

Второй Конвертер SO₂

R 104/2




16017-43/6-K02.001PP

Расчеты

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
34	30.06.10.11	23		

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Общие положения	3
2.	Штуцер В1	4
3.	Днище коническое поз. 12	9
4.	Опора поз. 70	18
5.	Цилиндрический участок опоры	21
6.	Опорный узел элемента 'Опора поз. 70'	22
7.	Нагрузки на фундамент	26
8.	Обечайка поз. 5	26
9.	Обечайка поз. 6	30
10.	Днище коническое поз. 10, 11	35
11.	Штуцер А1	42
12.	Список литературы	48
13.	Лист регистрации изменений	49

Инв. № подл. 34	Подпись и дата 30.06.10.16		Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата																																													
<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Зам</td> <td>1210-16</td> <td><i>[Подпись]</i></td> <td>26.10.16</td> <td rowspan="5"> 16017-43/6-K02.001PP Второй Конвертор SO₂ R 104/2 Расчеты </td> <td colspan="3">Лит.</td> </tr> <tr> <td>Изм.</td> <td>Лист</td> <td>№ документа</td> <td>Подпись</td> <td>Дата</td> <td colspan="3">Лист</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td>Пушкинский</td> <td><i>[Подпись]</i></td> <td>26.10.16</td> <td colspan="3">Листов</td> </tr> <tr> <td>Проверил</td> <td>Мартьянова</td> <td><i>[Подпись]</i></td> <td>26.10.16</td> <td colspan="3">2</td> </tr> <tr> <td>Н. контр.</td> <td>Груздева</td> <td><i>[Подпись]</i></td> <td>26.10.16</td> <td colspan="3">49</td> </tr> <tr> <td>Утвердил</td> <td>Ильичев</td> <td><i>[Подпись]</i></td> <td>26.10.16</td> <td colspan="3">  Гипрогазоочистка <small>Инженеринговая компания</small> </td> </tr> </table>						1	Зам	1210-16	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	16017-43/6-K02.001PP Второй Конвертор SO₂ R 104/2 Расчеты	Лит.			Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Лист			Разраб.	Пушкинский	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	Листов			Проверил	Мартьянова	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	2			Н. контр.	Груздева	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	49			Утвердил	Ильичев	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	 Гипрогазоочистка <small>Инженеринговая компания</small>		
1	Зам	1210-16	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	16017-43/6-K02.001PP Второй Конвертор SO₂ R 104/2 Расчеты	Лит.																																												
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		Лист																																												
Разраб.	Пушкинский	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	Листов																																														
Проверил	Мартьянова	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	2																																														
Н. контр.	Груздева	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	49																																														
Утвердил	Ильичев	<i>[Подпись]</i>	26.10.16	 Гипрогазоочистка <small>Инженеринговая компания</small>																																														

1. Общие положения

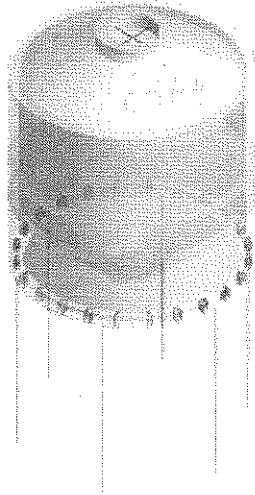
Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат 2.10», разработанной ООО НТП «Трубопровод».

Данный расчет рассматривать совместно с чертежом 16017.K02.001BO.

Исходные данные для расчета

Вид испытаний	Пневмоиспытания
Давление испытаний	0,03 МПа

Общий вид аппарата



Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	26.10.16			

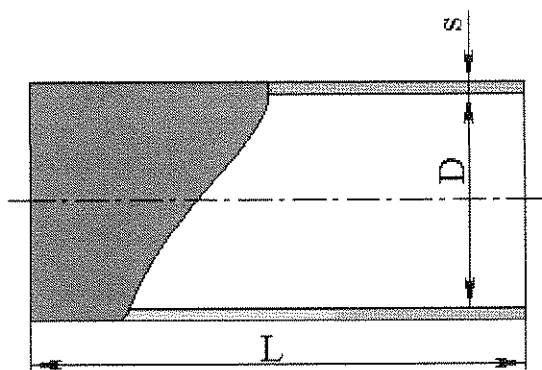
1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

3

2. Штуцер В1



Исходные данные

Материал:	12ХМ
Внутр. диаметр, D:	1000 мм
Толщина стенки, s:	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	2,8 мм
Длина обечайки, L:	150 мм

Расчёт в рабочих условиях при наружном давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	485 °C
Расчётное наружное избыточное давление, p:	0,01000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	0,1585 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	0,17 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	1,37 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

[σ] = 109,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l_p = 1006 мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ \frac{1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 1000}{1006 / 1000} \cdot \left(\frac{0,01000}{10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5} \cdot \frac{1}{1000} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 1000}{2 \cdot 109,5 - 0,01000} \right\} = 4,177 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot 1000}{(2,4 \cdot 1 \cdot 1006) \cdot (100 \cdot (10 - 2,8) / 1000)^{2,5}} = 0,6269 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 109,5 \cdot (10 - 2,8)}{1000 + 10 - 2,8} = 1,566 \text{ МПа}$$

0,5819 МПа ≥ 0,01000 МПа

Закключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34	28.10.16			

1	Зам	1210-16	28.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

4

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 249,5 / (1 + (249,5 / 939,8)^2)^{1/2} = 241,1 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 62,37 / (1 + (62,37 / 268,5)^2)^{1/2} = 60,75 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 61,92 / (1 + (61,92 / 174,5)^2)^{1/2} = 58,35 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,5819 + 1,37 / 241,1 + 0,1585 / 60,75 + (0,17 / 58,35)^2 = 0,02548 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Расчёт в рабочих условиях при внутреннем давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,02000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0,1585 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 0,17 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 1,37 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 109,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 1000) / (2 \cdot 109,5 \cdot 1 - 0,02000) + 2,8 = 2,891 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 109,5 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8) / (1000 + 10 - 2,8) = 1,566 \text{ МПа}$$

1,566 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34	30.06.10.16			

1	Зам	1210-16	30.06.10.16	30.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 249,5 / (1 + (249,5 / 939,8)^2)^{1/2} = 241,1 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 62,37 / (1 + (62,37 / 268,5)^2)^{1/2} = 60,75 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1006 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 61,92 / (1 + (61,92 / 174,5)^2)^{1/2} = 58,35 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 1,37 / 241,1 + 0,1585 / 60,75 + (0,17 / 58,35)^2 = 0,008298 \leq 1$$

Закключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1000 + 10 - 2,8) \cdot (10 - 2,8) \cdot 109,5 \cdot 1 = 249,5 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 1000^2 / 4) / 249,5 + 0,1585 / 62,37 = 0,008838 \leq 1$$

Закключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T:

20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p:

0,03000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M:

0 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q:

0,8429 · 10⁻⁷ тс

Расчётное осевое растягивающее усилие, F:

0,03053 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34	26.10.16			

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,03000 \cdot 1000) / (2 \cdot 183,3 \cdot 1 - 0,03000) + 2,8 = 2,882 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8) / (1000 + 10 - 2,8) = 2,621 \text{ МПа}$$

$$2,621 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1000 + 10 - 2,8) \cdot (10 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot 1 = 417,7 \text{ тс}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1006 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 103,7 / (1 + (103,7 / 302,4)^2)^{1/2} = 98,07 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 0/0 + 0/0 + (0,8429 \cdot 10^{-7} / 98,07)^2 = 0,7387 \cdot 10^{-18} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} = (0,03053 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 1000^2 / 4) / 417,7 + 0/0 = 0,005714 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 104,4 / (1 + (104,4 / 465,4)^2)^{1/2} = 101,9 \text{ тс м}$$

Расчёт в условиях монтажа

Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T : 20 $^{\circ}\text{C}$

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 0 МПа

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Ине. №	Взам. ине. №	Подпись и дата
34	26.10.16				

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Расчётный изгибающий момент, М: 0 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: $0,1724 \cdot 10^{-6}$ тс

