

1-ый паровой барабан

V-161

16017-43/6-K05.001PP

Расчеты

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3

2. Днище эллиптическое 4

3. Обечайка цилиндрическая 6

4. Штуцер А1 12

5. Штуцер В2..... 17

6. Штуцер В1..... 22

7. Штуцер В3,В4..... 26

8. Штуцер А2,А3..... 30


9. Люк М1 34

10. Крышка плоская люка М1 38

11. Опора седловая 46

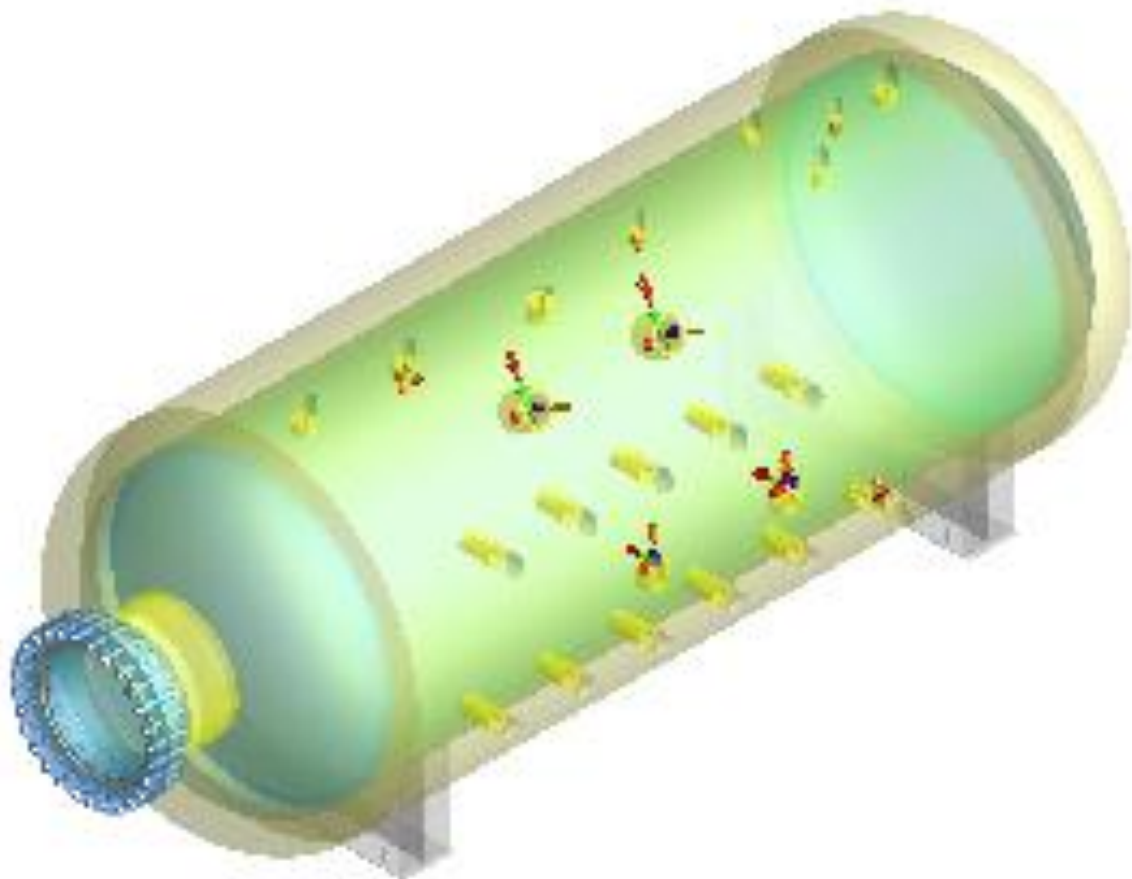
12. Список литературы..... 51

13. Лист регистрации изменений 52

Подп. и дата		Изн. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата														
Изн. № подл.							16017-43/6-K05.001PP													
		Изм.	Лист	№ докум.		Подп.	Дата													
		Разраб.		Попов А.							1-ый паровой барабан V-161 Расчеты						Лит.	Лист	Листов	
Проверил		Шабанов							Т								2	52		
Н. контр.		Груздева							 Гипрогазоочистка <small>Инжиниринговая компания</small>											
Утвердил		Ильичев																		

1. Общие положения

Расчет на прочность выполнен на ЭВМ по программе «Пассат 2.10», разработанной ООО НТП «Трубопровод».
Данный расчет рассматривать совместно с чертежом 16017-43/6-K05.001BO.



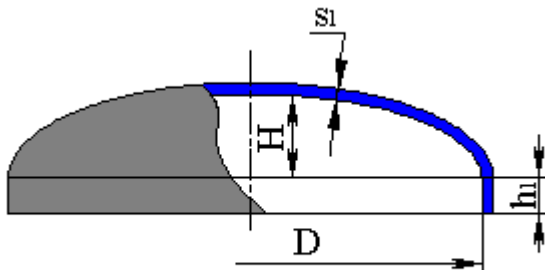
Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист
3

2. Днище эллиптическое



Исходные данные

Материал:	09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутр. диаметр, D:	1600 мм
Толщина стенки днища, s ₁ :	50 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	1,2 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Суммарная прибавка к толщине стенки, c:	3,2 мм
Высота днища, H:	400 мм
Длина отбортовки, h ₁ :	80 мм

Расчёт в рабочих условиях(Внутреннее давление)

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 287 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 7,009 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 287 °C (рабочие условия):

[σ]= 136,5 МПа

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 287 °C :

E= 1,723·10⁵ МПа

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок :

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = (7,009 \cdot 1600) / (2 \cdot 136,5 \cdot 1 - 0.5 \cdot 7,009) + 3,2 = 44,81 \text{ мм}$$

44,81 мм ≤ 50 мм

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление :

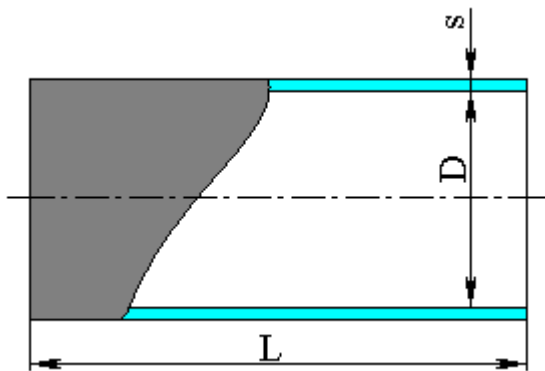
$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 136,5 \cdot 1 \cdot (50 - 3,2) / (1600 + 0.5 \cdot (50 - 3,2)) = 7,87 \text{ МПа}$$

7,87 МПа ≥ 7,009 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
<div>16017-43/6-K05.001PP</div>									Лист
									4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

3. Обечайка цилиндрическая



Исходные данные

Материал:

09Г2С Gr.ΓOCT 19281

Внутр. диаметр, D:

1600 mm

Толщина стенки, s:

50 MM

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c_1 : 2 мм

2 MM

Прибавка для компенсации минусового допуска, c_2 : 1,2 мм

1,2 MM

Прибавка технологическая, с₃:

0 mm

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: 3,2 мм

3,2 MM

Длина обечайки, L:

4040 MM

Расчёт в рабочих условиях (Внутреннее давление)

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т:

287 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 7,009 МПа

7,009 МПа

Расчётный изгибающий момент, М:

$$3,888 \cdot 10^4 \text{ H}_M$$

Расчётное поперечное усилие, Q:

$$5.629 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: $3,64 \cdot 10^4$ Н

$$3,64 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma] = 136,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (7,009 \cdot 1600) / (2 \cdot 136,5 \cdot 1 - 7,009) + 3,2 = 45,36 \text{ mm}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 136,5 \cdot 1 \cdot (50 - 3,2) / (1600 + 50 - 3,2) = 7,758 \text{ МПа}$$

$$7,758 \text{ МПа} \geq 7,009 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности выполнено

Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (1600 + 50 - 3,2) \cdot (50 - 3,2) \cdot 136,5 \cdot 1 = 3,305 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Подп. и дата		<p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 7,009 МПа</p> <p>Расчётный изгибающий момент, М: 3,888·10⁴ Н м</p> <p>Расчётное поперечное усилие, Q: 5,629·10⁴ Н</p> <p>Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 3,64·10⁴ Н</p> <p>Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре Т = 287 °С (рабочие условия):</p> <p>[σ]= 136,5 МПа</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре Т = 287 °С :</p> <p>E= 1,723·10⁵ МПа</p> <p>Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:</p> $s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p - p} + c = (7,009 \cdot 1600) / (2 \cdot 136,5 \cdot 1 - 7,009) + 3,2 = 45,36 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление :</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 136,5 \cdot 1 \cdot (50 - 3,2) / (1600 + 50 - 3,2) = 7,758 \text{ МПа}$ <p>7,758 МПа ≥ 7,009 МПа</p> <p>Заключение: Условие прочности выполнено</p> <p>Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)</p> <p>Допускаемое осевое растягивающее усилие :</p> $[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \phi_T = 3,142 \cdot (1600 + 50 - 3,2) \cdot (50 - 3,2) \cdot 136,5 \cdot 1 = 3,305 \cdot 10^7 \text{ Н}$
Инв. № дубл.		
Взам. инв. №		
Подп. и дата		
Инв. № подл.		

