ кгс/см}^2$$

Коэффициент $K_2 = 0,43$ взят из графика черт.10.

Условие прочности (б):

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_T}\right)^2 + \frac{0,8}{1,0} \frac{\sigma_u}{\sigma_T} &\leq 1, \\ \left(\frac{1068}{1890}\right)^2 + 0,8 \frac{3554}{1890} &= 1,8 > 1 \end{aligned}$$

не выполнено.

Требуется применить накладные листы.

По ОСТ 26- 665 -79 для опоры Э-16000 ОСТ 26- 665 -79
выбираем накладной лист из материала ВСтЗспб высотой $H = 107$ см.

Определяем толщину накладного листа по формуле (8):

$$S_2 = \sqrt{\frac{KQ}{AG_T}} = \sqrt{\frac{0,26 \cdot 10700}{1,0 \cdot 1890}} = 1,2 \text{ см}$$

Коэффициент $K = 0,26$ взят из графика черт.16.

В соответствии с ОСТ 26- 665 -79 толщину накладного листа принимаем $S_2 = 1,2$ см.

Плечо нагрузки по формуле (2):

$$l_I = \frac{\delta + f_{\max} + S_0 + S_2}{2} = \frac{65 + 36 + 0,92 + 1,2}{2} = 51,6 \text{ см.}$$

Отношение высоты накладного листа к внутреннему диаметру равно:

$$\frac{H}{D} = \frac{102}{240} = 0,425$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры по формуле (6):

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \sigma_{m0} + K_3 \frac{Q l_1}{D \cdot S_0^2} = 262 + 0,2 \frac{10700 \cdot 51,6}{240 \cdot 0,92^2} = \\ &= 262 + 544 = +806 \text{ кгс/см}^2 \\ &\quad - 282 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned}$$

Коэффициент $K_3 = 0,2$ взят из графика черт.12.

Максимальное изгибное напряжение от реакции опоры по формуле (7)

$$\sigma_u = K_4 \frac{Q l_1}{H S_0^2} = 0,15 \frac{10700 \cdot 51,6}{102 \cdot 0,92^2} = 960 \text{ кгс/см}^2$$

Коэффициент $K_4 = 0,15$ взят из графика черт.14.

Условие прочности (5)

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_T}\right) + \frac{0,8}{A} \frac{\sigma_u}{\sigma_T} &\leq 1 \\ \left(\frac{806}{1800}\right)^2 + \frac{0,8}{1,0} \frac{960}{1890} &= 0,6 < 1 \quad \text{выполнено} \end{aligned}$$

I.3. Режим гидротытания

Нагрузка на одну опору по формуле (1):

$$Q = \lambda_1 \frac{G}{h} + \lambda_2 \frac{M}{D + 2L_1} = 2 \cdot \frac{28000}{4} + 1 \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{240 + 2,51,6} = 16000 \text{ кгс}$$

Осевое напряжение от пробного и гидростатического давления и изгибающего момента равно:

$$\begin{aligned} \sigma_{mx} &= (P_{\text{проб}} + \rho \cdot \sigma_v) \frac{D}{4 S_0} + \frac{4M}{\pi D^2 S_0} = (3,5 + 650 \cdot \\ &0,001) \cdot \frac{240}{4 \cdot 0,92} + \frac{4 \cdot 0,7 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 240^2 \cdot 0,92} = \\ &= 288 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned}$$

Окружное напряжение от пробного и гидростатического давления равно:

$$\begin{aligned} \sigma_{m\theta} &= (P_{\text{проб}} + \rho \cdot \sigma_v) \frac{D}{2 S_0} = (3,5 + 650 \cdot 0,001) \frac{240}{2 \cdot 0,92} = \\ &= 541 \text{ кгс/см}^2. \end{aligned}$$

Таким образом, максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок равно:

$$\sigma_{m\theta} = 541 \text{ кгс/см}^2$$

Толщина накладного листа по формуле (8):

$$s_2 = \sqrt{\frac{KQ}{A \sigma_r}} = \sqrt{\frac{0,26 \cdot 16000}{1,2 \cdot 2100}} = 1,28 \text{ см}$$

В соответствии с ОСТ 26- 665 - 79 толщину накладного листа принимаем равной $s_2 = 1,6 \text{ см}$.

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры по формуле (6):

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \sigma_{mo} + K_3 \frac{Q l_1}{D S_o^2} = 541 + 0,2 \frac{16000 \cdot 51,6}{240 \cdot 0,92^2} \\ &= 541 + 813 = \begin{matrix} +1354 \text{ кгс/см}^2 \\ - 272 \text{ кгс/см}^2 \end{matrix}\end{aligned}$$

Максимальное изгибное напряжение от реакции опоры по формуле (7):

$$\sigma_u = K_4 \frac{Q l_1}{H S_o^2} = 0,15 \frac{16000 \cdot 51,6}{102 \cdot 0,92^2} = 1434 \text{ кгс/см}^2$$

Условие прочности (5)

$$\left(\frac{\sigma_m}{\sigma_r} \right)^2 + \frac{0,8}{I_r} \frac{\sigma_u}{\sigma_r} \leq 1;$$

$$\left(\frac{1354}{2100} \right)^2 + \frac{0,8}{1,2} \cdot \frac{1434}{2100} = 0,97 < 1 \quad \text{выполнено.}$$

