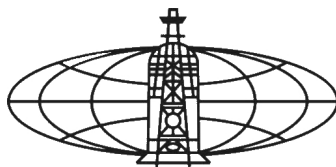


АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»



ОАО «Славнефть-ЯНОС»

Цех № 1. Установка АВТ-4. Титул 11/4
Модернизация рефлюксной емкости Е-3.
Врезка отстойника.

Расчеты

Е-3.00.00.000 РР

Зав. отделом №16

 С. В. Салов

« ____ » _____ 2016 г.

Главный конструктор проекта

 Е. Н. Логунова

« ____ » _____ 2016 г.




Москва, 2016 г.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19670.4				

Этот документ является собственностью
АО "ВНИИНЕФТЕМАШ" и не подлежит
копированию и распространению без его согласия.

Оглавление

Сводные таблицы	3
Основные элементы	3
Штуцера	3
Обечайка цилиндрическая DN600	5
Расчёт в рабочих условиях	6
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)	8
Днище эллиптическое DN600	11
Расчёт в рабочих условиях	11
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)	12
Штуцер Л1, Л3 DN50	13
Расчёт в рабочих условиях	14
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)	16
Штуцер Л2, Л4 DN50	18
Расчёт в рабочих условиях	19
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)	21
Штуцер М DN50	24
Расчёт в рабочих условиях	25
Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)	29
Фланцевое соединение DN50	31
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2	31
Расчёт в рабочих условиях	32
Список литературы	43

Инв. № подл. 19670.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		
		Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Е-3.00.00.000 РР		
		Разраб.		Иванов		02.2016	Модернизация рефлюксной емкости Е-3 Расчеты		
		Пров.		Тачёнов		02.2016			
		Рук.							
		Н.контр.		Копчикова		02.2016			
		Утв.							
							Лит.	Лист	Листов
							Т		2 43
							АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»		

Сводные таблицы

Основные элементы

Исходные данные

Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Коэфф. прочности сварного шва
Обечайка цилиндрическая	09Г2С	2000	16	5500	3,8	1
Днище эллиптическое DN600	09Г2С	600	12	187	5,3	1

Результаты расчета

Рабочие условия

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Условие прочности
Обечайка цилиндрическая	100	1,615	163,5	13,73	выполнено
Днище эллиптическое DN600	100	1,623	163,5	8,287	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Условие прочности
Обечайка цилиндрическая	2,02	272,7	11,23	выполнено
Днище эллиптическое DN600	2,031	272,7	7,539	выполнено

Штуцера

Исходные данные

Элемент	Метка	Тип	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Суммарная прибавка, мм
Обечайка цилиндрическая DN600	Штуцер DN600	Проходящий с накладным кольцом	09Г2С	600	10	3,8
Штуцер Л1, Л3 DN50	Штуцер Л1	Проходящий без укрепления	09Г2С (КП245) Gr.	48	10	3
Штуцер Л2, Л4 DN50	Штуцер Л2	Проходящий без укрепления	09Г2С (КП245) Gr.	48	10	3

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19670.4				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-3.00.00.000 PP	Лист
						3

Штуцер М DN50	Штуцер М	Проходящий без укрепления	09Г2С (КП245) Gr.	48	10	3
---------------	----------	---------------------------	-------------------	----	----	---

Результаты расчета

Рабочие условия

Элемент	Расчетная температура, °С	Расчетное давление, МПа	Условие прочности
Обечайка цилиндрическая DN600	100	1,622	выполнен
Штуцер Л1, Л3 DN50	100	1,616	выполнено
Штуцер Л2, Л4 DN50	100	1,622	выполнено
Штуцер М DN50	100	1,625	выполнено

Условия испытаний

Элемент	Расчетное давление, МПа	Условие прочности
Обечайка цилиндрическая DN600	2,03	выполнено
Штуцер Л1, Л3 DN50	2,021	выполнено
Штуцер Л2, Л4 DN50	2,029	выполнено
Штуцер М DN50	2,033	выполнено

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
19670.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР
					Лист
					4

Толщина кольца, s_2 : 18 мм

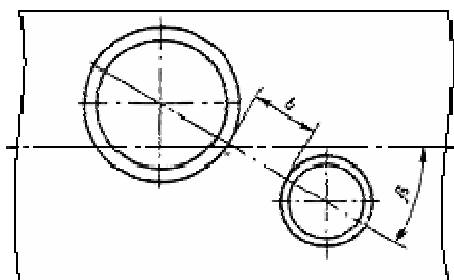
Минимальный размер сварного шва, Δ : 10 мм

Минимальный размер сварного шва, Δ_1 : 18 мм

Минимальный размер сварного шва, Δ_2 : 10 мм

Расчётные параметры размещения штуцера:

Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер Б (существ.)

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 894.5 мм

$$U_{\text{ГОЛ } \beta}: 180^\circ$$

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\phi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\wp = 1$$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 2000 \text{ mm}$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,622 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma] = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_R) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma]_i = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:

$$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	19670.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата	
<p>$D_p = D = 2000 \text{ мм}$</p> <p style="text-align: center;">Расчёт в рабочих условиях</p> <p style="text-align: center;">Условия нагружения:</p> <p>Расчётная температура, Т: 100 °С</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,622 МПа</p> <p style="text-align: center;">Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p style="text-align: center;"><i>Свойства материала элемента, несущего штуцер</i></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре Т = 100 °С (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):</p> <p>$[\sigma] = \min(R_{eT} / n_T; R_{mT} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:</p> <p>$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> <p style="text-align: center;"><i>Свойства материала штуцера</i></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре Т = 100 °С (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):</p> <p>$[\sigma]_1 = \min(R_{eT} / n_T; R_{mT} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:</p> <p>$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p>									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР				
					Лист 6				

Свойства материала кольца

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma]_2 = \min(R_{eH} / n_T; R_{mH} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_2 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,622 \cdot (600 + 2 \cdot 3,8) / (2 \cdot 163,5 \cdot 1 - 1,622) = 3,03 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 163,5 \cdot 1 \cdot (10 - 3,8) / (600 + 10 + 3,8) = 3,302 \text{ МПа}$$

$$3,302 \text{ МПа} \geq 1,622 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 2000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 9,973 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 600 + 2 \cdot 3,8 = 607,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((16 - 3,8) / 9,973 - 0,8) \cdot (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} = 132,2 \text{ мм}$$

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_p = \min\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{1000; 1,25 \cdot ((600 + 2 \cdot 3,8) \cdot (10 - 3,8))^{1/2}\} = 76,72 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min\left\{1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\{1,0, 163,5 / 163,5\} = 1$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} = 156,2 \text{ мм}$$

Расчётная ширина кольца:

$$l_{2p} = \min\{l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}\} = \min\{120; (2000 \cdot (18 + 16 - 3,8))^{1/2}\} = 120 \text{ мм}$$

Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \min\left\{1,0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]}\right\} = \min\{1,0, 163,5 / 163,5\} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{0; 0,5 \cdot ((600 + 2 \cdot 3,8) \cdot (10 - 3,8 - 0))^{1/2}\} = 0 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 156,2 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} = 62,48 \text{ мм}$$