					16017-43/6-K05.001PP	Лист 6
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1,322 \cdot 10^7 / (1 + (1,322 \cdot 10^7 / 3,811 \cdot 10^8)^2)^{1/2} = 1,321 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 4467 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 8,028 \cdot 10^6 / (1 + (8,028 \cdot 10^6 / 7,26 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 7,979 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

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

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 0 / 0 + 3,888 \cdot 10^4 / 1,321 \cdot 10^7 + (5,629 \cdot 10^4 / 7,979 \cdot 10^6)^2 = 0,002993 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

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

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

$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (3,64 \cdot 10^4 + 7,009 \cdot 3,142 \cdot 1600^2 / 4) / 3,305 \cdot 10^7 + 3,888 \cdot 10^4 / 1,322 \cdot 10^7 = 0,4304 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

Допускаемое наружное давление из условия прочности :

$$[p]_{\Pi} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 136,5 \cdot (50 - 3,2) / (1600 + 50 - 3,2) = 7,758 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\Pi}}{[p]_{\text{E}}}\right)^2}} = 7,758 / (1 + (7,758 / 7,827)^2)^{1/2} = 5,51 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 5,51 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 2.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E1}}}\right)^2}} = 3,305 \cdot 10^7 / (1 + (3,305 \cdot 10^7 / 8,337 \cdot 10^8)^2)^{1/2} = 3,302 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{ M_{\text{пр}}, M_{\text{уст}} \} = \min \{ 1,322 \cdot 10^7, 1,321 \cdot 10^7 \} = 1,321 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	16017-43/6-K05.001PP					Лист
										7
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

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

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,09800 / 6,823 + 0 / 0 + 3,386 \cdot 10^4 / 1,771 \cdot 10^7 + (4,158 \cdot 10^4 / 1,067 \cdot 10^7)^2 = 0,01629 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

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

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

$$\frac{F+p \cdot \frac{\pi \cdot D^3}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{lim}}} = (3,64 \cdot 10^4 + 0 \cdot 3,142 \cdot 1600^2 / 4) / 4,431 \cdot 10^7 + 3,386 \cdot 10^4 / 1,772 \cdot 10^7 = 0,002732 \leq 1$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Для расчёта обечайки от действия седловых опор:

$$[p] = \frac{[p]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_{\text{E}}}\right)^2}} = 10,4 / (1 + (10,4 / 9,04)^2)^{1/2} = 6,823 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 6,823 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 2.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{E1}} \right)^2}} = 4,431 \cdot 10^7 / (1 + (4,431 \cdot 10^7 / 9,628 \cdot 10^8)^2)^{1/2} = 4,426 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{M_{\text{np}}, M_{\text{yct}}\} = \min \{1,772 \cdot 10^7, 1,771 \cdot 10^7\} = 1,771 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

Допускаемое поперечное усилие :

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1,076 \cdot 10^7 / (1 + (1,076 \cdot 10^7 / 8,777 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,068 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление (с учётом гидростатического), р: 11,72 МПа

Расчётный изгибающий момент, М: $3,949 \cdot 10^4$ Н м

Расчётное поперечное усилие, Q: $6,914 \cdot 10^4$ Н

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 0 Н

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия гидротестирования):

$$[\sigma]^{20} = \eta^* R_{e/20} / n_T = 1 * 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

[illegible]

FORMAT A4

$$[p] = \frac{[p]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_{\pi}}{[p]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 14,47 / (1 + (14,47 / 12,05)^2)^{1/2} = 9,26 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление: $[p] = 9,26 \text{ МПа}$

Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 2.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие :

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\pi}}{[F]_{\text{Е1}}}\right)^2}} = 6,163 \cdot 10^7 / (1 + (6,163 \cdot 10^7 / 1,284 \cdot 10^9)^2)^{1/2} = 6,156 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент :

$$[M] = \min \{M_{\text{гп}}, M_{\text{уст}}\} = \min \{2,465 \cdot 10^7, 2,463 \cdot 10^7\} = 2,463 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемое поперечное усилие :

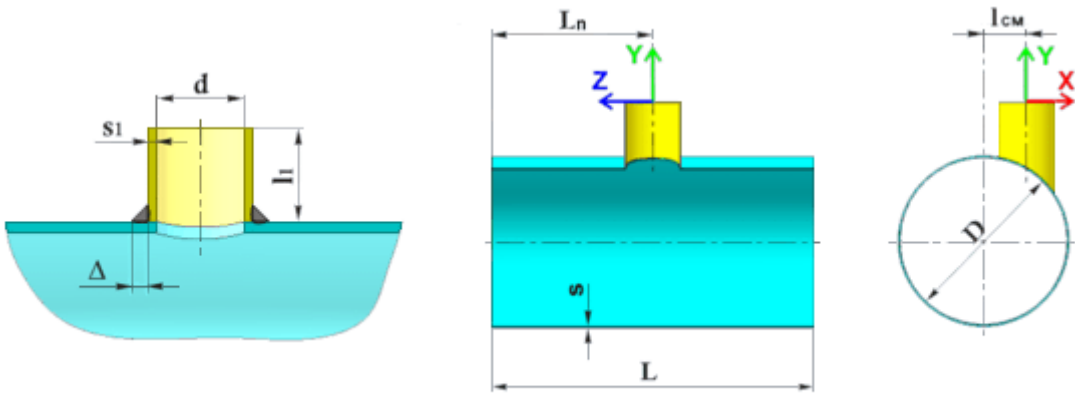
$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1,497 \cdot 10^7 / (1 + (1,497 \cdot 10^7 / 1,17 \cdot 10^8)^2)^{1/2} = 1,485 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
16017-43/6-K05.001PP				Лист
				11

4. Штуцер А1

Исходные данные

Обозначение штуцера: Штуцер А1
Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера: Непроходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Толщина стенки несущего элемента, s: 50 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 3,2 мм
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутренний диаметр штуцера, d: 45 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 30 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_с: 2 мм

Длина штуцера, l₁: 107 мм
Длина обечайки, L: 4040 мм
Внутренний диаметр обечайки, D: 1600 мм
Смещение штуцера, L_п: 2420 мм
Смещение штуцера, l_{см}: 100 мм
Полученный угол поворота штуцера, θ: 13,56 °
Полученный угол наклона штуцера, γ: (-6,756) °
Полученный угол отклонения штуцера, ω: 90 °
Минимальный размер сварного шва, Δ: 30 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:
Продольный шов штуцера (ответвления):
Контроль 100% Да

φ₁ 1
Шов несущего элемента в зоне врезки:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист
12

Контроль 100% Да

φ_s 1

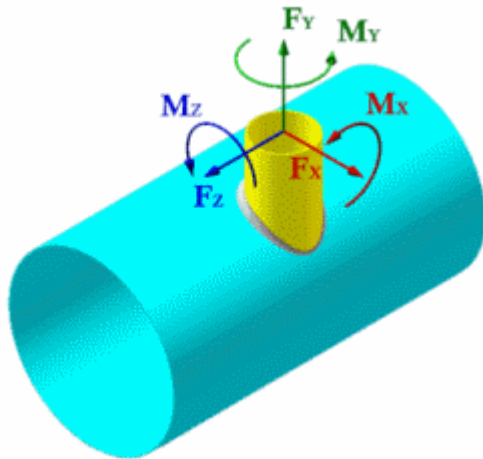
Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 287 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 7 МПа

Нагрузки на штуцер (в системе координат штуцера):



F_x , Н	F_y , Н	F_z , Н	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
1860	1860	1230	370	460	280

Расчет на прочность по МКЭ

Допускаемые напряжения в соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007

Уровень разбивки - 1

Коэффициент запаса, учитывающий уровень разбивки: $K_m = 1,3$

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре 287 °C:

$$[s] = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 136,5 / 1,3 = 105 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 287 °C:

$$E = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре 287 °C:

$$[s]_1 = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 136,5 / 1,3 = 105 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 287 °C:

$$E_1 = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP				
----------------------	--	--	--	--