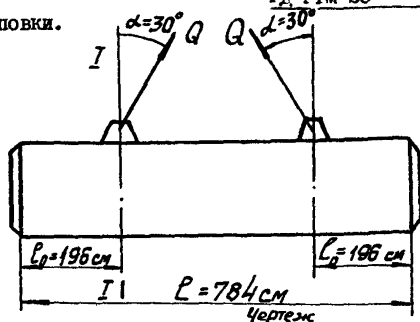
2. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ СТЕЖИ АППАРАТА, ПОЛНИМАЕМОГО ЗА ДВА УШКА

Исходные данные

Внутренний диаметр аппарата, см	250
Толщина стенки аппарата в конце срока службы, см	1,0
Масса аппарата, кг	6500
Материал аппарата	сталь ВСтЗсп5
Температура стенки аппарата, °С	20
Количество ушек, шт.	2

Основные размеры даны на чертеже схемы строповки.

Схема строповки.



Нагрузка на одно ушко равна:

$$Q = \frac{G}{n \cdot \cos \alpha} = \frac{6500}{2 \cdot \cos 30^\circ} = 3753 \text{ кгс}$$

По ГОСТ 13716-73 выбираем ушко 3-2-4-1300 ВСтЗсп5

ГОСТ 13716-73, имеющее следующие основные размеры:

$$l_1 = 10,8 \text{ см}; l_2 = 2,0 \text{ см}; L = 26 \text{ см}; B = 10 \text{ см}.$$

Соотношения параметров аппарата и стропового устройства равны:

$$\gamma = \frac{D}{2 S_0} = \frac{250}{2 \cdot 1,0} = 125$$

$$\frac{L}{D} = \frac{26}{250} = 0,104; \quad \frac{B}{L} = \frac{10}{26} = 0,385.$$

Напряжение от основной нагрузки (напряжение, возникающее в оболочке как в свободно опертой балке с двумя равными консолями, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой от собственной массы) равно:

$$\sigma_{mo} = \frac{M}{W}$$

$$\text{Здесь } M = \frac{\pi}{2} D \cdot S_0 \cdot \rho \cdot l^2$$

- изгибающий момент

в сечении I-I обечайки;

$$W = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S_0 \quad \text{- момент сопротивления поперечного сечения обечайки;}$$

ρ - плотность материала аппарата

В соответствии с этим имеем:

$$\sigma_{mo} = \frac{2\rho \cdot l_0^2}{D} = \frac{2,7,85 \cdot 10^{-3} \cdot 196^2}{250} = 2,4 \text{ кгс/см}^2$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства по формуле (11):

$$\sigma_m = \sigma_{mo} + 10^{-4} \left[(A_1 \varphi_1 + A_2 \varphi_2) \pm (B_1 \varphi_1 + B_2 \varphi_2) \cdot \frac{N_1 l_1}{L} \right]$$

$$\begin{aligned} \frac{B}{L} \gamma \frac{Q}{S_0^2} \cos \alpha &= 2,4 + 10^{-4} \left[(58,0,2 + 16,0,94) \pm (88,0,2 + 29,0,94) \cdot 0,35 \cdot \frac{10,8}{26,0} \right] \cdot 0,385 \cdot 125 \cdot \frac{3753}{1,0^2} \cdot 0,866 = \\ &= 2,4 + 520 \\ &\quad + 315 = + 522 \text{ кгс/см}^2 \\ &\quad + 317 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned}$$

Коэффициенты $A_1 = 58$; $A_2 = 16$; $B_1 = 88$; $B_2 = 29$; $N_1 = 0,35$;

$\varphi_1 = 0,2$; $\varphi_2 = 0,94$ взяты из соответствующих графиков (черт. 17, 18, 19, 20, 33, 34, 35).

Максимальное изгибное напряжение от реакции стропового устройства по формуле (12):

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \left[(A_3 \varphi_1 + A_4 \varphi_2) \pm (B_3 \varphi_1 + B_4 \varphi_2) \cdot N_1 \frac{l_1}{L} \right] \cdot \\ &\cdot \frac{Q}{S_0^2} \cos \alpha \frac{B}{L} = \left[(1,8,0,2 + 1,17,0,94) \pm \right. \\ &\left. \pm (2,6 \cdot 0,2 + 1,8 \cdot 0,94) \cdot \frac{0,35 \cdot 10,8}{26} \right] \cdot \frac{3753}{1,0^2} \cdot 0,866 \cdot \\ &\cdot 0,385 = +2230 \text{ кгс/см}^2 \\ &\quad + 1424 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned}$$

Коэффициенты $A_3 = 1,8$; $A_4 = 1,17$; $B_3 = 2,6$; $B_4 = 1,8$.
взяты из соответствующих графиков (черт. 21, 22, 23, 24).

Условие прочности (5)

$$\left(\frac{\tilde{\sigma}_m}{\tilde{\sigma}_T} \right)^2 + \frac{0,8}{A} \frac{\tilde{\sigma}_u}{\tilde{\sigma}_T} \leq I;$$

$$\left(\frac{522}{2100} \right)^2 + \frac{0,8}{1,2} \cdot \frac{2230}{2100} = 0,77 < I \quad \text{выполнено}$$

Отпечатано на ротапринте УкрНИИхиммаша

Заказ № 62 Тираж 200 экз.