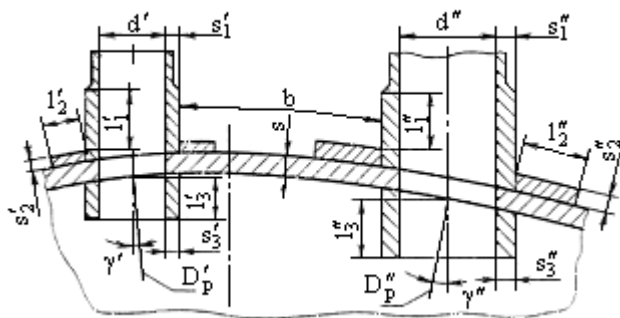
Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата					
19670.4									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
					Е-3.00.00.000 РР				
					Лист 7				

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (76,72 \cdot (10 - 3,8) \cdot 1 + 120 \cdot 18 \cdot 1 + 0 \cdot (10 - 3,8 - 0) \cdot 1) / (156,2 \cdot (16 - 3,8))] / [1 + 0.5 \cdot (607,6 - 62,48) / 156,2 + 1 \cdot (600 + 2 \cdot 3,8) / 2000 \cdot 1 / 1 \cdot 76,72 / 156,2] = 0,8234 \}$$

$$= 0,8234$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 3,8) \cdot 1 \cdot 163,5 \cdot 0,8234 / [2000 + (16 - 3,8) \cdot 0,8234] = 1,634 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Б (существ.) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} + (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} = 312,4 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 1,634 \text{ МПа}$

$$1,634 \text{ МПа} \geq 1,622 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 2,03 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

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

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

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

$$[\sigma]^{20}_{11} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Изнв. № подл.	19670.4
Подпись и дата	
Взам. инв. №	
Изнв. № дубл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР	Лист
						8

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

ИНВ. № подл.

19670.4

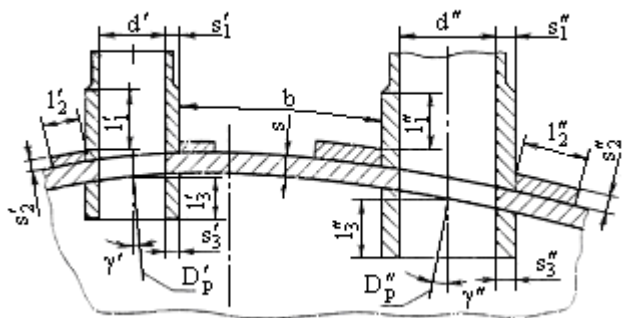
9

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_p \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_p}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (76,72 \cdot (10 - 3,8) \cdot 1 + 120 \cdot 18 \cdot 1 + 0 \cdot (10 - 3,8 - 0) \cdot 1) / (156,2 \cdot (16 - 3,8))] / [1 + 0.5 \cdot (607,6 - 62,48) / 156,2 + 1 \cdot (600 + 2 \cdot 3,8) / 2000 \cdot 1 / 1 \cdot 76,72 / 156,2] = 0,8234 \}$$

$$= 0,8234$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (16 - 3,8) \cdot 1 \cdot 272,7 \cdot 0,8234 / [2000 + (16 - 3,8) \cdot 0,8234] = 2,726 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Б (существ.) не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} + (2000 \cdot (16 - 3,8))^{1/2} = 312,4 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 2,726 \text{ МПа}$

$2,726 \text{ МПа} \geq 2,03 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (607,6 - 62,48) \cdot 7,47 = 0,002036 \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 76,72 \cdot (10 - 2,269 - 3,8) \cdot 1 + 120 \cdot 18 \cdot 1 + 0 \cdot (10 - 3,8 - 0) \cdot 1 + 156,2 \cdot (16 - 7,47 - 3,8)$$

$$= 0,003200 \text{ м}^2$$

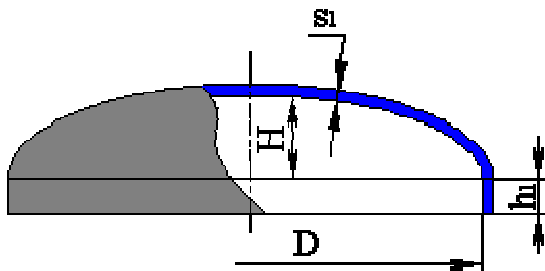
$$A_r = 0,002036 \text{ м}^2 \leq 0,003200 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата
19670.4	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

Взам. инв. №	Подпись и дата
Инов. № дубл.	

Днище эллиптическое DN600



Исходные данные

Материал:	09Г2С
Внутр. диаметр, D:	600 мм
Толщина стенки днища, s ₁ :	12 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c ₁ :	3 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c ₂ :	0,8 мм
Прибавка технологическая, c ₃ :	1,5 мм
Суммарная прибавка к толщине стенки, c:	5,3 мм
Высота днища, H:	150 мм
Длина отбортовки, h ₁ :	25 мм
Радиус кривизны в вершине днища:	

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 600^2 / (4 \cdot 150) = 600 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\varphi = 1$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	100 °С
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,623 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 100 °С (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma] = \min(R_{eT} / n_T; R_{mT} / n_B) = \min(265,5 / 1,6; 425 / 2,6) = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре T = 100 °С:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 600^2 / (4 \cdot 150) = 600 \text{ мм}$$

Изн. № подл.	Подпись и дата	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19670.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-3.00.00.000 РР			
Лист			
11			

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = (1,623 \cdot 600) / (2 \cdot 163,5 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1,623) + 5,3 = 8,287 \text{ мм}$$

$$8,287 \text{ мм} \leq 12 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 163,5 \cdot 1 \cdot (12 - 5,3) / (600 + 0.5 \cdot (12 - 5,3)) = 3,63 \text{ МПа}$$

$$3,63 \text{ МПа} \geq 1,623 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 2,031 МПа

Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения:

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

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре Т = 20 °С:

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

Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 600^2 / (4 \cdot 150) = 600 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = (2,031 \cdot 600) / (2 \cdot 272,7 \cdot 1 - 0.5 \cdot 2,031) + 5,3 = 7,539 \text{ мм}$$

$$7,539 \text{ мм} \leq 12 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 272,7 \cdot 1 \cdot (12 - 5,3) / (600 + 0.5 \cdot (12 - 5,3)) = 6,057 \text{ МПа}$$

$$6,057 \text{ МПа} \geq 2,031 \text{ МПа}$$

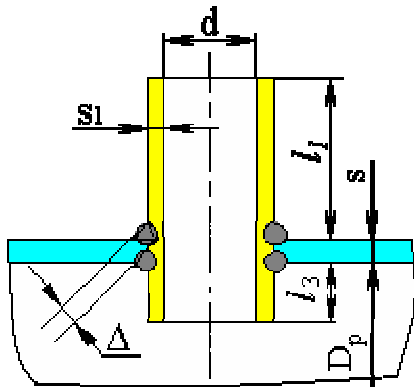
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Изн. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Радиус кривизны в вершине днища:			
					$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 600^2 / (4 \cdot 150) = 600 \text{ мм}$			
					Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:			
					$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = (2,031 \cdot 600) / (2 \cdot 272,7 \cdot 1 - 0.5 \cdot 2,031) + 5,3 = 7,539 \text{ мм}$			
					7,539 мм ≤ 12 мм Заключение: Условие работоспособности выполнено Допускаемое давление:			
Изн. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 272,7 \cdot 1 \cdot (12 - 5,3) / (600 + 0.5 \cdot (12 - 5,3)) = 6,057 \text{ МПа}$			
					6,057 МПа ≥ 2,031 МПа Заключение: Условие прочности выполнено			
					E-3.00.00.000 PP			
							Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