Лист
13

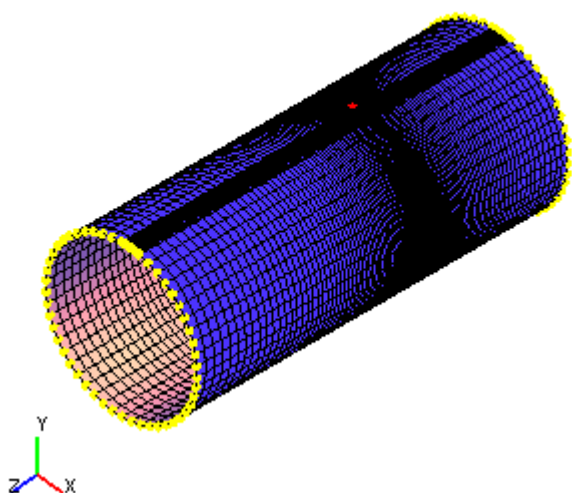


Рис. 1. Конечно-элементная модель узла врезки

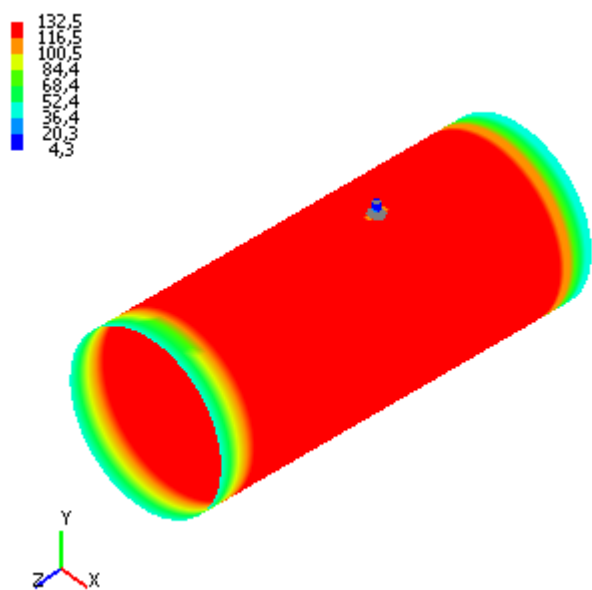


Рис. 2. Эквивалентные мембранные напряжения от совместного действия сил и давления, МПа.
Заклучение:

Для несущего элемента $\sigma_{\text{м1 max}} = 132,5 \text{ МПа} \leq 1.5[s] = 158 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{\text{м1 max}} = 31,71 \text{ МПа} \leq 1.5[s]_1 = 158 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист

14

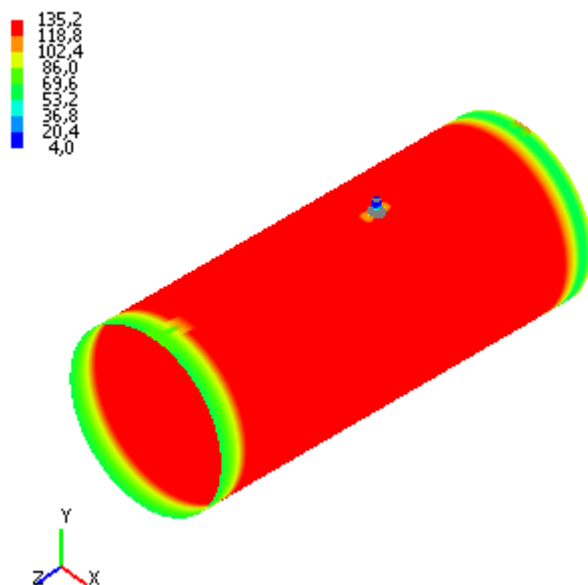


Рис. 3. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внешней поверхности, МПа.
Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{mb\ max} = 135,2\ \text{МПа} \leq 3[s] = 316\ \text{МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{mb\ max} = 68,84\ \text{МПа} \leq 3[s]_1 = 316\ \text{МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

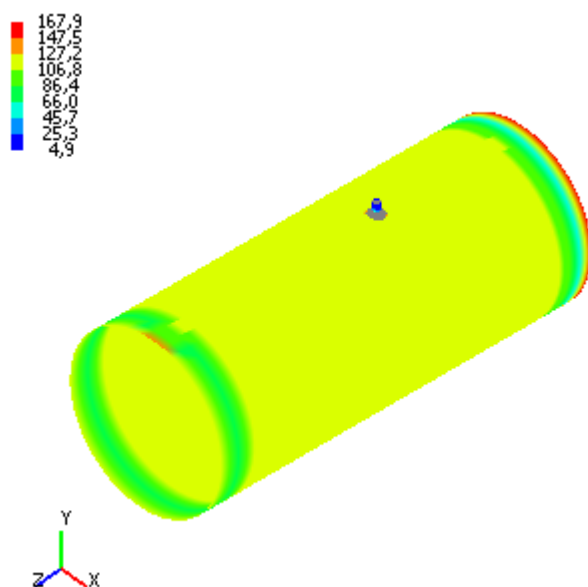


Рис. 4. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внутренней поверхности, МПа.
Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{mb\ max} = 167,9\ \text{МПа} \leq 3[s] = 316\ \text{МПа}$.

Исн. № подл.	Подп. и дата	Исн. № дубл.	Взам. исн. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист

15

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{mb\ max} = 63,58\ \text{МПа} \leq 3[s]_1 = 316\ \text{МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Общее заключение: Условия прочности выполнены.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

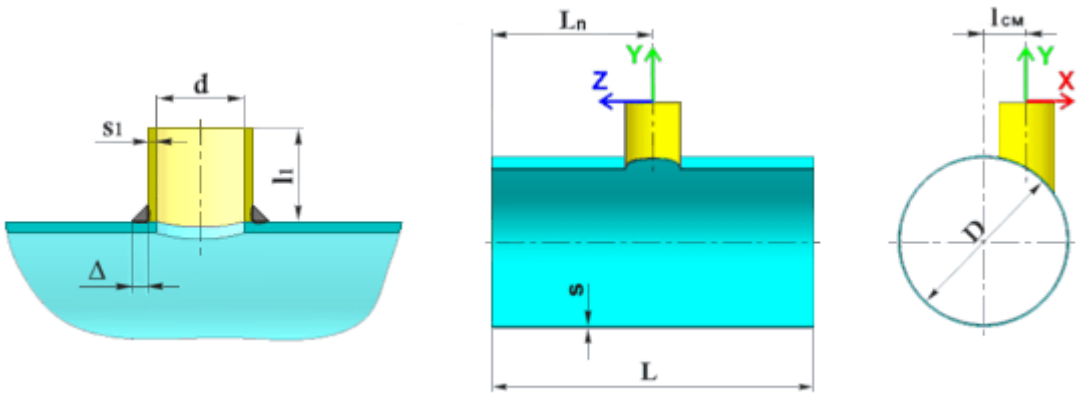
16017-43/6-K05.001PP

Лист
16

5. Штуцер В2

Исходные данные

Обозначение штуцера: Штуцер В2
Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера: Непроходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Толщина стенки несущего элемента, s: 50 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 3,2 мм
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутренний диаметр штуцера, d: 45 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 30 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_s: 2 мм
Длина штуцера, l₁: 95 мм
Длина обечайки, L: 4040 мм
Внутренний диаметр обечайки, D: 1600 мм
Смещение штуцера, L_п: 1220 мм
Смещение штуцера, l_{см}: 275 мм
Полученный угол поворота штуцера, θ: 129 °
Полученный угол наклона штуцера, γ: (-18,88) °
Полученный угол отклонения штуцера, ω: 90 °
Минимальный размер сварного шва, Δ: 30 мм
Коэффициенты прочности сварных швов:
Продольный шов штуцера (ответвления):
Контроль 100% Да
φ₁ 1
Шов несущего элемента в зоне врезки:

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Контроль 100% Да

φ_s 1

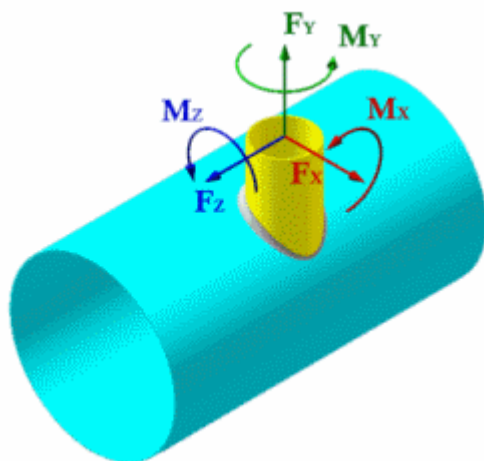
Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 287 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 7 МПа

Нагрузки на штуцер (в системе координат штуцера):



F_x , Н	F_y , Н	F_z , Н	M_x , Н·м	M_y , Н·м	M_z , Н·м
1860	1860	1230	370	460	280

Расчет на прочность по МКЭ

Допускаемые напряжения в соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007

Уровень разбивки - 1

Коэффициент запаса, учитывающий уровень разбивки: $K_m = 1,3$

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре 287 °С:

$$[s] = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 136,5 / 1,3 = 105 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 287 °С:

$$E = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Номинальные допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре 287 °С:

$$[s]_1 = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 136,5 / 1,3 = 105 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 287 °С:

$$E_1 = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP				Лист
									18