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 0,05036 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (10 - 2,8) / (1000 + 10 - 2,8) = 2,859 \text{ МПа}$$

$$2,859 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Закключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1000 + 10 - 2,8) \cdot (10 - 2,8) \cdot 200 \cdot 1 = 455,6 \text{ тс}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1006 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_E}\right)^2}} = 113,1 / (1 + (113,1 / 302,4)^2)^{1/2} = 105,9 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 0/0 + 0/0 + (0,1724 \cdot 10^{-6} / 105,9)^2 = 0,265 \cdot 10^{-17} \leq 1$$

Закключение: Условие устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

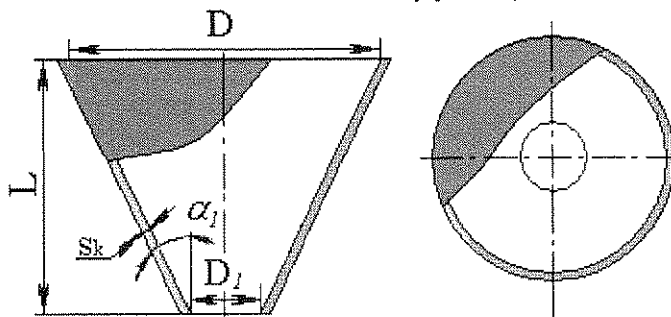
$$[M] = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\pi}}{[M]_E}\right)^2}} = 113,9 / (1 + (113,9 / 465,4)^2)^{1/2} = 110,6 \text{ тс м}$$

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	30.06.10.16
Инв. № подл.	34

1	Зам	1210-16	Л.Л.	30.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

3. Днище коническое поз. 12

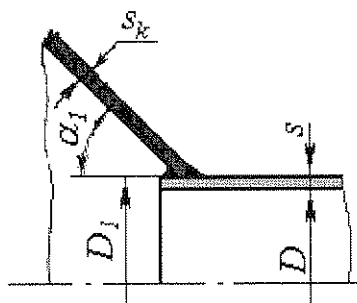


Исходные данные

Материал обечайки:	12ХМ
Диаметр большого основания, D:	5600 мм
Диаметр меньшего основания, D ₁ :	1020 мм
Толщина стенки, s _k :	14 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, с ₁ :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, с ₂ :	0,8 мм
Прибавка технологическая, с ₃ :	0 мм
Сумма прибавок, с:	2,8 мм
Длина обечайки, L:	2100 мм
Смещение левого основания по горизонтали, X ₀ :	0 мм
Смещение левого основания по вертикали, Y ₀ :	0 мм

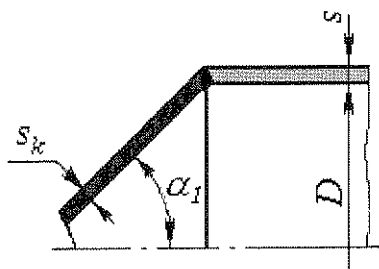
Левый (нижний) узел соединения:

Соединение конической обечайки с цилиндрической меньшего диаметра без укрепления



Правый (верхний) узел соединения:

Соединение конической и цилиндрической обечаек без укрепления



Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	ЗБ ЗБ 10.16			

1	Зам	1210-16	Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

9

Расчёт в рабочих условиях при наружном давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 485 °С
 Расчётное наружное избыточное давление, р: 0,01000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, М: 6,822 тс м
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 28,1 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре Т = 485 °С (рабочие условия):

[σ] = 93 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре Т = 485 °С :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 93 \cdot (14 - 2,8) / (5380 / \cos(47,48) + 14 - 2,8) = 0,2613 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_E = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_E} \right]^{-2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot 8286}{(2,4 \cdot 1 \cdot 3107) \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 8286)^{2,5}} = 0,02568 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E} \right)^2}} = 0,2613 / (1 + (0,2613 / 0,02568)^2)^{1/2} = 0,02556 \text{ МПа}$$

0,02556 МПа ≥ 0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_n = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5600 \cdot (14 - 2,8) \cdot 93 \cdot 1 \cdot \cos(47,48) = 1734 \text{ тс м}$$

$$[M]_E = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8286 / 4 \cdot 8286 \cdot (14 - 2,8) \cdot 93 \cdot \cos(47,48) = 3796 \text{ тс м}$$

$$[M]_E = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{-2,5} = \frac{8286}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,654 \cdot 10^5}{(2,4 \cdot 1 \cdot 3107) \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 8286)^{2,5}} = 1065 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_n ; [M]_{уст} \} = \min \{ 1734, 1026 \} = 1026 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0,01000 / 0,02556 + 28,1 / 437,1 + 6,822 / 1026 = 0,4622 \leq 1$$

Заклучение: Условие устойчивости выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре Т = 485 °С (рабочие условия):

[σ]_k = 93 МПа

Инв. № подл.	34
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подпись и дата	26.10.16

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Свойства материала соседнего элемента:Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 109,5 \text{ МПа}$$

$$0,6593 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,6593 + 1,337 / 65,72| + 0,1585 / 16,43 = 0,01483 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:**Свойства материала несущей обечайки:**Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 93 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 93 \text{ МПа}$$

$$0,1408 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,1408 + 28,1 / 302,3| + 6,822 / 423,2 = 0,03805 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в рабочих условиях при внутреннем давлении**Условия нагружения:**Расчётная температура, T : $485\text{ }^{\circ}\text{C}$ Расчётное внутреннее избыточное давление, p : $0,02000 \text{ МПа}$ Расчётный изгибающий момент, M : $2,639 \text{ тс м}$ Расчётное осевое сжимающее усилие, F : $37,64 \text{ тс}$ **Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007**Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma] = 93 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 485\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E = 1,654 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 93 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5380 / \cos(47,48) + 14 - 2,8) = 0,2613 \text{ МПа}$$

$$0,2613 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
34	86.10.16			

1	Зам	1210-16	8/10/16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 * 3,142 * 5600 * (14 - 2,8) * 93 * 1 * \cos(47,48) = 1734 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{т}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8286 / 4 * 8286 * (14 - 2,8) * 93 * \cos(47,48) = 3796 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8286 / 3,5 * 310 * 10^{-6} * 1,654 \cdot 10^5 * (8286 * \cos(47,48))^2 / 2,4 * (100 * (14 - 2,8) / 8286)^{2,5} = 1065 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{тп}} ; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 1734, 1026 \} = 1026 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 37,64 / 437,1 + 2,639 / 1026 = 0,08869 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: $\left(\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} \leq 1 \right)$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} = (0 + 0,02000 * 3,142 * 5600^2 / 4) / 1239 + 2,639 / 1734 = 0,04130 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 93 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 109,5 \text{ МПа}$$

$$0,6593 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,6593 + 1,337 / 65,72| + 0,1585 / 16,43 = 0,06033 \leq 1$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Ине. № подл.	Подпись и дата
Взам. ине. №	
Ине. № дубл.	
Подпись и дата	
Ине. № подл.	

1	Зам	1210-16	16/10/16	16017-43/6-K02.001PP	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	12

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 93 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 93 \text{ МПа}$$

$$0,1408 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,1408 + 37,64 / 302,3| + 2,639 / 423,2 = 0,2728 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,03000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: $0,1996 \cdot 10^{-6}$ тс м

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 2,144 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5380 / \cos(47,48) + 14 - 2,8) = 0,5152 \text{ МПа}$$

$$0,5152 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{гр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5572 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5572 \cdot (14 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot \cos(47,48) = 3384 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8281 / 4 \cdot 8281 \cdot (14 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot \cos(47,48) = 7475 \text{ тс м}$$

$$[M]_E = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8281 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot (8281 \cdot \cos(47,48))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 8281)^{2,5} = 1846 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{гр}} ; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 3384, 1792 \} = 1792 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} \leq 1 \right)$$

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	30.06.19.16
Инв. № подл.	34

1	Зам	1210-16	Л.С.	Л.С.
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист
13

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (2,144 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 5572^2 / 4) / 2429 + 0,1996 \cdot 10^6 / 3384 = 0,03100 \leq 1$$

Закключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,03000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 1,237 тс м
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 8,966 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5380 / \cos(47,48) + 14 - 2,8) = 0,5152 \text{ МПа}$$

$$0,5152 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Закключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5600 \cdot (14 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot \cos(47,48) = 3418 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8286 / 4 \cdot 8286 \cdot (14 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot \cos(47,48) = 7483 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8286 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot (8286 \cdot \cos(47,48))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 8286)^{2,5} = 1847 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}} ; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 3418, 1793 \} = 1793 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 8,966 / 762,5 + 1,237 / 1793 = 0,01245 \leq 1$$

Закключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1 \right)$$

Ине. № подл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	
Ине. № дубл.	
Подпись и дата	30.10.16
Ине. № подл.	34

1	Зам	1210-16	30.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись
			Дата

16017-43/6-K02.001PP

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 2442 + 1,237 / 3418 = 0,03063 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{к}}^{20} = \eta \cdot R_{\text{с}/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{с}}^{20} = \eta \cdot R_{\text{с}/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

$$1,184 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,03000 / 1,184 + 0,05872 / 120,4| + 0 / 30,09 = 0,02583 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{к}}^{20} = \eta \cdot R_{\text{с}/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{с}}^{20} = \eta \cdot R_{\text{с}/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

$$0,2775 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

$$\text{Проверка условия прочности: } \left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,03000 / 0,2775 + 8,966 / 595,9| + 1,237 / 834,2 = 0,1246 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа

Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T : 20°C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 0 МПа

Расчётный изгибающий момент, M : $0,3211 \cdot 10^{-6} \text{ тс м}$

Расчётное осевое растягивающее усилие, F : $2,168 \text{ тс}$

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{\text{с}/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$:

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	36.10.16			

1	Зам	1210-16	36.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5380 / \cos(47,48) + 14 - 2,8) = 0,562 \text{ МПа}$$

0,562 МПа \geq 0 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{гр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5572 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5572 \cdot (14 - 2,8) \cdot 200 \cdot 1 \cdot \cos(47,48) = 3692 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8281 / 4 \cdot 8281 \cdot (14 - 2,8) \cdot 200 \cdot \cos(47,48) = 8155 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8281 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot (8281 \cdot \cos(47,48))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 8281)^{2,5} = 1846 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{гр}} ; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 3692, 1801 \} = 1801 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:
$$\left(\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} \leq 1 \right)$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{гр}}} = (2,168 + 0 \cdot 3,142 \cdot 5572^2 / 4) / 2650 + 0,3211 \cdot 10^6 / 3692 = 0,818 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа

Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 2,224 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 10,75 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5380 / \cos(47,48) + 14 - 2,8) = 0,562 \text{ МПа}$$

0,562 МПа \geq 0 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{гр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5600 \cdot (14 - 2,8) \cdot 200 \cdot 1 \cdot \cos(47,48) = 3729 \text{ тс м}$$

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	28.10.16
Инв. № подл.	34

1	Зам	1210-16	28.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

16

$$[M]_F = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 8286 / 4 * 8286 * (14 - 2,8) * 200 * \cos(47,48) = 8163 \text{ тс м}$$

$$[M]_E = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 8286 / 3,5 * 310 * 10^{-6} * 2,15 \cdot 10^5 * (8286 * \cos(47,48))^2 / 1,8 * (100 * (14 - 2,8) / 8286)^{2,5} = 1847 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{гр}; M_{уст} \} = \min \{ 3729, 1801 \} = 1801 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 10,75 / 765,2 + 2,224 / 1801 = 0,01528 \leq 1$$

Закключение: Условие устойчивости выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_k = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_s = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_k = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_s = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0 / 0,3027 + 10,75 / 650| + 2,224 / 910,1 = 0,01898 \leq 1$$

Закключение: Условие прочности выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата
349	26.10.16					

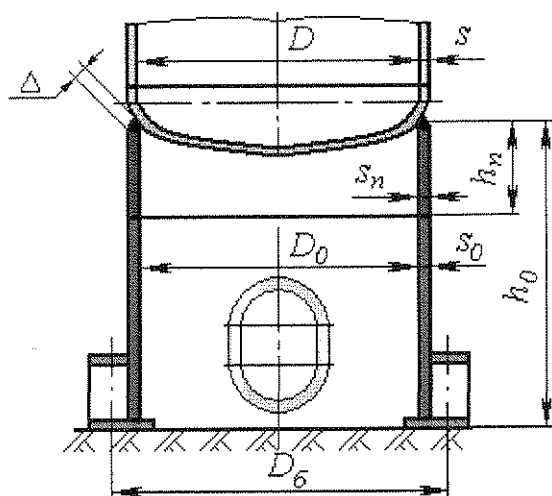
1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист
17

4. Опора поз. 70

Опорная обечайка



Исходные данные

Несущий элемент: Днище коническое поз. 12

Высота опоры, h_0 : 2000 мм

Диаметр верхнего основания, D_0 : 5600 мм

Опорный элемент

Группа патрубков

Цилиндрический участок:

Материал: 12ХМ

Толщина стенки, s_0 : 16 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, s_1 : 1 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска, s_2 : 0,8 мм

Прибавка технологическая, s_3 : 0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, s : 1,8 мм

Фундамент:

Бетон: В10 (М150)

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T : 485 °С

Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении: 2,943 тс м

Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении: 5,595 тс м

Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении: 1,276 тс

Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении: 1,863 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F : 45,48 тс

Свойства материала опорной обечайки в месте сопряжения с корпусом:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485$ °С (рабочие условия):

$[\sigma]_0 = 109,5$ МПа

Свойства материала корпуса аппарата:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485$ °С (рабочие условия):

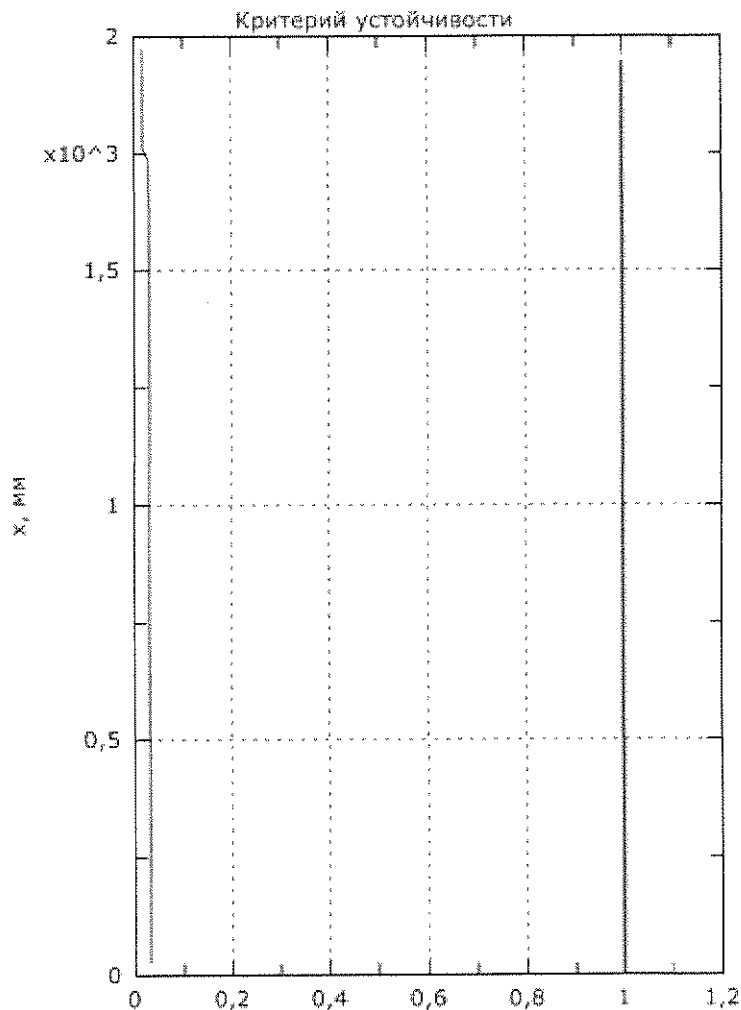
$[\sigma]_k = 93$ МПа

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34	26.10.16			

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99



---- Критерий устойчивости

---- Предельное значение

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении :

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 45,48 / (1,001 \cdot 1587) + (5,561 + 45,48 \cdot 0 \cdot 5600) / (0,9988 \cdot 2377) = 0,03097$$

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1,0;$$

Условие устойчивости выполнено

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0,8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \}$$

Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях испытаний

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении: 1,248 тс м

Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении: 2,789 тс м

Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении: 0,5928 тс

Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении: 0,9464 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 18,2 тс

Свойства материала опорной обечайки в месте сопряжения с корпусом:

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	26.10.16					

1	Зам	1210-16	26/10/16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

19

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

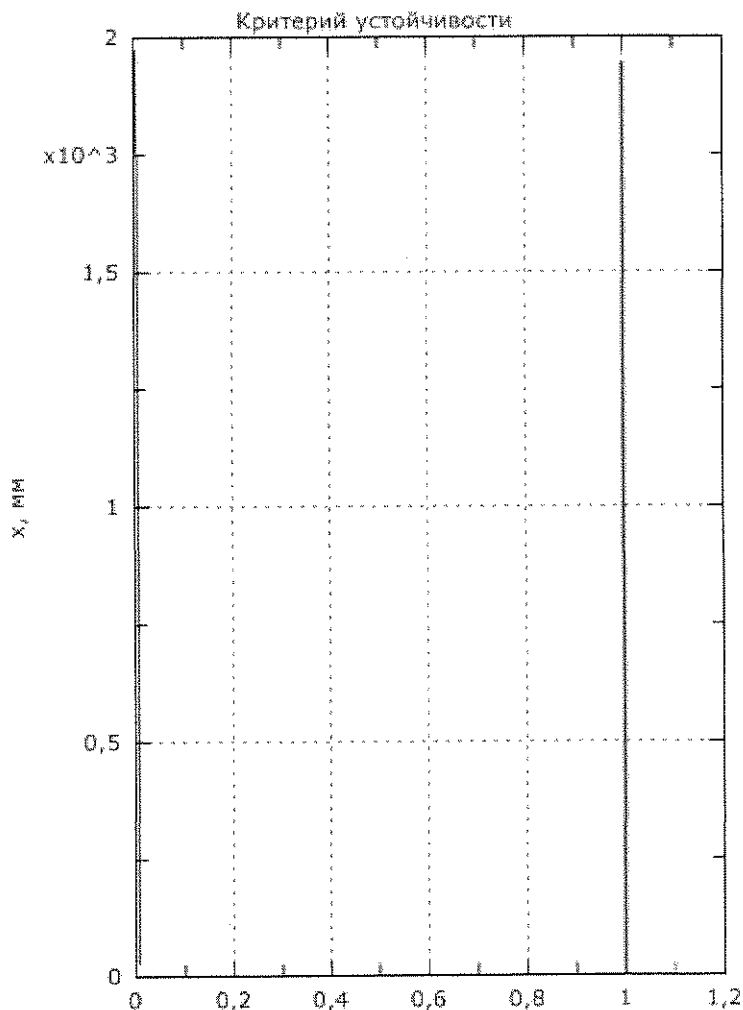
$$[\sigma]_{20}^0 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала корпуса аппарата:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]_{20}^k = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99



---- Критерий устойчивости

---- Предельное значение

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении :

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 18,2 / (1,001 \cdot 2909) + (2,769 + 18,2 \cdot 0 \cdot 5600) / (0,9988 \cdot 4392) = 0,006883$$

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1,0; \quad \text{Условие устойчивости выполнено}$$

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0,8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
34	30.06.10.16			

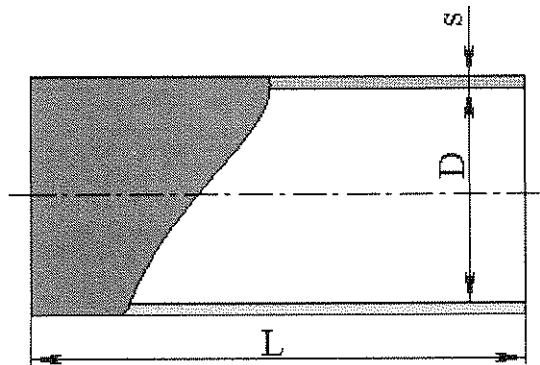
1	Зам	1210-16	30/06/16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

20

5. Цилиндрический участок опоры



Исходные данные

Материал: 12ХМ
 Внутр. диаметр, D: 5600 мм
 Толщина стенки, s: 16 мм
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 : 1 мм
 Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 : 0,8 мм
 Прибавка технологическая, c_3 : 0 мм
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c : 1,8 мм
 Длина обечайки, L: 1725 мм

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$[\sigma] = 93 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 485^\circ\text{C}$:

$E = 1,654 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = \frac{2329}{(1 + (2329/2169)^2)^{1/2}} = 1587 \text{ тс}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = \frac{3261}{(1 + (3261/3471)^2)^{1/2}} = 2377 \text{ тс м}$$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ\text{C}$:

$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = \frac{4592}{(1 + (4592/3760)^2)^{1/2}} = 2909 \text{ тс}$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата	Име. № подл.
34	28.10.16						

1	Зам	1210-16	28.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

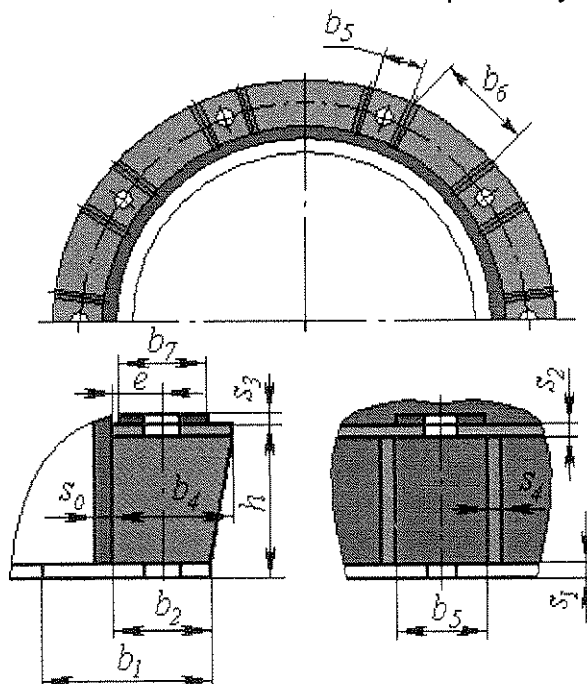
21

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 6428 / (1 + (6428 / 6016)^2)^{1/2} = 4392 \text{ тс м}$$

6. Опорный узел элемента 'Опора поз. 70'

Расчёт опорного узла по ГОСТ Р 51274-99



Несущий элемент:

Тип элемента:

Материал:

Исполнительная толщина нижнего опорного кольца, s₁:

Ширина нижнего опорного кольца, b₁:

Выступающая ширина нижнего опорного кольца, b₂:

Наличие усиливающей пластины

Толщина усиливающей пластины, s₃:

Ширина усиливающей пластины, b₇:

Ширина верхнего опорного кольца, b₄:

Минимальное расстояние между двумя смежными ребрами, b₅:

Исполнительная толщина верхнего опорного кольца, s₂:

Исполнительная толщина ребра, s₄:

Высота опорного узла, h:

Анкерные болты:

Материал:

Номинальный диаметр, d:

Количество, n

Диаметр болтовой окружности, D₆:

Опора поз. 70

4

12ХМ

25 мм

280 мм

180 мм

Да

30 мм

100 мм

180 мм

160 мм

30 мм

10 мм

350 мм

42 мм

24

5820 мм

Ине. № подл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата
34	30.10.16			

1	Зам	1210-16	30.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

22

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётный изгибающий момент, М: 5,595 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 45,48 тс

Результаты расчёта:

Свойства материала элемента опорного узла:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$\bar{\alpha} = 109,5$ МПа

Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$[\sigma]_0 = 93$ МПа

Свойства материала анкерных болтов:

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (МДС 31-4.2000) (рабочие условия):

$\sigma_B = 145$ МПа

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$[\sigma]_{бет} = 6$ МПа

Прочность анкерных болтов (п. 9)

Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)

$$\max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\} = \max \{ 0,9437 * 180 * ((4 * 5,595 / 5820 + 45,48) / (5820 * 280 * 109,5))^{1/2} + 1,8; 1,5 * 16 \} = 24 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_1 \geq \max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\}$$

25 мм \geq 24 мм. Условие прочности выполнено

Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{бет}} = (4 * 5,595 / 5820 + 45,48) / (3,142 * 5820 * 6) = 4,496 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } b_1 \geq \frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_6}$$

280 мм \geq 4,496 мм. Условие прочности выполнено

Толщина верхнего опорного кольца с усиливающей пластиной (п.8.4)

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 30 + 0,5556 * 30 = 46,67 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:

$d_6 = 36,48$ мм

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = (1,057 * (0,001045 * 145 / 109,5))^{1/2} + 1,8 = 41,11 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } (s_2 + \chi_3 \cdot s_3) \geq \chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c$$

46,67 мм \geq 41,11 мм. Условие прочности выполнено

Толщина ребра (п. 8.5)

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Ине. № подл.
34	36.10.16						34

1	Зам	1210-16	36.10.16	
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

23

$$\max \left\{ \frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_{\text{В}}}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_{\text{А}}} + c; 0.4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 0,001045 \cdot 145 / (2 \cdot 180 \cdot 109,5) + 1,8; 0.4 \cdot 25 \} = 10 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_4 \geq \max \left\{ \frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_{\text{В}}}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_{\text{А}}} + c; 0.4 \cdot s_1 \right\}$$

10 мм ≥ 10 мм. Условие прочности выполнено

Прочность опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца (п. 8.6)

$$\frac{\delta \cdot \chi_5 \cdot A_{\sigma} \cdot [\sigma]_{\text{В}} \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0,07763 \cdot 0,001045 \cdot 145 \cdot 94 / ((16 - 1,8)^2 \cdot 350) = 94,02 \text{ МПа}$$

$$\text{Условие работоспособности: } \frac{\delta \cdot \chi_5 \cdot A_{\sigma} \cdot [\sigma]_{\text{В}} \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} \leq 1.5 \cdot [\sigma]_0$$

94,02 МПа ≤ 139,5 МПа. Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа

Условия нагружения при монтаже:

Расчётный изгибающий момент, М: 4,902 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 20,01 тс

Результаты расчёта:

Свойства материала элемента опорного узла:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_0 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Свойства материала анкерных болтов:

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (МДС 31-4.2000) (условия монтажа):

$$\sigma_{\text{В}} = 145 \text{ МПа}$$

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\delta]_{\text{бет}} = 6 \text{ МПа}$$

Прочность анкерных болтов (п. 9)

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётный изгибающий момент, М: 2,789 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 18,2 тс

Результаты расчёта:

Свойства материала элемента опорного узла:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_0 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала анкерных болтов:

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (МДС 31-4.2000) (условия пневмоиспытаний):

$$\sigma_{\text{В}} = 145 \text{ МПа}$$

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\delta]_{\text{бет}} = 6 \text{ МПа}$$

Прочность анкерных болтов (п. 9)

Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. ине. №
34	36.10.16			

1	Зам	1210-16	36.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

24

$$\max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\} = \max \left\{ 0,9437 \cdot 180 \cdot ((4 \cdot 2,789 / 5820 + 18,2) / (5820 \cdot 280 \cdot 183,3))^{1/2} + 1,8; 1,5 \cdot 16 \right\} = 24 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_1 \geq \max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\}$$

25 мм ≥ 24 мм. Условие прочности выполнено

Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{\text{сер}}} = (4 \cdot 2,789 / 5820 + 18,2) / (3,142 \cdot 5820 \cdot 6) = 1,834 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } b_1 \geq \frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_6}$$

280 мм ≥ 1,834 мм. Условие прочности выполнено

Толщина верхнего опорного кольца с усиливающей пластиной (п.8.4)

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 30 + 0,5556 \cdot 30 = 46,67 \text{ мм}$$

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = \{1,057 \cdot (0,001045 \cdot 145 / 183,3)^{1/2} + 1,8\} = 32,18 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } (s_2 + \chi_3 \cdot s_3) \geq \chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c$$

46,67 мм ≥ 32,18 мм. Условие прочности выполнено

Толщина ребра (п. 8.5)

$$\max \left\{ \frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0,4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 0,001045 \cdot 145 / (2 \cdot 180 \cdot 183,3) + 1,8; 0,4 \cdot 25 \} = 10 \text{ мм}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_4 \geq \max \left\{ \frac{A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0,4 \cdot s_1 \right\}$$

10 мм ≥ 10 мм. Условие прочности выполнено

Прочность опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца (п. 8.6)

$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0,07763 \cdot 0,001045 \cdot 145 \cdot 94 / ((16 - 1,8)^2 \cdot 350) = 94,02 \text{ МПа}$$

$$\text{Условие работоспособности: } \frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_{\sigma} \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} \leq 1,5 \cdot [\sigma]_0$$

94,02 МПа ≤ 275 МПа. Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	28.06.10.16			

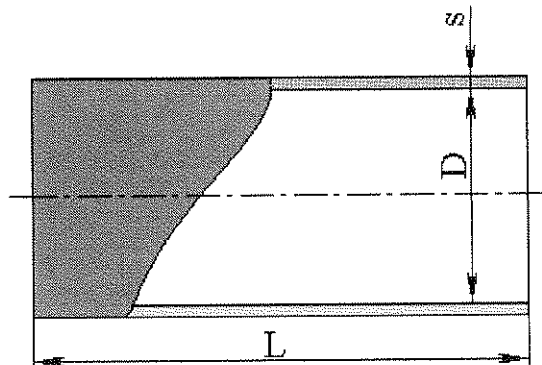
1	Зам	1210-16	28.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

7. Нагрузки на фундамент

Состояние	Осевая сила, тс	Изгибающий момент, тс м	Горизонтальная сила, тс
Рабочие условия	47,5	15,53	2,338
Условия монтажа	22,03	13,91	2,073
Условия испытаний	20,22	8,116	1,232

8. Обечайка поз. 5



Исходные данные

Материал:	12XM
Внутр. диаметр, D:	5600 мм
Толщина стенки, s:	20 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	2,8 мм
Длина обечайки, L:	1050 мм

Расчёт в рабочих условиях при внутреннем давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	485 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	0,02000 МПа
Расчётный изгибающий момент, M:	2,639 тс м
Расчётное поперечное усилие, Q:	1,152 тс
Расчётное осевое сжимающее усилие, F:	37,44 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12XM при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

[σ] = 93 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12XM при температуре T = 485 °C :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5600) / (2 \cdot 93 \cdot 1 - 0,02000) + 2,8 = 3,402 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 93 \cdot 1 \cdot (20 - 2,8) / (5600 + 20 - 2,8) = 0,5695 \text{ МПа}$$

0,5695 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
34	26.10.16			

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист

26

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 3952 / (1 + (3952 / 5604)^2)^{1/2} = 3230 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4954 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 703,5 / (1 + (703,5 / 944,1)^2)^{1/2} = 564,1 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 37,44 / 3503 + 2,639 / 3230 + (1,152 / 564,1)^2 = 0,01151 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \Phi_T = 3,142 \cdot (5600 + 20 - 2,8) \cdot (20 - 2,8) \cdot 93 \cdot 1 = 2823 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 2823 + 2,639 / 3952 = 0,01812 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в рабочих условиях при наружном давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 6,821 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 3,137 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 27,9 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

$$[\sigma] = 93 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

$$E = 1,654 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4954 \text{ мм}$$

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	26.10.16
Инв. № подл.	34

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись Дата

16017-43/6-K02.001PP

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot 5600}{1} \cdot \left(\frac{0,01000}{10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5600}{2 \cdot 93 - 0,01000} \right\} = 10,12 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_u = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot 5600}{(2,4 \cdot 1 \cdot 4954) \cdot (100 \cdot (20 - 2,8) / 5600)^{2,5}} = 0,08471 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 93 \cdot (20 - 2,8)}{(5600 + 20 - 2,8)} = 0,5695 \text{ МПа}$$

0,08379 МПа \geq 0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_n}{[M]_E} \right)^2}} = \frac{3952}{\sqrt{1 + (3952 / 5604)^2}} = 3230 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_n}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{703,5}{\sqrt{1 + (703,5 / 944,1)^2}} = 564,1 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,08379 + 27,9 / 3503 + 6,821 / 3230 + (3,137 / 564,1)^2 = 0,1295 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,03000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 1,237 тс м
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,5905 тс
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 8,768 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,03000 \cdot 5600) / (2 \cdot 183,3 \cdot 1 - 0,03000) + 2,8 = 3,258 \text{ мм}$$

Подпись и дата	
Име. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	28.06.10.16
Име. № подл.	34

1	Зам	1210-16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (20 - 2,8) / (5600 + 20 - 2,8) = 1,123 \text{ МПа}$$