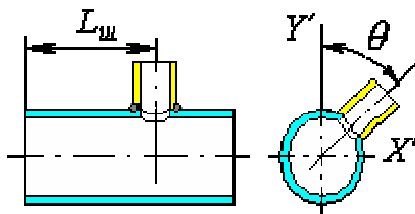
Штуцер Л1, Л3 DN50

Исходные данные

Элемент: Штуцер Л1, Л3 DN50
Условное обозначение (метка) Штуцер Л1
Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая DN600
Тип элемента, несущего штуцер: Штуцер
Тип штуцера: Проходящий без укрепления

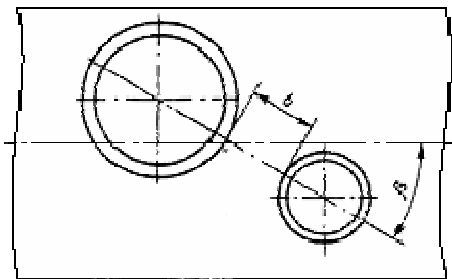


Материал несущего элемента: 09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s: 10 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 3,8 мм
Материал штуцера: 09Г2С (КП245) Gr.
Внутренний диаметр штуцера, d: 48 мм
Толщина стенки штуцера, s₁: 10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с_s: 3 мм
Длина штуцера, l₁: 150 мм



Смещение штуцера, L_ш: 100 мм
Угол поворота штуцера, ϑ : 270 °
Длина внутр. части штуцера, l₃: 0 мм
Прибавка на коррозию, с_{s1}: 0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ: 10 мм
Расчётные параметры размещения штуцера:
Ближайший штуцер

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-3.00.00.000 PP	Лист
19670.4						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Название штуцера: Штуцер Л2, Л4 DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 732 мм

Угол β : 0°

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\wp = 1$$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 600 \text{ mm}$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 100 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,616 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma] = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min(265,5 / 1,6; 425 / 2,6) = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma]_1 = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{210 / 1,6; 385 / 2,6\} = 131,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:

$$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_1 \cdot \phi_1 - p]} = 1,616 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 131,2 \cdot 1 - 1,616) = 0,3344 \text{ mm}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 131,2 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 30,12 \text{ МПа}$$

$$30,12 \text{ МПа} \geq 1,616 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,616 МПа</p> <p>Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007</p> <p><i>Свойства материала элемента, несущего штуцер</i></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре Т = 100 °С (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):</p> <p>$[\sigma] = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:</p> <p>$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> <p><i>Свойства материала штуцера</i></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре Т = 100 °С (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):</p> <p>$[\sigma]_1 = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{210 / 1,6; 385 / 2,6\} = 131,2 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости при температуре 100 °С:</p> <p>$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> <p>Расчётная толщина стенки штуцера:</p> $s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,616 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 131,2 \cdot 1 - 1,616) = 0,3344 \text{ мм}$ <p>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</p> $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 131,2 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 30,12 \text{ МПа}$ <p>$30,12 \text{ МПа} \geq 1,616 \text{ МПа}$</p>
					<p>Изм.</p> <p>Лист</p> <p>№ докум.</p> <p>Подп.</p> <p>Дата</p>

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 600 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 3,018 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((10 - 3,8) / 3,018 - 0,8) \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 153 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 150; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2} \} = 24,3 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 131,2 / 163,5 \} = 0,8029$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{2p} = \min \{ l_2; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 60,99 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Обечайка цилиндрическая):

$$L_k = 66 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 60,99 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 24,4 \text{ мм}$$

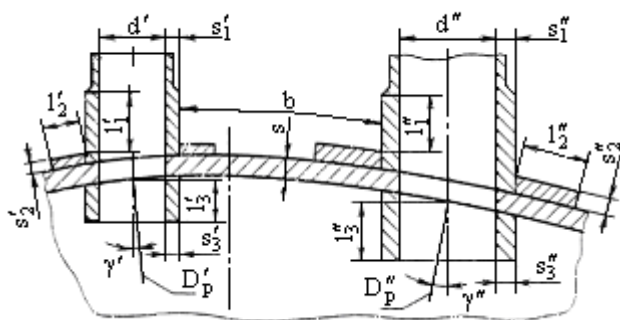
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (24,3 \cdot (10 - 3) \cdot 0,8029 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 0) \cdot 0,8029) / (60,99 \cdot (10 - 3,8))] / [1 + 0,5 \cdot (54 - 24,4) / 60,99 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 600 \cdot 1 / 1 \cdot 24,3 / 60,99] \} = 1,065$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (10 - 3,8) \cdot 1 \cdot 163,5 \cdot 1 / [600 + (10 - 3,8) \cdot 1] = 3,344 \text{ МПа}$$

Инов. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-3.00.00.000 РР					Лист
										15
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Л2, Л4 DN50 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_v' \cdot (s-c)} + \sqrt{D_v'' \cdot (s-c)} = (600 * (10-3,8))^{1/2} + (600 * (10-3,8))^{1/2} = 122 \text{ mm}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 3,344 \text{ МПа}$

$$3,344 \text{ МПа} \geq 1,616 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, Т: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 2,021 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta^* R_{e/20} / n_T = 1 * 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]_{10}^{20} = \eta^* R_{e/20} / n_T = 1 * 245 / 1,1 = 222,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{bp} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_h \cdot \varphi_1 - p]} = 2,021 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 222,7 \cdot 1 - 2,021) = 0,2461 \text{ mm}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 222,7 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 51,12 \text{ МПа}$$

$$51,12 \text{ МПа} \geq 2,021 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 600 \text{ mm}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 2,26 \text{ mm}$$

Инв. № подл.	19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div>Свойства материала элемента, несущего штуцер</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):</div> <div>$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$</div> <div>Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:</div> <div>$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</div>
						<div>Свойства материала штуцера</div> <div>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре T = 20 °С (условия гидроиспытаний):</div> <div>$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 245 / 1,1 = 222,7 \text{ МПа}$</div> <div>Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:</div> <div>$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</div> <div>Расчётная толщина стенки штуцера:</div> <div>$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} = 2,021 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 222,7 \cdot 1 - 2,021) = 0,2461 \text{ мм}$</div> <div>Допускаемое давление для патрубка штуцера:</div> <div>$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 222,7 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 51,12 \text{ МПа}$</div> <div>$51,12 \text{ МПа} \geq 2,021 \text{ МПа}$</div> <div>Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено</div> <div>Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:</div> <div>$D_p = D = 600 \text{ мм}$</div> <div>Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:</div> <div>$s_p = 2,26 \text{ мм}$</div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-3.00.00.000 PP	
					Лист	
					16	