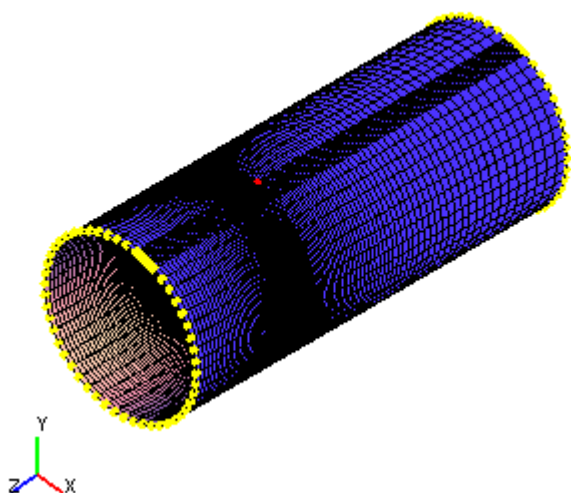


Рис. 1. Конечно-элементная модель узла врезки

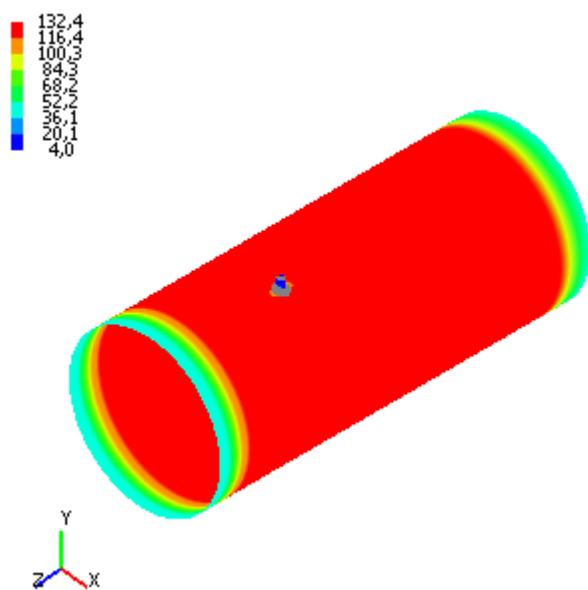


Рис. 2. Эквивалентные мембранные напряжения от совместного действия сил и давления, МПа.
Закключение:

Для несущего элемента $\sigma_{m1\max} = 132,4 \text{ МПа} \leq 1.5[s] = 158 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{m1\max} = 26,48 \text{ МПа} \leq 1.5[s]_1 = 158 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист

19

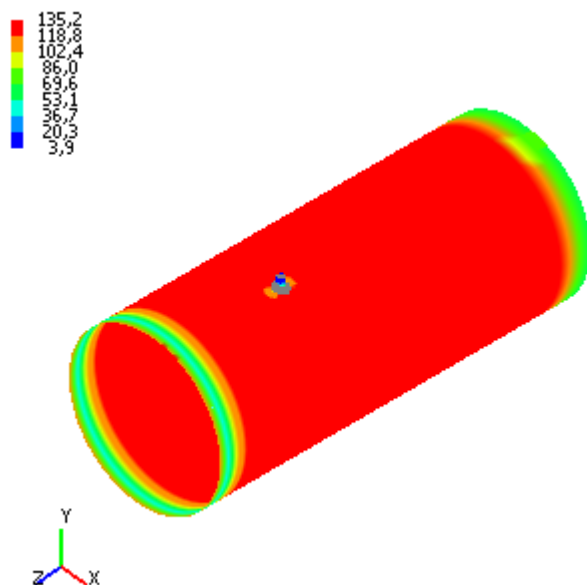


Рис. 3. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внешней поверхности, МПа.
Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{mb \max} = 135,2 \text{ МПа} \leq 3[s] = 316 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{mb \max} = 63,73 \text{ МПа} \leq 3[s]_1 = 316 \text{ МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

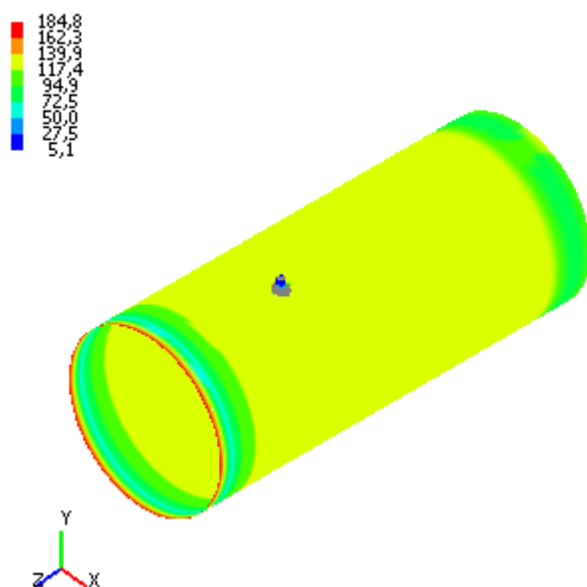


Рис. 4. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внутренней поверхности, МПа.
Заключение:

Для несущего элемента $\sigma_{mb \max} = 184,8 \text{ МПа} \leq 3[s] = 316 \text{ МПа}$.

Име. № подл.	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера $\sigma_{mb\ max} = 65,02\ \text{МПа} \leq 3[s]_1 = 316\ \text{МПа}$.

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Общее заключение: **Условия прочности выполнены.**

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист
21

6. Штуцер В1

Исходные данные

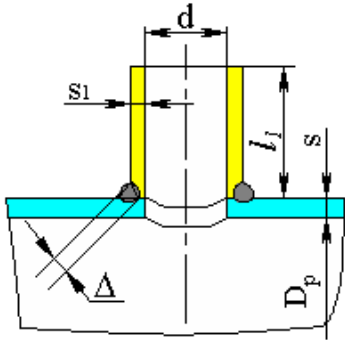
Элемент: Штуцер В1 50+

Условное обозначение (метка)

Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая №1

Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая

Тип штуцера: Непроходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Толщина стенки несущего элемента, s : 50 мм

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c : 3,2 мм

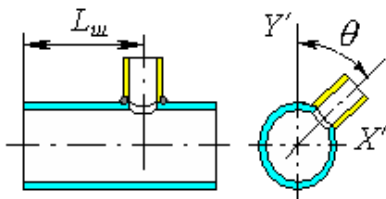
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Внутренний диаметр штуцера, d : 45 мм

Толщина стенки штуцера, s_1 : 30 мм

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_s : 2 мм

Длина штуцера, l_1 : 55 мм



Смещение штуцера, $L_{ш}$: 3120 мм

Угол поворота штуцера, θ : 0 °

Минимальный размер сварного шва, Δ : 30 мм

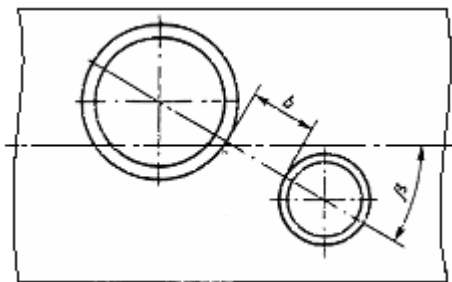
Расчётные параметры размещения штуцера:

Ближайший штуцер

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Изн. № подл.	Подп. и дата

Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

16017-43/6-K05.001PP



Название штуцера: Штуцер S1 50+

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 495 мм

Угол β : 0°

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 287 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 7 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 287 °C (рабочие условия):

$[\sigma] = 136,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 287 °C :

$E = 1,723 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 287 °C (рабочие условия):

$[\sigma]_1 = 136,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 287 °C :

$E_1 = 1,723 \cdot 10^5$ МПа

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 136,5 \cdot 1 \cdot (30 - 2) / (45 + 30 + 2) = 99,27 \text{ МПа}$$

99,27 МПа \geq 7 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

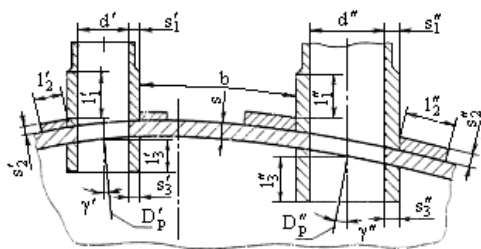
$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 45 + 2 \cdot 2 = 49 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((50 - 3,2) / 42,11 - 0,8) \cdot (1600 \cdot (50 - 3,2))^{1/2} = 170,5 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (50 - 3,2) \cdot 1 \cdot 136,5 \cdot 1 / [1600 + (50 - 3,2) \cdot 1] = 7,758 \text{ МПа}$$

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	Допускаемые напряжения для материала 09Г10С Gr.1 19281 при температуре $t = 287\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия): $[\sigma]_1 = 136,5\text{ МПа}$ Модуль продольной упругости при температуре $287\text{ }^{\circ}\text{C}$: $E_1 = 1,723 \cdot 10^5\text{ МПа}$ Допускаемое давление для патрубка штуцера : $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 136,5 * 1 * (30 - 2) / (45 + 30 + 2) = 99,27\text{ МПа}$ $99,27\text{ МПа} \geq 7\text{ МПа}$ Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия): $d_p = d + 2 \cdot c_s = 45 + 2 * 2 = 49\text{ мм}$ Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления : $d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 * ((50 - 3,2) / 42,11 - 0.8) * (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} = 170,5\text{ мм}$ $[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 * 1 * (50 - 3,2) * 1 * 136,5 * 1 / [1600 + (50 - 3,2) * 1] = 7,758\text{ МПа}$		
Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	Изм. Лист № докум. Подп. Дата	16017-43/6-K05.001PP	Лист 23