1,123 МПа \geq 0,03000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 7791 / (1 + (7791 / 9713)^2)^{1/2} = 6077 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$l_p = 4954 \text{ мм}$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 1387 / (1 + (1387 / 1636)^2)^{1/2} = 1058 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 8,768 / 6071 + 1,237 / 6077 + (0,5905 / 1058)^2 = 0,001648 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5600 + 20 - 2,8) \cdot (20 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot 1 = 5565 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия прочности: } \frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 5565 + 1,237 / 7791 = 0,01344 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа

Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 2,223 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 1,045 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 10,55 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Ине. № подл.	Ине. № дубл.	Взам. ине. №	Подпись и дата
34			

1	Зам	1210-16	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

29

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (20 - 2,8)}{5600 + 20 - 2,8} = 1,225 \text{ МПа}$$

$$1,225 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = \frac{8499}{(1 + (8499/9713)^2)^{1/2}} = 6396 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4954 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = \frac{1513}{(1 + (1513/1636)^2)^{1/2}} = 1111 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

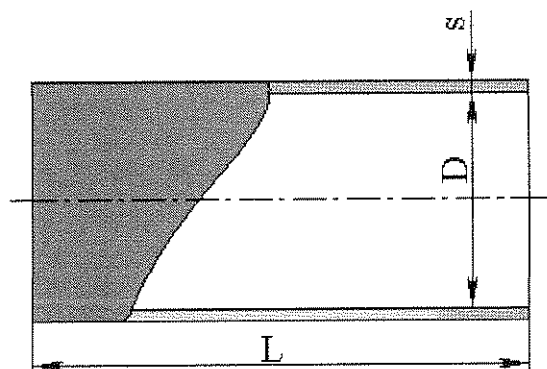
Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 10,55/6071 + 2,223/6396 + (1,045/1111)^2 = 0,002087 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

9. Обечайка поз. 6



Исходные данные

Материал:	12ХМ
Внутр. диаметр, D:	5600 мм
Толщина стенки, s:	10 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 :	0,4 мм
Прибавка технологическая, c_3 :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c :	2,4 мм

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
34	30.10.16			

1	Зам	1210-16	30.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Длина обечайки, L:

2400 мм

Расчёт в рабочих условиях при внутреннем давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,02000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 1,595 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 0,8355 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 9,226 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 93$ МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = $1,654 \cdot 10^5$ МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 5600) / (2 \cdot 93 \cdot 1 - 0,02000) + 2,4 = 3,002 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 93 \cdot 1 \cdot (10 - 2,4) / (5600 + 10 - 2,4) = 0,2521 \text{ МПа}$$

0,2521 МПа \geq 0,02000 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\Sigma}} \right)^2}} = 1743 / (1 + (1743 / 727,4)^2)^{1/2} = 671,3 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$l_p = 4954$ мм

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\Sigma}} \right)^2}} = 310,9 / (1 + (310,9 / 177,4)^2)^{1/2} = 154,1 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 9,226 / 454,6 + 1,595 / 671,3 + (0,8355 / 154,1)^2 = 0,02270 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5600 + 10 - 2,4) \cdot (10 - 2,4) \cdot 93 \cdot 1 = 1245 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34	28.10.16			

1	Зам	1210-16	28.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 1245 + 1,595 / 1743 = 0,04048 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в рабочих условиях при наружном давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 4 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 2,235 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 9,226 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

[σ] = 93 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l_p = 4954 мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}, \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ \frac{1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 5600}{1 \cdot (0,01000 / (10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5))} \cdot \frac{1}{5600}, \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 5600}{2 \cdot 93 - 0,01000} \right\} = 9,725 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot 5600}{2,4 \cdot 1 \cdot 4954} \cdot \frac{(100 \cdot (10 - 2,4))}{5600}^{2,5} = 0,01099 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 93 \cdot (10 - 2,4)}{5600 + 10 - 2,4} = 0,2521 \text{ МПа}$$

0,01098 МПа ≥ 0,01000 МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{е}}} \right)^2}} = \frac{1743}{(1 + (1743 / 727,4)^2)^{1/2}} = 671,3 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{е}}} \right)^2}} = \frac{310,9}{(1 + (310,9 / 177,4)^2)^{1/2}} = 154,1 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	86.06.10.16			

1	Зам	1210-16	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,01098 + 9,226 / 454,6 + 4 / 671,3 + (2,235 / 154,1)^2 = 0,9369 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), р: 0,03000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, М: 0,7165 тс м
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,3997 тс
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 5,277 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре Т = 20 °С (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{\sigma/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре Т = 20 °С :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,03000 \cdot 5600) / (2 \cdot 183,3 \cdot 1 - 0,03000) + 2,4 = 2,858 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (10 - 2,4) / (5600 + 10 - 2,4) = 0,4969 \text{ МПа}$$

$$0,4969 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 3436 / (1 + (3436 / 1261)^2)^{1/2} = 1184 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4954 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 612,8 / (1 + (612,8 / 307,5)^2)^{1/2} = 274,9 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 5,277 / 787,9 + 0,7165 / 1184 + (0,3997 / 274,9)^2 = 0,007305 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	30.06.10.16
Инв. № подл.	34

1	Зам	1210-16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (5600 + 10 - 2,4) \cdot (10 - 2,4) \cdot 183,3 \cdot 1 = 2455 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 2455 + 0,7165 / 3436 = 0,03031 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа**Условия нагружения при монтаже:**

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 1,283 тс м

Расчётное поперечное усилие, Q: 0,7444 тс

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 7,026 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (10 - 2,4) / (5600 + 10 - 2,4) = 0,5421 \text{ МПа}$$

$$0,5421 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{п}}}{[M]_{\text{е}}} \right)^2}} = 3749 / (1 + (3749 / 1261)^2)^{1/2} = 1195 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4954 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{п}}}{[Q]_{\text{е}}} \right)^2}} = 668,5 / (1 + (668,5 / 307,5)^2)^{1/2} = 279,4 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:
$$\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. име. №
34	30.06.10.16			

1	Зам	1210-16	30.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

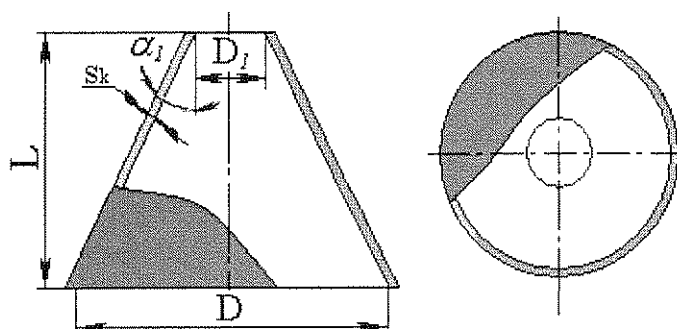
Лист

34

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 7,026/787,9 + 1,283/1195 + (0,7444/279,4)^2 = 0,009999 \leq 1$$

Закключение: Условие устойчивости выполнено

10. Днище коническое поз.10,11.

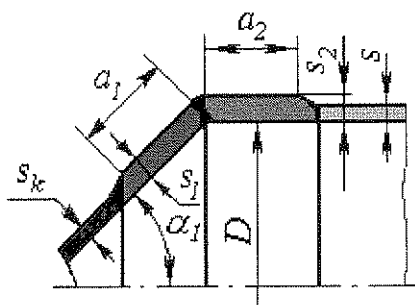


Исходные данные

Материал обечайки:	12XM
Диаметр большого основания, D:	5600 мм
Диаметр меньшего основания, D1:	1316 мм
Толщина стенки, sk:	14 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c1:	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c2:	0,8 мм
Прибавка технологическая, c3:	0 мм
Сумма прибавок, c:	2,8 мм
Длина обечайки, L:	800 мм
Смещение левого основания по горизонтали, X0:	0 мм
Смещение левого основания по вертикали, Y0:	0 мм

Левый (нижний) узел соединения:

Соединение конической и цилиндрической обечаек



Параметры узла соединения :

Материал элемента s1:	12XM
Материал элемента s2:	12XM
Толщина стенки вставки, s1:	20 мм
Толщина стенки вставки, s2:	20 мм
Длина участка вставки, a1:	400 мм
Длина участка вставки, a2:	300 мм

Правый (верхний) узел соединения:

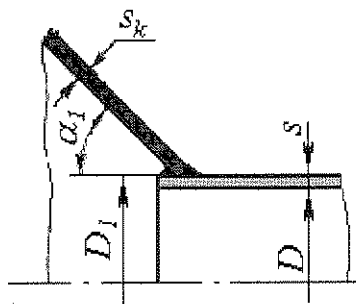
Соединение конической обечайки с цилиндрической меньшего диаметра без укрепления

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34			28.06.10.16			

1	Зам	1210-16	26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Лист
35



Расчёт в рабочих условиях при внутреннем давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,02000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,1582 тс м
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 3,594 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

[σ] = 93 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 93 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5118 / \cos(69,52) + 14 - 2,8) = 0,1423 \text{ МПа}$$

0,1423 МПа ≥ 0,02000 МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5600 \cdot (14 - 2,8) \cdot 93 \cdot 1 \cdot \cos(69,52) = 897,6 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,601 \cdot 10^4 / 4 \cdot 3,142 \cdot 1,601 \cdot 10^4 \cdot (14 - 2,8) \cdot 93 \cdot \cos(69,52) = 7332 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,601 \cdot 10^4 / 3,5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot (1,601 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,52))^2 / 2,4 \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 1,601 \cdot 10^4)^{2,5} = 396,9 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{пр}} ; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 897,6 ; 396,3 \} = 396,3 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 3,594 / 1198 + 0,1582 / 396,3 = 0,003398 \leq 1$$

Заклучение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	30.06.10			

1	Зам	1210-16	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Проверка условия прочности:
$$\left(\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} \leq 1 \right)$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 641,1 + 0,1582 / 897,6 = 0,07701 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала элемента s₁ (s₇):

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 109,5 \text{ МПа}$$

Свойства материала элемента s₂:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_2 = 109,5 \text{ МПа}$$

$$0,09699 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности:
$$\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,09699 + 3,594 / 219,9| + 0,1582 / 307,9 = 0,2231 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_k = 93 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_s = 109,5 \text{ МПа}$$

$$0,209 \text{ МПа} \geq 0,02000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности:
$$\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,02000 / 0,209 + 2,389 / 31,54| + 0,05380 / 10,25 = 0,1766 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в рабочих условиях при наружном давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °С

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0,2638 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 3,594 тс

Име. № подл.	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34			28.06.10.16

1	Зам	1210-16	28.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma] = 93 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре $T = 485^\circ\text{C}$:

$$E = 1,654 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 93 \cdot (14 - 2,8) / (5118 / \cos(69,52) + 14 - 2,8) = 0,1423 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_{\text{Е}} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_E} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot 1,601 \cdot 10^4}{(2,4 \cdot 1 \cdot 2287) \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 1,601 \cdot 10^4)^{2,5}} = 0,01300 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{[p]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\text{п}}}{[p]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 0,1423 / (1 + (0,1423 / 0,01300)^2)^{1/2} = 0,01294 \text{ МПа}$$

$$0,01294 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5600 \cdot (14 - 2,8) \cdot 93 \cdot 1 \cdot \cos(69,52) = 897,6 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{п}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,601 \cdot 10^4 / 4 \cdot 3,142 \cdot 1,601 \cdot 10^4 \cdot (14 - 2,8) \cdot 93 \cdot \cos(69,52) = 7332 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = \frac{1,601 \cdot 10^4}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,654 \cdot 10^5}{1} \cdot (1,601 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,52))^2 / 2,4 \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 1,601 \cdot 10^4)^{2,5} = 396,9 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{п}}; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 897,6; 396,3 \} = 396,3 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

$$\text{Проверка условия устойчивости: } \left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0,01000 / 0,01294 + 3,594 / 1198 + 0,2638 / 396,3 = 0,7763 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала элемента s_1 (s_T):

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 109,5 \text{ МПа}$$

Свойства материала элемента s_2 :

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 485^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_2 = 109,5 \text{ МПа}$$

$$0,09699 \text{ МПа} \geq 0,01000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Ине. № подл.	34
Взам. инв. №	
Ине. № дубл.	
Подпись и дата	28.06.10.16

1	Зам	1210-16	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

38

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,09699 + 3,594 / 219,9| + 0,2638 / 307,9 = 0,08763 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$[\sigma]_k = 93$ МПа

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °С (рабочие условия):

$[\sigma]_s = 109,5$ МПа

$0,209$ МПа $\geq 0,01000$ МПа

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |(-0,01000) / 0,209 + 2,389 / 31,54| + 0,05929 / 10,25 = 0,03368 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,03000 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0,03392 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 1,316 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия пневмоиспытаний):

$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3$ МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С :

$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5$ МПа

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (14 - 2,8) / (5118 / \cos(69,52) + 14 - 2,8) = 0,2805 \text{ МПа}$$

$0,2805$ МПа $\geq 0,03000$ МПа

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{ф}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 \cdot 3,142 \cdot 5600 \cdot (14 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot \cos(69,52) = 1769 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{н}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,601 \cdot 10^4 / 4 \cdot 3,142 \cdot 1,601 \cdot 10^4 \cdot (14 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot \cos(69,52) = 1,445 \cdot 10^4 \text{ тс м}$$

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Ине. № дубл.	Подпись и дата	Ине. № подл.
34			28.10.16				

1	Зам	1210-16		28.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

39

$$[M]_E = \frac{D_F}{3.5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2.5} = 1,601 \cdot 10^4 / 3.5 \cdot 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2,15 \cdot 10^5 \cdot (1,601 \cdot 10^4 \cdot \cos(69,52))^2 / 1,8 \cdot (100 \cdot (14 - 2,8) / 1,601 \cdot 10^4)^{2.5} = 687,8 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{тп}}; M_{\text{уст}} \} = \min \{ 1769, 687 \} = 687 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0/0 + 1,316/2077 + 0,03392/687 = 0,6829 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности: $\left(\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} \leq 1 \right)$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{тп}}} = (0 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 5600^2 / 4) / 1264 + 0,03392 / 1769 = 0,05848 \leq 1$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала элемента s_1 (s_T):

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ \text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала элемента s_2 :

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ \text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_2 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

$$0,1624 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0,03000 / 0,1624 + 1,316 / 368,3| + 0,03392 / 515,6 = 0,1884 \leq 1$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ \text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_k = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре $T = 20^\circ \text{C}$ (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_s = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

$$0,3878 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заклучение: Условие прочности выполнено

Име. № подл.	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34			36.10.16

1	Зам	1210-16	Д.А.С.	36.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

40

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \right| = |0,03000 / 0,3878 + 0,1109 / 59,39| + 0,002305 / 19,3 = 0,07934 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа

Условия нагружения при монтаже:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа

Расчётный изгибающий момент, M: 0,05917 тс м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 1,394 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos \alpha_1} + (s_k - c)} = 2 * 200 * 1 * (14 - 2,8) / (5118 / \cos(69,52) + 14 - 2,8) = 0,306 \text{ МПа}$$

$$0,306 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности :

$$[M]_{\text{тп}} = \frac{D_1}{4} \cdot \pi \cdot D_1 \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T \cdot \cos(\alpha_1) = 5600 / 4 * 3,142 * 5600 * (14 - 2,8) * 200 * 1 * \cos(69,52) = 1930 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{л}} = \frac{D_F}{4} \cdot \pi \cdot D_F \cdot (s_k - c) \cdot [\sigma] \cdot \cos(\alpha_1) = 1,601 \cdot 10^4 / 4 * 3,142 * 1,601 \cdot 10^4 * (14 - 2,8) * 200 * \cos(69,52) = 1,577 \cdot 10^4 \text{ тс м}$$

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D_F}{3,5} \cdot \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot (D_F \cdot \cos \alpha_1)^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_k - c)}{D_F} \right]^{2,5} = 1,601 \cdot 10^4 / 3,5 * 310 * 10^{-6} * 2,15 \cdot 10^5 * (1,601 \cdot 10^4 * \cos(69,52))^2 / 1,8 * (100 * (14 - 2,8) / 1,601 \cdot 10^4)^{2,5} = 687,8 \text{ тс м}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ [M]_{\text{тп}} ; [M]_{\text{уст}} \} = \min \{ 1930, 687,2 \} = 687,2 \text{ тс м}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 8.6.2)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0 / 0 + 1,394 / 2077 + 0,05917 / 687,2 = 0,757 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Результаты расчёта левого (нижнего) узла соединения:

Свойства материала элемента s₁ (s_T):

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Ине. № подл.	Подпись и дата
Взам. ине. №	
Ине. № дубл.	
Подпись и дата	26.06.10.16
Ине. № подл.	34

1	Зам	1210-16	28.06
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Свойства материала элемента s₂:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_2 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0 / 0,1771 + 1,394 / 401,7| + 0,05917 / 562,4 = 0,003574 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Результаты расчёта правого (верхнего) узла соединения:

Свойства материала несущей обечайки:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_k = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Свойства материала соседнего элемента:

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °С (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20}_s = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

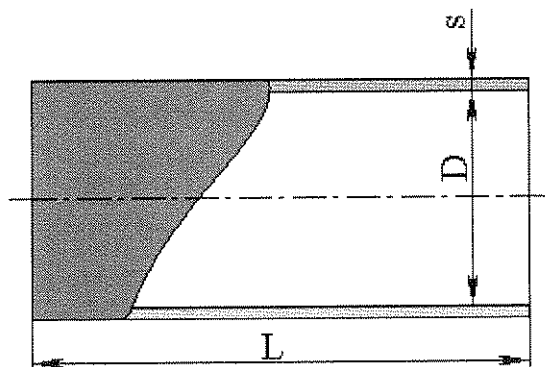
Дополнительное условие прочности переходной части от совместного действия нагрузок (п. 8.6.2.2)

Проверка условия прочности: $\left(\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} \leq 1 \right)$

$$\left| \frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} \right| + \frac{M}{[M]} = |0 / 0,4231 + 0,1886 / 64,79| + 0,004647 / 21,06 = 0,003132 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

11. Штуцер А1



Исходные данные

Материал:	12ХМ
Внутр. диаметр, D:	1300 мм
Толщина стенки, s:	8 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	2,8 мм
Длина обечайки, L:	400 мм

Име. № подл.	Подпись и дата	Взам. ине. №	Име. № дубл.	Подпись и дата
34	28.06.10.16			

1	Зам	1210-16	Подпись	Дата
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

42

Расчёт в рабочих условиях при внутреннем давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0,02000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,05376 тс м
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,08404 тс
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 2,357 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 109,5$ МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = $1,654 \cdot 10^5$ МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,02000 \cdot 1300) / (2 \cdot 109,5 \cdot 1 - 0,02000) + 2,8 = 2,919 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 109,5 \cdot 1 \cdot (8 - 2,8) / (1300 + 8 - 2,8) = 0,8725 \text{ МПа}$$

0,8725 МПа \geq 0,02000 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 75,88 / (1 + (75,88 / 135,7)^2)^{1/2} = 66,23 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$l_p = 748,6$ мм

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 58,14 / (1 + (58,14 / 98,31)^2)^{1/2} = 50,04 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 2,357 / 365,4 + 0,05376 / 66,23 + (0,08404 / 50,04)^2 = 0,007264 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1300 + 8 - 2,8) \cdot (8 - 2,8) \cdot 109,5 \cdot 1 = 233,5 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	26.10.16
Инв. № подл.	34

1	Зам	1210-16		
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист

43

Проверка условия прочности: $\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1.0$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,02000 \cdot 3,142 \cdot 1300^2 / 4) / 233,5 + 0,05376 / 75,88 = 0,01208 \leq 1$$

Закключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в рабочих условиях при наружном давлении

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 485 °C
 Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,01000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,05918 тс м
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,1265 тс
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 2,357 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C (рабочие условия):

[σ] = 109,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 485 °C :

E = 1,654 · 10⁵ МПа

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

l_p = 748,6 мм

Расчётная толщина стенки с учетом прибавок :

$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot 1300}{1} \cdot \left(\frac{0,01000}{10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,01000 \cdot 1300}{2 \cdot 109,5 - 0,01000} \right\} = 4,232 \text{ мм}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости :

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,654 \cdot 10^5 \cdot 1300}{2,4 \cdot 1 \cdot 748,6} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8 - 2,8)}{1300} \right)^{2,5} = 0,2519 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 109,5 \cdot (8 - 2,8)}{1300 + 8 - 2,8} = 0,8725 \text{ МПа}$$

0,242 МПа ≥ 0,01000 МПа

Закключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{пр}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{пр}}}{[M]_{\text{е}}} \right)^2}} = \frac{75,88}{\sqrt{1 + (75,88 / 135,7)^2}} = 66,23 \text{ тс м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{пр}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{пр}}}{[Q]_{\text{е}}} \right)^2}} = \frac{58,14}{\sqrt{1 + (58,14 / 98,31)^2}} = 50,04 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
34	28.10.16			

1	Зам	1210-16	28.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,01000 / 0,242 + 2,357 / 365,4 + 0,05918 / 66,23 + (0,1265 / 50,04)^2 = 0,04867 \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Пневмоиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), p: 0,03000 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,002286 тс м
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,01154 тс
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0,08858 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия пневмоиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e20} / n_T = 1 * 220 / 1,2 = 183,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (0,03000 \cdot 1300) / (2 \cdot 183,3 \cdot 1 - 0,03000) + 2,8 = 2,906 \text{ мм}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 183,3 \cdot 1 \cdot (8 - 2,8) / (1300 + 8 - 2,8) = 1,461 \text{ МПа}$$

$$1,461 \text{ МПа} \geq 0,03000 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 127 / (1 + (127 / 235,2)^2)^{1/2} = 111,8 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 748,6 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 97,34 / (1 + (97,34 / 170,4)^2)^{1/2} = 84,52 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости: $\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 0,08858 / 633,2 + 0,002286 / 111,8 + (0,01154 / 84,52)^2 = 0,1604 \cdot 10^{-3} \leq 1$$

Заключение: Условие устойчивости выполнено

Ине. № подл.	Подпись и дата	Ине. № дубл.	Взам. ине. №	Подпись и дата
34	30.06.10.16			

1	Зам	1210-16	30.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие :

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1300 + 8 - 2,8) \cdot (8 - 2,8) \cdot 183,3 \cdot 1 = 390,9 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием внутреннего давления, осевого растягивающего усилия и изгибающего момента.

Проверка условия прочности:
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} \leq 1,0$$

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 0,03000 \cdot 3,142 \cdot 1300^2 / 4) / 390,9 + 0,002286 / 127 = 0,01020 \leq 1$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях монтажа**Условия нагружения при монтаже:**

Расчётная температура, T: 20 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0 МПа
 Расчётный изгибающий момент, M: 0,004608 тс м
 Расчётное поперечное усилие, Q: 0,02326 тс
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0,1565 тс

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C (условия монтажа):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e20} / n_T = 1 \cdot 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12ХМ при температуре T = 20 °C :

$$E^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 200 \cdot 1 \cdot (8 - 2,8) / (1300 + 8 - 2,8) = 1,594 \text{ МПа}$$

$$1,594 \text{ МПа} \geq 0 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\text{II}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{II}}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 138,6 / (1 + (138,6 / 235,2)^2)^{1/2} = 119,4 \text{ тс м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 748,6 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{II}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{II}}}{[Q]_{\text{E}}} \right)^2}} = 106,2 / (1 + (106,2 / 170,4)^2)^{1/2} = 90,12 \text{ тс}$$

Обечайка, работающая под совместным действием нагрузок (п. 5.3.7)

Обечайка, работающая под совместным действием наружного давления, осевого сжимающего усилия, изгибающего момента и поперечного усилия.

Проверка условия устойчивости:
$$\left(\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \right) \leq 1$$

Име. № подл.	Подпись и дата	Име. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №
34	30.06.10.16			

1	Нов.	1210-16	30.06.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись

16017-43/6-K02.001PP

$$\frac{P}{[P]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 0,1565/633,2 + 0,004608/119,4 + (0,02326/90,12)^2 = 0,2859 \cdot 10^{-3} \leq 1$$


Заключение: Условие устойчивости выполнено

Инв. № подл. 34	Подпись и дата		Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Подпись и дата
1	Нов.	1210-16				
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	16017-43/6-K02.001PP	
					Лист	47

12. Список литературы

- 1) ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
- 2) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 3) ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
34	36.10.16			

1	Нов.	1210-16		26.10.16
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата

16017-43/6-K02.001PP

Лист
48