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 2 \cdot ((10-3,8) / 2,26 - 0,8) \cdot (600 \cdot (10-3,8))^{1/2} = 237,1 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_p = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_1-c_s)} \right\} = \min \{ 150; 1,25 \cdot ((48+2 \cdot 3) \cdot (10-3))^{1/2} \} = 24,3 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma_1]}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 222,7 / 272,7 \} = 0,8167$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d+2 \cdot c_s) \cdot (s_3-c_s-c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48+2 \cdot 3) \cdot (10-3-0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (600 \cdot (10-3,8))^{1/2} = 60,99 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Обечайка цилиндрическая):

$$L_k = 66 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 60,99 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

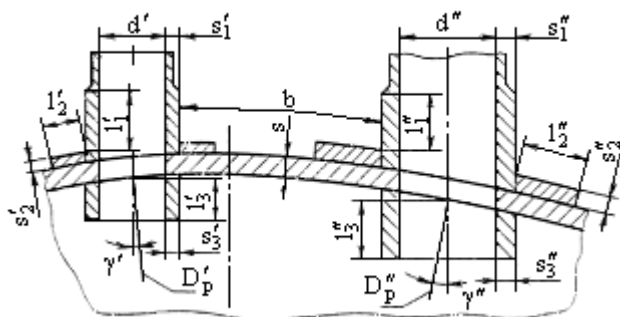
$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0,4 \cdot (600 \cdot (10-3,8))^{1/2} = 24,4 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1-c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3-c_s-c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s-c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d+2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (24,3 \cdot (10-3) \cdot 0,8167 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10-3-0) \cdot 0,8167) / (60,99 \cdot (10-3,8))] / [1 + 0,5 \cdot (54-24,4) / 60,99 + 1 \cdot (48+2 \cdot 3) / 600 \cdot 1 / 1 \cdot 24,3 / 60,99] \} = 1,069$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (10-3,8) \cdot 1 \cdot 272,7 \cdot 1 / [600 + (10-3,8) \cdot 1] = 5,579 \text{ МПа}$$



Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19670.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Л2, Л4 DN50 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p^I \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p^{II} \cdot (s - c)} = (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} + (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 122 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов креплений не требуется.

Допускаемое давление [p] = 5,579 МПа

5,579 МПа ≥ 2,021 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (54 - 24,4) \cdot 2,26 = 0,3345 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 24,3 \cdot (10 - 0,2461 - 3) \cdot 0,8167 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 0) \cdot 0,8167 + 60,99 \cdot (10 - 2,26 - 3,8)$$

$$= 0,3744 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

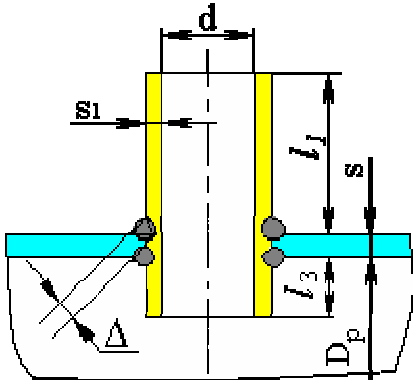
$$A_r = 0,3345 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \leq 0,3744 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Штуцер Л2, Л4 DN50

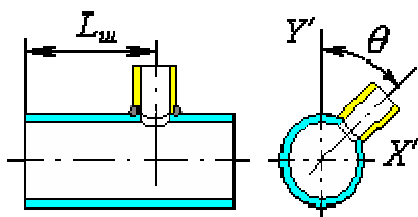
Исходные данные

- Элемент: Штуцер Л2, Л4 DN50
- Условное обозначение (метка) Штуцер Л2
- Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая DN600
- Тип элемента, несущего штуцер: Штуцер
- Тип штуцера: Проходящий без укрепления



- Материал несущего элемента: 09Г2С
- Толщина стенки несущего элемента, s: 10 мм
- Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с: 3,8 мм
- Материал штуцера: 09Г2С (КП245) Gr.
- Внутренний диаметр штуцера, d: 48 мм
- Толщина стенки штуцера, s1: 10 мм
- Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs: 3 мм
- Длина штуцера, l1: 150 мм

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19670.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-3.00.00.000 РР				Лист
				18



Смещение штуцера, $L_{ш}$: 900 мм

Угол поворота штуцера, ϑ : 270 °

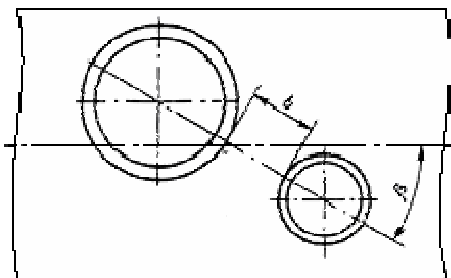
Длина внутр. части штуцера, l_3 : 0 мм

Прибавка на коррозию, c_{s1} : 0 мм

Минимальный размер сварного шва, Δ : 10 мм

Расчётные параметры размещения штуцера:

Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер Л1, Л3 DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b : 732 мм

Угол β : 180 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\phi_l = 1$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\phi = 1$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 600$ мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T : 100 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, p : 1,622 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.

19670.4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Е-3.00.00.000 РР

Лист

19

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma] = \min(R_{eT} / n_T; R_{mT} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma]_1 = \min(R_{eT} / n_T; R_{mT} / n_B) = \min\{210 / 1,6; 385 / 2,6\} = 131,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 - p} = 1,622 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 131,2 \cdot 1 - 1,622) = 0,3357 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 131,2 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 30,12 \text{ МПа}$$

$$30,12 \text{ МПа} \geq 1,622 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 600 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 3,029 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((10 - 3,8) / 3,029 - 0,8) \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 152,1 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{150; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2}\} = 24,3 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min\left\{1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\} = \min\{1,0, 131,2 / 163,5\} = 0,8029$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\{l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})}\} = \min\{0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 0))^{1/2}\} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 60,99 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое DN600):

$$L_k = 91 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 60,99 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

Изн. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$ Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления: $d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((10 - 3,8) / 3,029 - 0,8) \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 152,1 \text{ мм}$ $d_p < d_0$: Условие прочности выполнено Расчётная длина внешней части штуцера: $l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 150; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2} \} = 24,3 \text{ мм}$ <p style="text-align: center;">Отношения допускаемых напряжений</p> Для внешней части штуцера: $\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 131,2 / 163,5 \} = 0,8029$ Расчётная длина внутренней части штуцера: $l_{3p} = \min \{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$ Ширина зоны укрепления: $L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 60,99 \text{ мм}$ Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое DN600): $L_k = 91 \text{ мм}$ Расчётная ширина зоны укрепления: $l_p = L_0 = 60,99 \text{ мм}$ Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