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер S1 50+ не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D'_b \cdot (s-c)} + \sqrt{D''_b \cdot (s-c)} = (1600 * (50-3,2))^{1/2} + (1600 * (50-3,2))^{1/2} = 547,3 \text{ mm}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 7,758; 7,758 \}$ МПа

$$7,758 \text{ МПа} \geq 7 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_I = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (49 - 109,5) \cdot 42,11 = (-1273) \text{ mm}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = 1_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 46,3 * (30 - 1,289 - 2) * 1 + 0 * 0 * 0 + 0 * (0 - 2 - 0) * 1 + 273,6 * (50 - 42,11 - 3,2)$$

$$= 2521 \text{ mm}^2$$

$$A_r = (-1273) \text{ mm}^2 \leq 2521 \text{ mm}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$

$0,9023 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\Phi_{\tau} \leq 1$

$0,002273 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

$0,01513 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\max\left(\left|\frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z\right|; \left|\Phi_z\right|; \left|\frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_z\right|\right)^2} + \Phi_b^2 \leq 1$$

$0,9047 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

$$8,625 \text{ МПа} \leq 136,5 \text{ МПа. Условие прочности выполнено}$$

Условие устойчивости штуцера: $\frac{|p|}{|p|} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{|M|} + \frac{|F_z|}{|F|} \leq 1.0$

$0,04706 \leq 1.0$. Условие устойчивости выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 11,7 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Лист

24

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С :

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С :

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 254,5 * 1 * (30 - 2) / (45 + 30 + 2) = 185,1 \text{ МПа}$$

$$185,1 \text{ МПа} \geq 11,7 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

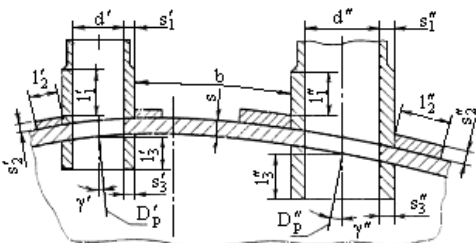
Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 45 + 2 * 2 = 49 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 * ((50 - 3,2) / 37,64 - 0,8) * (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} = 242,6 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 * 1 * (50 - 3,2) * 1 * 254,5 * 1 / [1600 + (50 - 3,2) * 1] = 14,47 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер S1 50+ не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} + (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} = 547,3 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

Допускаемое давление $[p] = \min \{ 14,47; 14,47 \} \text{ МПа}$

$$14,47 \text{ МПа} \geq 11,7 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_T = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 * (49 - 109,5) * 37,64 = (-1138) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 46,3 * (30 - 1,153 - 2) * 1 + 0 * 0 * 0 + 0 * (0 - 2 - 0) * 1 + 273,6 * (50 - 37,64 - 3,2)$$

$$= 3750 \text{ мм}^2$$

$$A_T = (-1138) \text{ мм}^2 \leq 3750 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP				
					Лист				
					25				

7. Штуцер В3,В4

Исходные данные

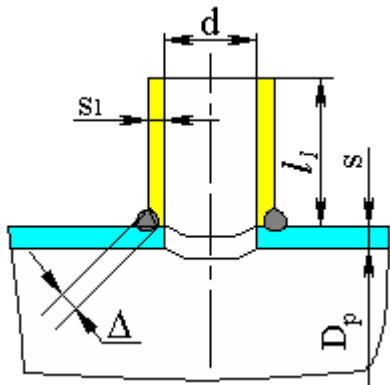
Элемент: Штуцер В3 100+

Условное обозначение (метка)

Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая №1

Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая

Тип штуцера: Непроходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Толщина стенки несущего элемента, s: 50 мм

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 3,2 мм

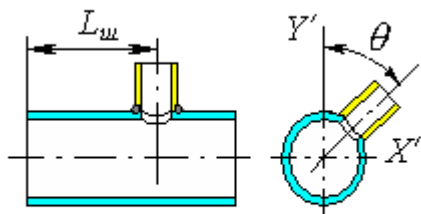
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Внутренний диаметр штуцера, d: 92 мм

Толщина стенки штуцера, s₁: 30 мм

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_s: 2 мм

Длина штуцера, l₁: 100 мм



Смещение штуцера, L_ш: 1620 мм

Угол поворота штуцера, θ: 180 °

Минимальный размер сварного шва, Δ: 30 мм

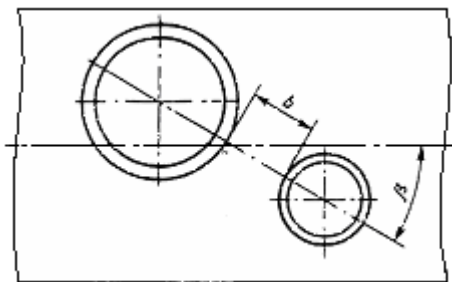
Расчётные параметры размещения штуцера:

Ближайший штуцер

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP



Название штуцера: Штуцер В4 100+

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 648 мм

Угол β : 180°

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 287 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 7,01 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma] = 136,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 287 °C :

$$E = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 136,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 287 °С :

$$E_1 = 1,723 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 136,5 * 1 * (30 - 2) / (92 + 30 + 2) = 61,65 \text{ МПа}$$

$$61,65 \text{ МПа} \geq 7,01 \text{ МПа}$$

Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено

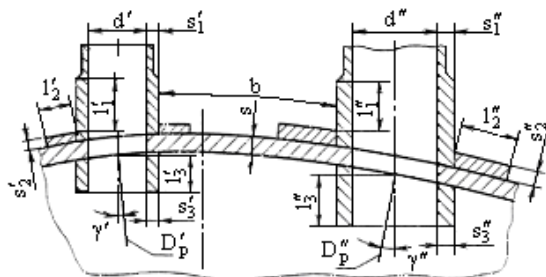
Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 92 + 2 \cdot 2 = 96 \text{ mm}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 2 \cdot ((50-3,2)/42,17-0,8) \cdot (1600 \cdot (50-3,2))^{1/2} = 169,6 \text{ mm}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_v + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 * 1 * (50 - 3,2) * 1 * 136,5 * 1 / [1600 + (50 - 3,2) * 1] = 7,758 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер В4 100+ не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s-c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s-c)} = (1600 * (50-3,2))^{1/2} + (1600 * (50-3,2))^{1/2} = 547,3 \text{ mm}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 7,758 \text{ МПа}$

$$7,758 \text{ МПа} \geq 7,01 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_I = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (96 - 109,5) \cdot 42,17 = (-283,7) \text{ mm}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 64,81 * (30 - 2,53 - 2) * 1 + 0 * 0 * 0 + 0 * (0 - 2 - 0) * 1 + 273,6 * (50 - 42,17 - 3,2)$$

$$= 2918 \text{ mm}^2$$

$$A_r = (-283,7) \text{ mm}^2 \leq 2918 \text{ mm}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$

$0,9036 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\Phi_{\pi} \leq 1$

$0,006320 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

$0,05269 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\max\left(\left|\frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z\right|, \left|\Phi_z\right|, \left|\frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_z\right|\right)^2} + \Phi_b^2 \leq 1$$

$0,9114 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

$15,81 \text{ МПа} \leq 136,5 \text{ МПа}$. Условие прочности выполнено

Условие устойчивости штуцера: $\frac{|p|}{|p|} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{|M|} + \frac{|F_z|}{|F|} \leq 1.0$

$0,07761 \leq 1.0$. Условие устойчивости выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 11,72 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штыцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С :

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С :

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 254,5 * 1 * (30 - 2) / (92 + 30 + 2) = 115 \text{ МПа}$$

$$115 \text{ МПа} \geq 11,72 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

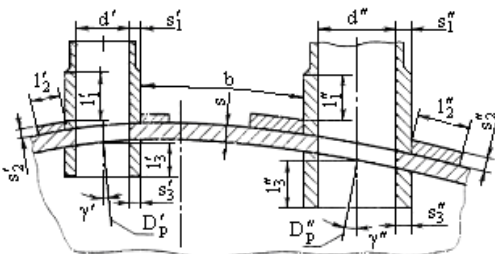
Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 92 + 2 * 2 = 96 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 * ((50 - 3,2) / 37,7 - 0,8) * (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} = 241,6 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 * 1 * (50 - 3,2) * 1 * 254,5 * 1 / [1600 + (50 - 3,2) * 1] = 14,47 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер В4 100+ не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} + (1600 * (50 - 3,2))^{1/2} = 547,3 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление [p] = 14,47 МПа

$$14,47 \text{ МПа} \geq 11,72 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 * (96 - 109,5) * 37,7 = (-253,6) \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_{p1} \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{p2} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{p3} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 64,81 * (30 - 2,262 - 2) * 1 + 0 * 0 * 0 + 0 * (0 - 2 - 0) * 1 + 273,6 * (50 - 37,7 - 3,2)$$

$$= 4159 \text{ мм}^2$$

$$A_r = (-253,6) \text{ мм}^2 \leq 4159 \text{ мм}^2$$

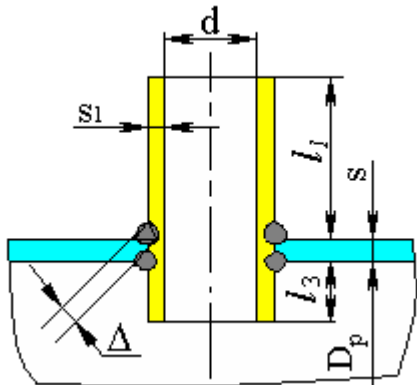
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP				Лист
					29				ФОРМАТ А4

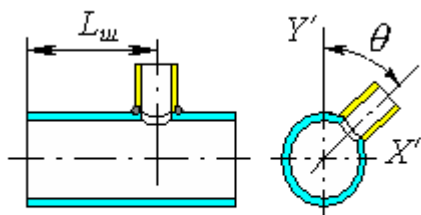
8. Штуцер А2,А3

Исходные данные

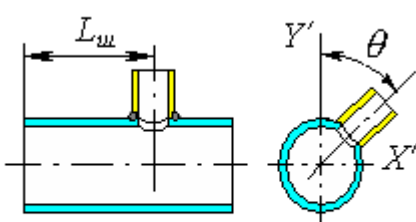
Элемент: Штуцер А2 150+
Условное обозначение (метка)
Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая №1
Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая
Тип штуцера: Проходящий без укрепления

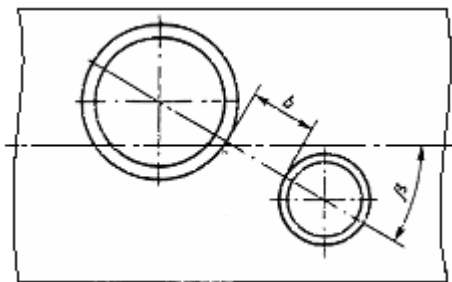


Материал несущего элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Толщина стенки несущего элемента, s: 50 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 3,2 мм
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Внутренний диаметр штуцера, d: 137 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 30 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_s: 2 мм
Длина штуцера, l₁: 100 мм



Смещение штуцера, L_ш: 1620 мм
Угол поворота штуцера, θ: 240 °
Длина внутр. части штуцера, l₃: 0 мм
Прибавка на коррозию, с_{s1}: 0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ: 30 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:
Ближайший штуцер

Подп. и дата	Внутренний диаметр штуцера, d:		137 мм			
	Толщина стенки штуцера, s ₁ :		30 мм			
	Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c _s :		2 мм			
	Длина штуцера, l ₁ :		100 мм			
Инв. № дубл.						
	Взам. инв. №					
Подп. и дата		Смещение штуцера, L _ш :		1620 мм		
	Угол поворота штуцера, θ:		240 °			
	Длина внутр. части штуцера, l ₃ :		0 мм			
	Прибавка на коррозию, c _{s1} :		0 мм			
Инв. № подл.	Минимальный размер сварного шва, Δ:		30 мм			
	Расчётные параметры размещения штуцера:					
	Ближайший штуцер					
Инв. № подл.					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP	30



Название штуцера: Штуцер АЗ 150+

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 603 мм

Угол β : 180 °

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 287 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 7,006 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 287 °С (рабочие условия):

$[\sigma] = 136,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 287 °С :

E = $1,723 \cdot 10^5$ МПа

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 287 °С (рабочие условия):

$[\sigma]_1 = 136,5$ МПа

Модуль продольной упругости при температуре 287 °С :

E₁ = $1,723 \cdot 10^5$ МПа

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 136,5 \cdot 1 \cdot (30 - 2) / (137 + 30 + 2) = 45,23 \text{ МПа}$$

45,23 МПа \geq 7,006 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

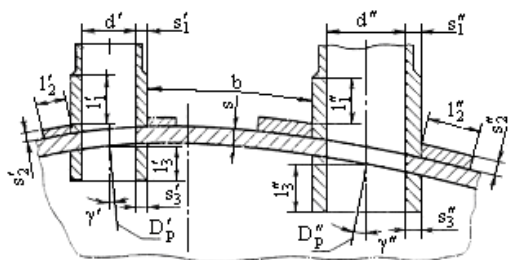
$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 137 + 2 \cdot 2 = 141 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((50 - 3,2) / 42,14 - 0,8) \cdot (1600 \cdot (50 - 3,2))^{1/2} = 169,9 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (50 - 3,2) \cdot 1 \cdot 136,5 \cdot 1 / [1600 + (50 - 3,2) \cdot 1] = 7,758 \text{ МПа}$$

Подп. и дата		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP	Лист
Изм.	№ подл.	Взам. инв. №	Изм. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	№ подл.	31	31



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер АЗ 150+ не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (1600 \cdot (50 - 3,2))^{1/2} + (1600 \cdot (50 - 3,2))^{1/2} = 547,3 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 7,758 \text{ МПа}$

$7,758 \text{ МПа} \geq 7,006 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (141 - 109,5) \cdot 42,14 = 664,7 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_p \cdot (s_1 - s_p - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \\ = 78,54 \cdot (30 - 3,714 - 2) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (30 - 2 - 0) \cdot 1 + 273,6 \cdot (50 - 42,14 - 3,2) \\ = 3181 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 664,7 \text{ мм}^2 \leq 3181 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$

$$0,9031 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие прочности: $\Phi_x \leq 1$

$$0,01144 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

$$0,1042 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\text{Условие прочности: } \sqrt{\left[\max \left(\left| \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_x \right|, \left| \Phi_x \right|, \left| \frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2 \cdot \Phi_x \right| \right) \right]^2 + \Phi_b^2} \leq 1$$

$$0,9204 \leq 1,0. \text{ Условие прочности выполнено}$$

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

$$22,25 \text{ МПа} \leq 136,5 \text{ МПа. Условие прочности выполнено}$$

$$\text{Условие устойчивости штуцера: } \frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_x|}{[F]} \leq 1,0$$

$$0,1028 \leq 1,0. \text{ Условие устойчивости выполнено}$$

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 11,71 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP				Лист
									32

FORMAT A4

9. Люк М1

Исходные данные

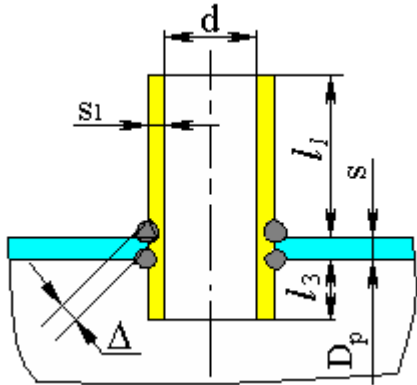
Элемент: Штуцер М1

Условное обозначение (метка)

Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое №1

Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое

Тип штуцера: Проходящий без укрепления



Материал несущего элемента: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Толщина стенки несущего элемента, s: 50 мм

Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 3,2 мм

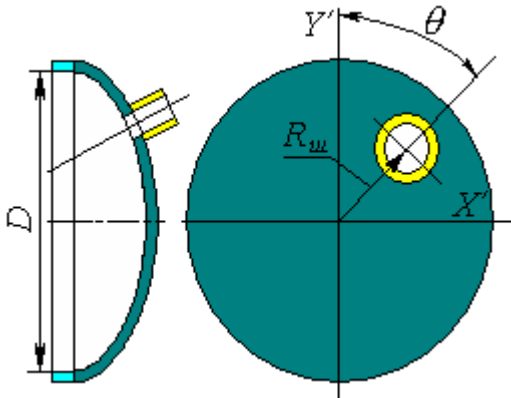
Материал штуцера: 09Г2С Gr.ГОСТ 19281

Внутренний диаметр штуцера, d: 600 мм

Толщина стенки штуцера, s₁: 55 мм

Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_s: 2 мм

Длина штуцера, l₁: 227 мм



Смещение штуцера, R_ш: 0 мм

Угол поворота штуцера, θ: 0 °

Длина внутр. части штуцера, l₃: 1 мм

Прибавка на коррозию, c_{s1}: 2 мм

Минимальный размер сварного шва, Δ: 50 мм

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	
Изн. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP

Условие прочности: $\max \left(\left| \Phi_p + \Phi_z \right|; \left| \Phi_z \right|; \left| \Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_z \right| \right) + \Phi_b \leq 1$

0,9714 ≤ 1.0. Условие прочности выполнено

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

21,91 МПа ≤ 136,5 МПа. Условие прочности выполнено

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 11,71 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре Т = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С :

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре Т = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С :

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера :

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \Phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 254,5 \cdot 1 \cdot (55 - 0) / (600 + 55 + 0) = 42,75 \text{ МПа}$$

$$42,75 \text{ МПа} \geq 11,71 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия):

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 0 = 600 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления :

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((50 - 3,2) / 37,24 - 0,8) \cdot (3200 \cdot (50 - 3,2))^{1/2} = 403,4 \text{ мм}$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \Phi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (50 - 1,2) \cdot 1 \cdot 254,5 \cdot 0,9299 / [3200 + (50 - 1,2) \cdot 0,9299] = 14,24 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление [р] = 14,24 МПа

$$14,24 \text{ МПа} \geq 11,71 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия :

$$A_T = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (600 - 158,1) \cdot 37,24 = 8229 \text{ мм}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = 1_p \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + 1_p \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 227 \cdot (55 - 14,13 - 0) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 1 \cdot (55 - 0 - 0) \cdot 1 + 395,2 \cdot (50 - 37,24 - 1,2)$$

$$= 1,39 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$$

$$A_r = 8229 \text{ мм}^2 \leq 1,39 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP				Лист
									36

0,8227 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\Phi_x \leq 1$

0 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

0,003701 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\max \left(\left| \Phi_p + \Phi_x \right|, \left| \Phi_x \right|, \left| \Phi_p - 0.2 \cdot \Phi_x \right| \right) + \Phi_b \leq 1$

0,8264 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Условие прочности: $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$

36,48 МПа ≤ 254,5 МПа. **Условие прочности выполнено**

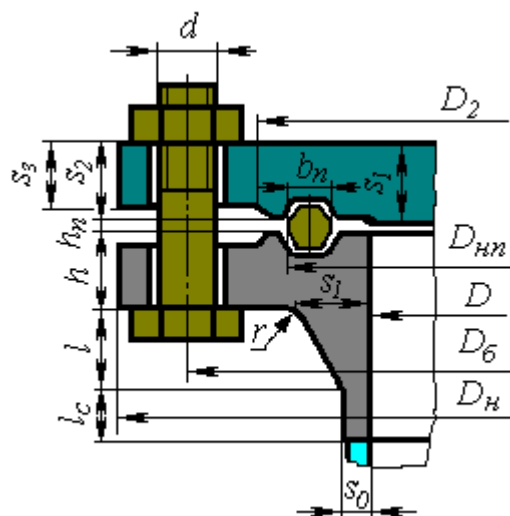
Име. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Име. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP					Лист
					37

10. Крышка плоская люка М1

Расчёт на прочность по ГОСТ Р 52857.4-2007 и ГОСТ Р 52857.2-2007



Исходные данные

Параметры крышки:

Материал:	09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Толщина стенки, s_1 :	80 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, s_1 :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, s_2 :	1,3 мм
Прибавка технологическая, s_3 :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, s :	3,3 мм
Толщина в месте прокладки, s_2 :	76 мм
Толщина вне уплотнения, s_3 :	73 мм
Наименьший диаметр наружной утоненной части, D_2 :	768 мм
Наружный диаметр крышки, D_n :	885 мм

Параметры фланца:

Тип фланца:	Приварные встык
Исполнение фланца:	Восьмигранник
Диаметр болтовой окружности, D_6 :	810 мм
Материал фланца:	09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Смежный элемент:	Штуцер М1
Материал смежного элемента:	09Г2С Gr.ГОСТ 19281
Толщина стенки смежного элемента:	55 мм
Внутренний диаметр фланца, D :	600 мм
Наружный диаметр фланца, D_n :	885 мм
Толщина фланца, h :	102 мм
Сумма прибавок, s :	2 мм
Длина конической части втулки, l :	90 мм
Длина цилиндрической части втулки, l_c :	18 мм

Изн. № подл.	Подп. и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Изн. № подл.	Подп. и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

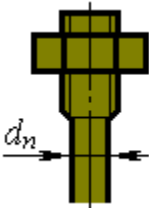
16017-43/6-K05.001PP

Лист

38

Толщина цилиндрической части втулки, s_0 : 29 мм
Толщина конической части втулки, s_1 : 59 мм
Радиус перехода, r : 7 мм

Шпильки:



Материал: 30ХМА
Наружный диаметр, d : 36 мм
Диаметр проточки, d_n : 30 мм
Количество, n : 28
Контроль затяжки: Нет

Прокладка:

Материал прокладки: Кольцо с овал. или восьмигр. сечением из стали 08Х13 по ГОСТ 5632
Толщина, h_n : 5,729 мм
Наружный диаметр, $D_{н.п.}$: 693 мм
Ширина, b_n : 18 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 7,003 МПа

Свойства материала болтов (шпилек)

Температура болтов (шпилек), t_b : 278,4 °C
Номинальные допускаемые напряжения для материала 30ХМА при температуре $T = 278,4$ °C :
 $[\sigma]_b = 177$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 30ХМА при температуре $T = 278,4$ °C :

$E_b = 2,025 \cdot 10^5$ МПа
Коэффициент линейного расширения для материала 30ХМА при температуре $T = 278,4$ °C :
 $\alpha_b = 0,1284 \cdot 10^{-4}$ °C
Номинальные допускаемые напряжения для материала 30ХМА при температуре $T = 20$ °C :

$[\sigma]_b^{20} = 230$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 30ХМА при температуре $T = 20$ °C :

$E_b^{20} = 2,18 \cdot 10^5$ МПа
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287$ °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_{ш} = 136,5$ МПа
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20$ °C (рабочие условия):

$[\sigma]_{ш}^{20} = 183$ МПа

Свойства материала фланца

Температура фланца (кольца), t_f : 287 °C
Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287$ °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_ф = 136,5$ МПа
Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 287$ °C :

$E_ф = 1,723 \cdot 10^5$ МПа

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP	Лист
																39

Равнодействующая давления :

$$Q_{\text{д}} = p \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{сн}}^2}{4} = 7,003 \cdot 3,142 \cdot 675^2 / 4 = 2,506 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое давление :

$$[p] = \left(\frac{s_1 - c}{K_0 \cdot K_6 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot K_p = ([80 - 3,3] / [1 \cdot 0,4934 \cdot 675])^2 \cdot 136,5 \cdot 1 \cdot 0,9953 = 7,206 \text{ МПа}$$

$$7,206 \text{ МПа} \geq 7,003 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Днища и крышки, нагруженные избыточным давлением

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок :

$$s_{\text{дп}} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 0,4934 \cdot 1 \cdot 675 \cdot \sqrt{(7,003 / [1 \cdot 136,5 \cdot 0,9953])^{1/2}} + 3,3 = 78,91 \text{ мм}$$

$$78,91 \text{ мм} \leq 80 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок :

$$s_{\text{дк}} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{сн}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,3578 \cdot 2,257 \cdot 10^4^{1/2}; 0,6 \cdot 2,257 \cdot 10^4 / 675 \} + 3,3 = 57,05 \text{ мм}$$

$$57,05 \text{ мм} \leq 76 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок :

$$s_{\text{зп}} + c = \max \left\{ K_7' \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,1871 \cdot 2,257 \cdot 10^4^{1/2}; 0,6 \cdot 2,257 \cdot 10^4 / 768 \} + 3,3 = 31,41 \text{ мм}$$

$$31,41 \text{ мм} \leq 73 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 11,71 МПа

Свойства материала болтов (шпилек)

Температура болтов (шпилек), t_б: 20 °С

Номинальные допускаемые напряжения для материала 30ХМА при температуре T = 20 °С :

$$[\sigma]_{\text{б}}^{20} = 230 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 30ХМА при температуре T = 20 °С :

$$E_{\text{б}}^{20} = 2,18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 30ХМА при температуре T = 20 °С :

$$\alpha_{\text{б}}^{20} = 0,123 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{С}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{ш}}^{20} = \eta \cdot \min (R_{\text{e}/t} / n_T; R_{\text{m}/t} / n_B; R_{\text{m}/10n/t} / n_D; R_{\text{p}1,0/10n/t} / n_n) = 1 \cdot \min \{ 280 / 1,1; 440 / 0; - / -; - / - \} = 254,5 \text{ МПа}$$

Свойства материала фланца

Температура фланца (кольца), t_ф: 20 °С

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{\text{ф}}^{20} = \eta \cdot \min (R_{\text{e}/t} / n_T; R_{\text{m}/t} / n_B; R_{\text{m}/10n/t} / n_D; R_{\text{p}1,0/10n/t} / n_n) = 1 \cdot \min \{ 280 / 1,1; 440 / 0; - / -; - / - \} = 254,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С :

$$E_{\text{ф}}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С :

$$\alpha_{\text{ф}}^{20} = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{С}$$

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP				Лист
									42

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_{\text{кр}}^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчёт без учета стесненности температурных деформаций

Расчёт болтов(шпилек):

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке :

$$[\sigma]_6^M = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_6^{20} = 1,2 \cdot 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 230 = 372,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$$

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 4,804 \cdot 10^6 / 1,979 \cdot 10^4 = 242,7 \text{ МПа}$$

242,7 МПа \leq 372,6 МПа, **Условие прочности выполнено**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при рабочих условиях:

$$[\sigma]_6^P = K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_6 = 1,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 230 = 310,5 \text{ МПа}$$

Условие прочности в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} \leq [\sigma]_6^P$$

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 4,804 \cdot 10^6 / 1,979 \cdot 10^4 = 242,7 \text{ МПа}$$