E-3.00.00.000 PP

Лист
20

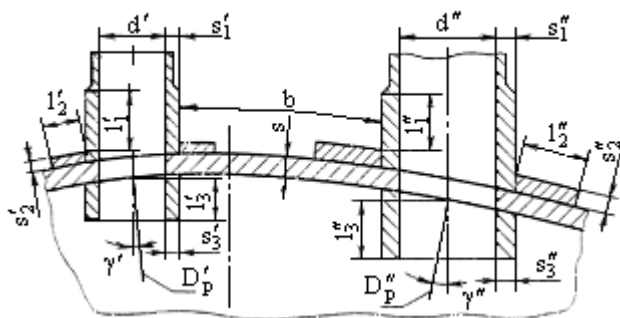
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 24,4 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (24,3 \cdot (10 - 3) \cdot 0,8029 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 0) \cdot 0,8029) / (60,99 \cdot (10 - 3,8))] / [1 + 0.5 \cdot (54 - 24,4) / 60,99 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 600 \cdot 1 / 1 \cdot 24,3 / 60,99] \} = 1,065$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (10 - 3,8) \cdot 1 \cdot 163,5 \cdot 1 / [600 + (10 - 3,8) \cdot 1] = 3,344 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Л1, Л3 DN50 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} + (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 122 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 3,344 \text{ МПа}$

$3,344 \text{ МПа} \geq 1,622 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 2,029 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре T = 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 245 / 1,1 = 222,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

Изн. № подл.	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19670.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата
Е-3.00.00.000 РР			Лист
			21

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 2,029 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 222,7 \cdot 1 - 2,029) = 0,2471 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 222,7 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 51,12 \text{ МПа}$$

$$51,12 \text{ МПа} \geq 2,029 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 600 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 2,268 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((10 - 3,8) / 2,268 - 0,8) \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 235,8 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 150; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2} \} = 24,3 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 222,7 / 272,7 \} = 0,8167$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 60,99 \text{ мм}$$

Расстояние от наружной поверхности штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента (Днище эллиптическое DN600):

$$L_k = 91 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 60,99 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (600 \cdot (10 - 3,8))^{1/2} = 24,4 \text{ мм}$$

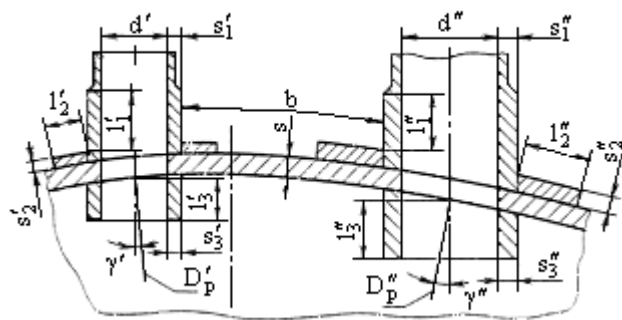
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (24,3 \cdot (10 - 3) \cdot 0,8167 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 0) \cdot 0,8167) / (60,99 \cdot (10 - 3,8))] / [1 + 0,5 \cdot (54 - 24,4) / 60,99 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 600 \cdot 1 / 1 \cdot 24,3 / 60,99] \} = 1,069$$

$$= 1$$

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19670.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-3.00.00.000 РР				Лист
				22

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot \varphi} \cdot \varphi = 2 * 1 * (10 - 3,8) * 1 * 272,7 * 1 / [600 + (10 - 3,8) * 1] = 5,579 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Л1, Л3 DN50 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (600 * (10 - 3,8))^{1/2} + (600 * (10 - 3,8))^{1/2} = 122 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление $[p] = 5,579 \text{ МПа}$

$5,579 \text{ МПа} \geq 2,029 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 * (54 - 24,4) * 2,268 = 0,3358 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 24,3 * (10 - 0,2471 - 3) * 0,8167 + 0 * 0 * 0 + 0 * (10 - 3 - 0) * 0,8167 + 60,99 * (10 - 2,268 - 3,8)$$

$$= 0,3738 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$A_r = 0,3358 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \leq 0,3738 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

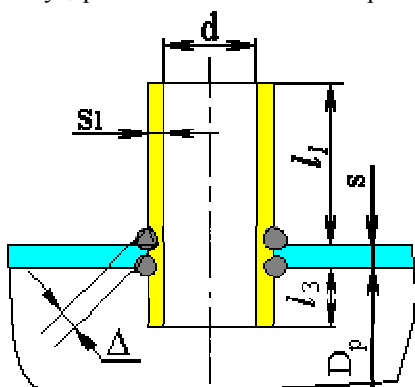
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19670.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-3.00.00.000 РР			
Лист			
23			

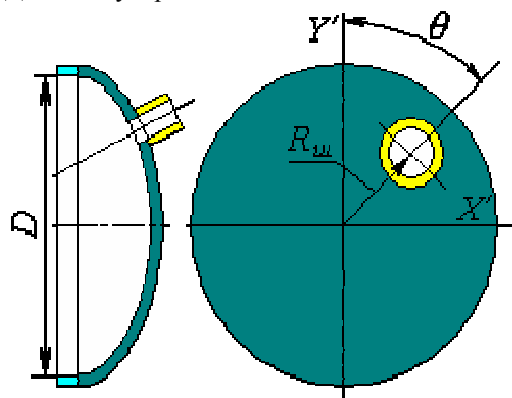
Штуцер М DN50

Исходные данные

Элемент:	Штуцер М DN50
Условное обозначение (метка)	Штуцер М
Элемент, несущий штуцер:	Днище эллиптическое DN600
Тип элемента, несущего штуцер:	Днище эллиптическое
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Материал несущего элемента:	09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s:	12 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	5,3 мм
Материал штуцера:	09Г2С (КП245) Gr.
Внутренний диаметр штуцера, d:	48 мм
Толщина стенки штуцера, s ₁ :	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), с _s :	3 мм
Длина штуцера, l ₁ :	150 мм



Смещение штуцера, $R_{ш}$:	0 мм
Угол поворота штуцера, ϑ :	0 °
Длина внутр. части штуцера, l_3 :	0 мм
Прибавка на коррозию, $c_{с1}$:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ :	10 мм
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов штуцера:	

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 600^2 / (2 \cdot 150) \cdot (1 - 4 \cdot (600^2 - 4 \cdot 150^2) \cdot 0^2 / 600^4)^{1/2} = 1200 \text{ мм}$$

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 100 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,625 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 100 °C (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma] = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{265,5 / 1,6; 425 / 2,6\} = 163,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °C:

$$E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре T = 100 °C (рабочие условия, коррозионная среда, группа аппарата III, IV):

$$[\sigma]_1 = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{210 / 1,6; 385 / 2,6\} = 131,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 100 °C:

$$E_1 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,625 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 131,2 \cdot 1 - 1,625) = 0,3363 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 131,2 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 30,12 \text{ МПа}$$

$$30,12 \text{ МПа} \geq 1,625 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 600^2 / (2 \cdot 150) \cdot (1 - 4 \cdot (600^2 - 4 \cdot 150^2) \cdot 0^2 / 600^4)^{1/2} = 1200 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 2,989 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((12 - 5,3) / 2,989 - 0,8) \cdot (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 258,5 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	зционной среда, группа аппарата III, IV): $[\sigma]_I = \min(R_{e/t} / n_T; R_{m/t} / n_B) = \min\{210 / 1,6; 385 / 2,6\} = 131,2 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости при температуре 100 °С: $E_I = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ Расчётная толщина стенки штуцера: $s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_I \cdot \varphi_1 - p} = 1,625 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 131,2 \cdot 1 - 1,625) = 0,3363 \text{ мм}$ Допускаемое давление для патрубка штуцера: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_I \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 131,2 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 30,12 \text{ МПа}$ $30,12 \text{ МПа} \geq 1,625 \text{ МПа}$ Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища: $D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 600^2 / (2 \cdot 150) \cdot (1 - 4 \cdot (600^2 - 4 \cdot 150^2) \cdot 0^2 / 600^4)^{1/2} = 1200 \text{ мм}$ Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера: $s_p = 2,989 \text{ мм}$ Расчётный диаметр отверстия (ось штуцера совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия): $d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$ Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления: $d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((12 - 5,3) / 2,989 - 0,8) \cdot (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 258,5 \text{ мм}$ $d_p < d_0$: Условие прочности выполнено
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР	
Лист						
25						

$$l_{1p} = \min[l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}] = \min[150; 1.25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2}] = 24,3 \text{ мм}$$