242,7 МПа \leq 310,5 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} \leq [\sigma]_6^M$$

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 4,804 \cdot 10^6 / 1,979 \cdot 10^4 = 242,7 \text{ МПа}$$

Расчёт ответного фланца:

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_I (п. 8.5.1):

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_M^{20}$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |113,6 + 75,49|; |113,6 + 66,97| \} = 189 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1 \cdot 381,8 = 381,8 \text{ МПа}$$

189 МПа \leq 381,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_I :

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{lim}}^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_M$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{\text{lim}}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{\text{lim}}^P \right| \right\} = \max \{ |136,9 - 34,3 + 90,99|; |136,9 - 34,3 + 80,72|; |136,9 + 34,3| \} = 193,6 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_M = 1 \cdot 381,8 = 381,8 \text{ МПа}$$

193,6 МПа \leq 381,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности при затяжке в сечении s_0 (п. 8.5.2):

$$\sigma_0^M \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R^{20}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 763,6 = 992,7 \text{ МПа}$$

113,6 МПа \leq 992,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в рабочих условиях в сечении s_0 :

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{\text{lim}}^P \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{\text{lim}}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{\text{lim}}^P - \sigma_{\text{lim}}^P) \right| \right\} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_R$$

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
<div> <div>16017-43/6-K05.001PP</div> <div>Лист</div> <div>43</div> </div>									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок :

$$s_{\text{п}} + c = K_6 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma] \cdot K_p}} + c = 0,4862 \cdot 1 \cdot 675 \cdot (11,71 / [1 \cdot 254,5 \cdot 0,9908])^{1/2} + 1,3 = 72,03 \text{ мм}$$

$$72,03 \text{ мм} \leq 80 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчётная толщина крышки в месте уплотнения с учётом прибавок :

$$s_{\text{2п}} + c = \max \left\{ K_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_{\text{с.п.}}} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,3578 \cdot 1,887 \cdot 10^4^{1/2}; 0,6 \cdot 1,887 \cdot 10^4 / 675 \} + 1,3 = 50,45 \text{ мм}$$

$$50,45 \text{ мм} \leq 76 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчётная толщина вне зоны уплотнения с учётом прибавок :

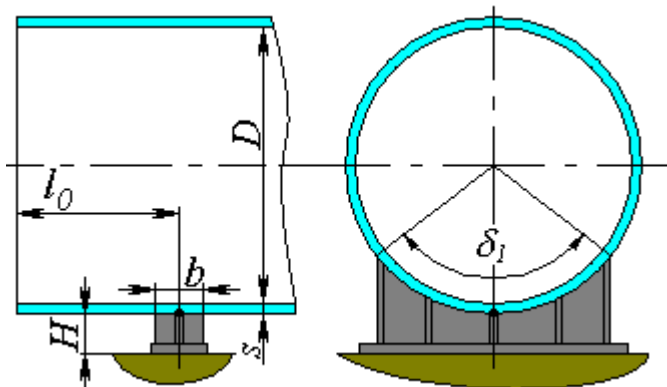
$$s_{\text{3п}} + c = \max \left\{ K'_7 \cdot \sqrt{\Phi}; \frac{0,6}{D_2} \cdot \Phi \right\} + c = \max \{ 0,1871 \cdot 1,887 \cdot 10^4^{1/2}; 0,6 \cdot 1,887 \cdot 10^4 / 768 \} + 1,3 = 27 \text{ мм}$$

$$27 \text{ мм} \leq 73 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	<div>16017-43/6-K05.001PP</div>					Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

11. Опора седловая



Исходные данные

Элемент, связанный с опорой:	Обечайка цилиндрическая №1
Внутренний диаметр обечайки, D:	1600 мм
Толщина стенки обечайки, s:	50 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	2 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	1,2 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	0 мм
Сумма прибавок к стенке обечайки, c:	3,2 мм
Ширина опоры, b:	300 мм
Угол охвата опоры, δ_1 :	115,8 °
Расстояние от края элемента, l ₀ :	320 мм
Расстояние до днища, a:	400 мм
Высота опоры, H:	194 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения (см. Эпюры сил и моментов):

Расчётная температура, T:	287 °C
Коэффициент заполнения жидкостью, ξ :	0,618
Плотность жидкости, $\rho_{ж}$:	953 кг/м ³
Расчётное внутреннее избыточное давление, действующее в элементе над опорой, p:	7,009 МПа

Изгибающий момент в сечении оболочки над опорой, M: $1,082 \cdot 10^4$ Н м

Опорное усилие, F: $8,382 \cdot 10^4$ Н

Поперечное усилие в сечении оболочки над опорой, Q: $5,454 \cdot 10^4$ Н

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая №1”):

Допускаемое наружное давление, [p]: 5,51 МПа

Допускаемый изгибающий момент, [M]_{уст}: $1,321 \cdot 10^7$ Н м

Допускаемая осевое сжимающее усилие, [F]: $3,302 \cdot 10^7$ Н

Изн. № подл.	Подп. и дата	Изн. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Изн. № подл.
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					46

16017-43/6-K05.001PP

Допускаемые нагрузки для элемента, связанного с обечайкой (см. расчёт “Обечайка цилиндрическая №1”):

Допускаемое наружное давление, [p]: 9,26 МПа
Допускаемый изгибающий момент, [M]_{уст}: 2,463·10⁷ Н м
Допускаемая осевое сжимающее усилие, [F]: 6,156·10⁷ Н
Допускаемая поперечное усилие, [Q]: 1,485·10⁷ Н

Расчёт обечайки на прочность и устойчивость от опорных нагрузок по ГОСТ Р 52857.5-2007

Опора без подкладного листа

Условие прочности:

$F \leq [F] = \min \{ [F]_2, [F]_3 \}$

$[F] = \min \{ [F]_2, [F]_3 \} = 5,124 \cdot 10^6$

$1,028 \cdot 10^5 \text{ Н} \leq 5,124 \cdot 10^6 \text{ Н}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Проверка условия устойчивости

Сосуд работает под внутренним давлением, при проверке устойчивости принимают p=0.

Условие устойчивости: $\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1$

$\frac{|p|}{[p]} + \frac{F_e}{[F]} + \frac{M}{[M]_{уст}} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 9,26 + 9,666 \cdot 10^4 / 6,156 \cdot 10^7 + 1,669 \cdot 10^4 / 2,463 \cdot 10^7 + (6,829 \cdot 10^4 / 1,485 \cdot 10^7)^2 = 0,002269$

$0,002269 \leq 1.0$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

Расчёт на прочность седловой опоры по РТМ 26-110-77

Свойства материала опоры:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):

$[\sigma]^{20} = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 280 / 1,1 = 254,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С Gr.ГОСТ 19281 при температуре T = 20 °С :

$E^{20} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала бетона:

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150) :

$[\sigma]_{бет} = 6 \text{ МПа}$

Условие работоспособности фундамента :

$A_n \geq \frac{F_i}{[\sigma]_{бет}}$

$4,5 \cdot 10^5 \text{ мм}^2 \geq 1,714 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$. **Условие работоспособности выполнено**

$\max\{s_{np} + c; 10 \text{ мм}\} = \max\{6,716 + 1; 10 \text{ мм}\} = 10 \text{ мм}$

Условие выполнения прочности опорной плиты :

$s_n \geq \max\{s_{np} + c; 10 \text{ мм}\}$

$14 \text{ мм} \geq 10 \text{ мм}$. **Условие прочности выполнено**

$\max\{s_{pn}; s_{pe}\} + c = \max\{1,897; 1,95\} + 1 = 2,95 \text{ мм}$

Условие выполнения прочности и устойчивости ребер :

$s_p \geq \max\{s_{pn}; s_{pe}\} + c$

$8 \text{ мм} \geq 2,95 \text{ мм}$. **Условие прочности выполнено**

Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP	Лист	49
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--	------	------	----------	-------	------	----------------------	------	----

$$\frac{P_{2i} \cdot 0.5 \cdot (h_1 + h_2)}{W} = 1,542 \cdot 10^4 \cdot 0.5 \cdot (180 + 578,3) / 0,03467 = 0,1686 \text{ МПа}$$

Условие прочности опоры при действии силы P_{2i} :

$$\frac{P_{2i} \cdot 0.5 \cdot (h_1 + h_2)}{W} \leq [\sigma]_{\sigma}^{20}$$

0,1686 МПа ≤ 254,5 МПа. [Условие прочности выполнено](#)

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

16017-43/6-K05.001PP				
----------------------	--	--	--	--

Лист
50

12. Список литературы

- 1) ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 2) ГОСТ Р 52857.5-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.
- 3) СА 03-003-07. Расчет на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности "Ростехэкспертиза"
- 4) РТМ 26-110-77. Расчет на прочность цилиндрических горизонтальных аппаратов, установленных на седловых опорах.
- 5) ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 6) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 7) 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.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP					Лист
										51

13. Лист регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	№ документа	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Изъятых					

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	16017-43/6-K05.001PP	Лист
						52