Для внешней части штуцера:

$$x_1 = \min\left\{1,0; \frac{[G]}{[\sigma]}\right\} = \min\{1,0, 131,2 / 163,5\} = 0,8029$$

$$l_{3p} = \min \left[l_3; \quad 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right] = \min \{ 0; 0.5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ mm}$$
$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 89,67 \text{ mm}$$
$$l_p = L_p = 89,67 \text{ mm}$$
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 35,87 \text{ mm}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \lambda_1 + 1_{2p} \cdot s_2 \cdot \lambda_2 + 1_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{sl}) \cdot \lambda_3}{1_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{1_{1p}}{l_p}} \right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (24,3 * (10 - 3) * 0,8029 + 0 * 0 * 0 * (10 - 3 - 0) * 0,8029) / (89,67 * (12 - 5,3))] / [1 + 0,5 * (54 - 35,87) / 89,67 + 2 * (48 + 2 * 3) / 1200 * 1 / 1 * 24,3 / 89,67] = \mathbf{1,091}\}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_n + (s - c) \cdot \varphi} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (12 - 5,3) \cdot 1 \cdot 163,5 \cdot 1 / [1200 + (12 - 5,3) \cdot 1] = 3,63 \text{ МПа}$$

$$3,63 \text{ МПа} \geq 1,625 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$= 1$ $[p]_{\Phi} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot \varphi} \cdot \varphi = 2 * 2 * (12 - 5,3) * 1 * 163,5 * 1 / [1200 + (12 - 5,3) * 1] = 3,63 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое давление [p] = 3,63 МПа 3,63 МПа ≥ 1,625 МПа Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено</p>	
						19670.4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР	Лист
						26

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:

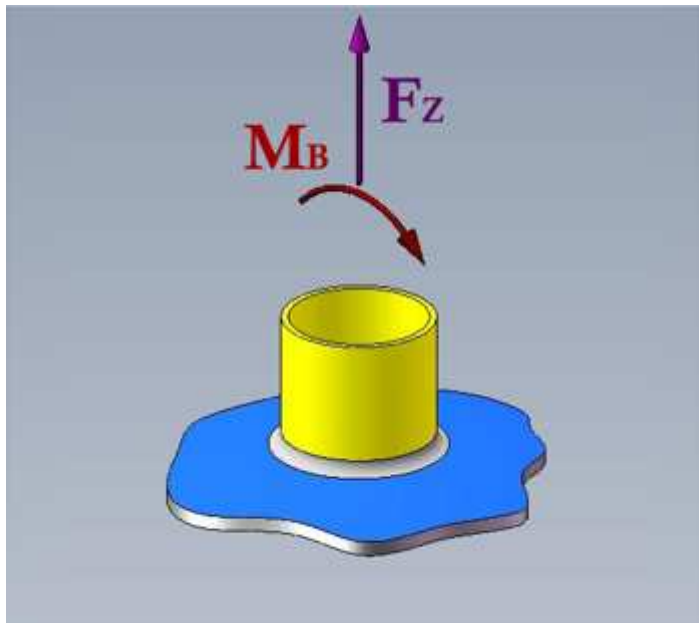
Средний радиус обечайки у отверстия:

Средний диаметр штуцера:

Прочность от действия давления:

$0,4475 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено

Инв. № подл.	19670.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата	
<p>Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:</p> $s_s = s - c = 12 - 5,3 = 6,7 \text{ мм}$ <p>Средний радиус обечайки у отверстия:</p> $R_c = \frac{D^2}{4 \cdot H} + \frac{s}{2} = 600^2 / (4 \cdot 150) + 12 / 2 = 606 \text{ мм}$ <p>Средний диаметр штуцера:</p> $d_c = d + s_1 + c_s = 48 + 10 + 3 = 61 \text{ мм}$ $\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot s_s}} = 61 / (606 \cdot 6,7)^{1/2} = 0,9573$ <p>Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:</p> <p>$b_p = 372,5 \text{ мм}$</p> <p>Прочность от действия давления:</p> $\Phi_p = \left \frac{p}{[p]} \right = 1,625 / 3,63 = 0,4475$ <p>Условие прочности: $\Phi_p \leq 1$</p> <p>$0,4475 \leq 1.0$. Условие прочности выполнено</p> <p style="text-align: center;"><i>Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007</i></p>									
Инв. № подл.		19670.4		Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР				
					Лист 27				



Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-1200) = 1200 \text{ Н}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot (s - c)}} = 61 / (606 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 0,9573$$

$$K_4 = \min \left(\frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot (s_1 - c_s)}{[\sigma] \cdot (s - c)} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}; 1 \right) = \min(2 \cdot 131,2 \cdot (10 - 3) / (163,5 \cdot (12 - 5,3)) \cdot ((10 - 3) / 61)^{1/2}; 1) = 0,5684$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца ($\lambda_s = 0,9573$, $K = 0,5684$):

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2) = 163,5 \cdot (12 - 5,3)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot (1 + 0,5684)^{1/2} \cdot 0,9573 + 0,91 \cdot 0,5684 \cdot 0,9573^2) = 3,795 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |1200 / 3,795 \cdot 10^4| = 0,03162$$

Условие прочности: $\Phi_z \leq 1$

$0,03162 \leq 1,0$. **Условие прочности выполнено**

Приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_b = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = (200^2 + 200^2)^{1/2} = 282,8 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент при отсутствии накладного кольца ($\lambda_s = 0,9573$, $K = 0,5684$):

$$[M_b] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot (4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2) = 163,5 \cdot (12 - 5,3)^2 \cdot 61 / 4 \cdot (4,9 + 2,0 \cdot (1 + 0,5684)^{1/2} \cdot 0,9573 + 0,91 \cdot 0,5684 \cdot 0,9573^2) = 869,7 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

$$\Phi_b = \left| \frac{M_b}{[M_b]} \right| = |282,8 / 869,7| = 0,3252$$

Условие прочности: $\Phi_b \leq 1$

$0,3252 \leq 1,0$. **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\max(|\Phi_p + \Phi_z|; |\Phi_z|; |\Phi_p - 0,2 \cdot \Phi_z|) + \Phi_b = \max(|0,4475 + 0,03162|; |0,03162|; |0,4475 - 0,2 \cdot 0,03162|) + 0,3252 = 0,8044$$

Если $F_z < 0$, то знак Φ_z меняется на противоположный.

Условие прочности: $\max(|\Phi_p + \Phi_z|; |\Phi_z|; |\Phi_p - 0,2 \cdot \Phi_z|) + \Phi_b \leq 1$

$0,8044 \leq 1,0$. **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	19670.4
Подпись и дата	
Взам. инв. №	
Инов. № дубл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 PP	Лист
						28

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = \frac{1,625 \cdot (48 + 10) / (4 \cdot (10 - 3)) + 4 \cdot 282,8 / (3,142 \cdot (48 + 10)^2 \cdot (10 - 3)) + 1200 / (3,142 \cdot (48 + 10) \cdot (10 - 3))}{1} = 19,6 \text{ МПа}$$

Если F_z создает сжимающее напряжение, ее следует принять равной нулю.

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

19,6 МПа \leq 131,2 МПа. **Условие прочности выполнено**

Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 2,033 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре T = 20 °C (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20}_1 = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 245 / 1,1 = 222,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = \frac{2,033 \cdot (48 + 2 \cdot 3)}{2 \cdot 222,7 \cdot 1 - 2,033} = 0,2476 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = \frac{2 \cdot 222,7 \cdot 1 \cdot (10 - 3)}{48 + 10 + 3} = 51,12 \text{ МПа}$$

$$51,12 \text{ МПа} \geq 2,033 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = \frac{600^2}{(2 \cdot 150)} \cdot (1 - 4 \cdot (600^2 - 4 \cdot 150^2) \cdot 0^2 / 600^4)^{1/2} = 1200 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 2,24 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((12 - 5,3) / 2,24 - 0,8) \cdot (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 392,8 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 150; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2} \} = 24,3 \text{ мм}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19670.4					Е-3.00.00.000 РР				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				

Модуль продольной упругости при температуре 20 °С:

$$E_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 2,033 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / (2 \cdot 222,7 \cdot 1 - 2,033) = 0,2476 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 222,7 \cdot 1 \cdot (10 - 3) / (48 + 10 + 3) = 51,12 \text{ МПа}$$

$51,12 \text{ МПа} \geq 2,033 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 600^2 / (2 \cdot 150) \cdot (1 - 4 \cdot (600^2 - 4 \cdot 150^2) \cdot 0^2 / 600^4)^{1/2} = 1200 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$s_p = 2,24 \text{ мм}$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((12 - 5,3) / 2,24 - 0,8) \cdot (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 392,8 \text{ мм}$$

$d_p < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min\{l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)}\} = \min\{150; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3))^{1/2}\} = 24,3 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1, 0; \left[\frac{\sigma}{\sigma} \right] \right\} = \min \{ 1, 0, 222,7 / 272,7 \} = 0,8167$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 3) \cdot (10 - 3 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 89,67 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 89,67 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (1200 \cdot (12 - 5,3))^{1/2} = 35,87 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_p \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{op}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_p}{l_p}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (24,3 \cdot (10 - 3) \cdot 0,8167 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 0) \cdot 0,8167) / (89,67 \cdot (12 - 5,3))] / [1 + 0,5 \cdot (54 - 35,87) / 89,67 + 2 \cdot (48 + 2 \cdot 3) / 1200 \cdot 1 / 1 \cdot 24,3 / 89,67] = 1,094 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (12 - 5,3) \cdot 1 \cdot 272,7 \cdot 1 / [1200 + (12 - 5,3) \cdot 1] = 6,057 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 6,057 \text{ МПа}$

$6,057 \text{ МПа} \geq 2,033 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (54 - 35,87) \cdot 2,24 = 0,2031 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 24,3 \cdot (10 - 0,2476 - 3) \cdot 0,8167 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (10 - 3 - 0) \cdot 0,8167 + 89,67 \cdot (12 - 2,24 - 5,3)$$

$$= 0,5339 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

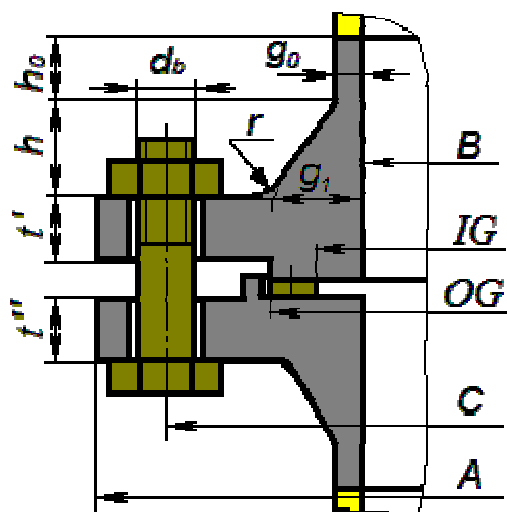
$$A_r = 0,2031 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \leq 0,5339 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	<div style="text-align: right;">Е-3.00.00.000 РР</div>					Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Фланцевое соединение DN50

Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2



Исходные данные

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение: Выступ-впадина

Теплоизоляция: Нет

Свободный/интегральный: -

Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм

Данные первого фланца (кольца):

Смежный элемент: Штуцер М DN50

Материал смежного элемента: 09Г2С (КП245) Gr.

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) Gr.

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 17 мм

Сумма прибавок, с: 3 мм

Внешняя коррозия фланца, с_ф: 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм

Длина конической части втулки, h: 22,5 мм

Длина цилиндрической части втулки, h_0 : 5,5 мм

Толщина цилиндрической части втулки, g_0 : 5 мм

Толщина конической части втулки, g_1 : 14 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

Данные второго фланца (кольца):

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 09Г2С

Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) Gr.

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 17 мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Свободный/интегральный: -
					Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм Данные первого фланца (кольца): Смежный элемент: Штуцер М DN50 Материал смежного элемента: 09Г2С (КП245) Gr. Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) Gr. Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм Толщина фланца (кольца), t: 17 мм Сумма прибавок, с: 3 мм Внешняя коррозия фланца, с _г : 0 мм Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм Длина конической части втулки, h: 22,5 мм Длина цилиндрической части втулки, h ₀ : 5,5 мм Толщина цилиндрической части втулки, g ₀ : 5 мм Толщина конической части втулки, g ₁ : 14 мм Радиус перехода, г: 5 мм Данные второго фланца (кольца): Смежный элемент: Материал смежного элемента: 09Г2С Материал фланца (кольца): 09Г2С (КП245) Gr. Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм Толщина фланца (кольца), t: 17 мм
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
19670.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
					E-3.00.00.000 PP
					Лист
					31

Сумма прибавок, с:	3 мм
Внешняя коррозия фланца, с _г :	0 мм
Внутренний диаметр фланца, В:	48 мм
Длина конической части втулки, h:	22,5 мм
Длина цилиндрической части втулки, h ₀ :	5,5 мм
Толщина цилиндрической части втулки, g ₀ :	5 мм
Толщина конической части втулки, g ₁ :	14 мм
Радиус перехода, r:	5 мм

Шпильки:

Материал:	35Х
Наружный диаметр, d_b :	16 мм
Количество, n :	4
Радиальная коррозия крепежа, c_p :	0 мм

Прокладка:

Материал прокладки:	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали
Толщина, h_n :	2,5 мм
Наружный диаметр, OG:	87 мм
Внутренний диаметр, IG:	72 мм

Расчёт в рабочих условиях

Условия нагружения:

Расчётное осевое растягивающее усилие, F:	1200 Н
Расчётный изгибающий момент, M:	282,8 Н м
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,625 МПа
Расчётная температура элементов соединения:	
Температура фланца (кольца), t_f :	96 °С
Температура фланца (кольца), t_{ϕ} :	96 °С
Температура болтов (шпилек), t_b :	85 °С

Свойства материала болтов (шпилек)

Допускаемые напряжения для материала 35Х при температуре $T = 85^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 572 / 1,5; 726 / 5) = 145,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 35Х при температуре $T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_6 = 2,106 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 35Х при температуре $T = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_6 = 0,1178 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 35Х при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_a = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e^{20} / n_T\} = \min(590/4; 736/5; 590/1,5) = 147,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 35Х при температуре $T = 20^\circ\text{C}$:

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

Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер М DN50

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{no1}} = \min(R_{\text{e/t}} / n_{\text{T}}; R_{\text{m}}^{20} / n_{\text{B}}) = \min\{210/1,5; 440/2,4\} = 140 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{ngl} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Расчётный изгибающий момент, М: 282,8 Н м</p> <p>Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,625 МПа</p> <p>Расчётная температура элементов соединения:</p> <p>Температура фланца (кольца), $t_{\text{ф}}$: 96 °С</p> <p>Температура фланца (кольца), $t_{\text{ф}}$: 96 °С</p> <p>Температура болтов (шпилек), $t_{\text{б}}$: 85 °С</p> <p>Свойства материала болтов (шпилек)</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 35Х при температуре $T = 85$ °С (рабочие условия):</p> $S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 572 / 1,5; 726 / 5) = 145,2 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 35Х при температуре $T = 85$ °С:</p> $E_{\text{б}} = 2,106 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <p>Коэффициент линейного расширения для материала 35Х при температуре $T = 85$ °С:</p> $\alpha_{\text{б}} = 0,1178 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$ <p>Допускаемые напряжения для материала 35Х при температуре $T = 20$ °С (рабочие условия):</p> $S_a = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e^{20} / n_T\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 590 / 1,5) = 147,2 \text{ МПа}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 35Х при температуре $T = 20$ °С:</p> $E_{\text{б}}^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ <p>Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер М DN50</p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 100$ °С (рабочие условия):</p> $S_{\text{но1}} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min(210 / 1,5; 440 / 2,4) = 140 \text{ МПа}$ <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20$ °С (рабочие условия):</p> $S_{\text{нг1}} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min(245 / 1,5; 440 / 2,4) = 163,3 \text{ МПа}$
					<div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div> <div>19670.4</div> <div>Е-3.00.00.000 РР</div> </div> </div>

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{nO_2} = 177,9 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{ng2} = 196 \text{ MPa}$$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{f01} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{211,7 / 1,5; 440 / 2,4\} = 141,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_1 = 1,914 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_1 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{\text{gr}} = \min(R_{\text{eff}} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20^\circ\text{C}$:

$$E^{20}_1 = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{fo2} = \min(R_{e/t} / n_T; R_m^{20} / n_R) = \min\{211,7 / 1,5; 440 / 2,4\} = 141,2 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E_2 = 1.914 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 96\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\alpha_2 = 0,116 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рабочие условия):

$$S_{g2} = \min(R_{ef} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min\{245 / 1,5; 440 / 2,4\} = 163,3 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$E^{20}_\gamma = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$R = R + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ mm}$$

Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):

$$g_0 = g_0 - c = 5 - 3 = 2 \text{ mm}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$g_1 = g_1 - c = 14 - 3 = 11 \text{ mm}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

$$t = t - c_f = 17 - 0 = 17 \text{ mm}$$

Расчётные параметры второго фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$R = R + 2 \cdot r = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ mm}$$

Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):

$$g_0 = g_0 - c = 5 - 3 = 2 \text{ mm}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$B_1 = B_1 - c = 14 - 3 = 11 \text{ mm}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ (рабочие условия):</p> <p>$\sigma_{22} = \min(R_{eT} / n_T; R_m^{20} / n_B) = \min(245 / 1,5; 440 / 2,4) = 163,3 \text{ МПа}$</p> <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С (КП245) Gr. при температуре $T = 20^\circ\text{C}$:</p> <p>$E^{20}_{22} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$</p> <p style="text-align: center;">Расчётные параметры первого фланца:</p> <p>Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):</p> <p>$B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$</p> <p>Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):</p> <p>$\xi_0 = \xi_0 - c = 5 - 3 = 2 \text{ мм}$</p> <p>Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:</p> <p>$\xi_1 = \xi_1 - c = 14 - 3 = 11 \text{ мм}$</p> <p>Толщина фланца, с учетом коррозии:</p> <p>$t = t - c_f = 17 - 0 = 17 \text{ мм}$</p> <p style="text-align: center;">Расчётные параметры второго фланца:</p> <p>Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):</p> <p>$B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 3 = 54 \text{ мм}$</p> <p>Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):</p> <p>$\xi_0 = \xi_0 - c = 5 - 3 = 2 \text{ мм}$</p> <p>Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:</p> <p>$\xi_1 = \xi_1 - c = 14 - 3 = 11 \text{ мм}$</p> <p>Толщина фланца, с учетом коррозии:</p>	Лист
19670.4					E-3.00.00.000 PP	33
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

t = t - c_f = 17 - 0 = 17 мм

Характеристики прокладки:

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент, m	Давление обжатия, у, МПа	Допускаемое удельное давление [q], МПа	Коэффициент обжатия К	Условный модуль сжатия E_n, МПа
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b_0, на основании возможной контактной ширины прокладки:

N = (OG - IG) / 2 = (87 - 72) / 2 = 7,5 мм

Базовая контактная ширина прокладки:

b_0 = N / 2 = 7,5 / 2 = 3,75 мм

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:
Если b_0 ≤ 6 мм, G равно среднему диаметру контактирующей поверхности прокладки.

G = (OG + max{B', B'', IG}) / 2 = (87 + max{48; 48; 72}) / 2 = 79,5 мм

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b_0, на основании возможной контактной ширины прокладки:

N = (OG - IG) / 2 = (87 - 72) / 2 = 7,5 мм

Базовая контактная ширина прокладки:

b_0 = N / 2 = 7,5 / 2 = 3,75 мм

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:
Если b_0 ≤ 6 мм, G равно среднему диаметру контактирующей поверхности прокладки.

G = (OG + max{B', B'', IG}) / 2 = (87 + max{48; 48; 72}) / 2 = 79,5 мм

Эффективная контактная ширина прокладки:

b = { b_0, если b_0 ≤ 6 мм; 2.5 * sqrt(b_0), если b_0 > 6 мм } = 3,75 мм

Расчёт нагрузок

Проектная болтовая нагрузка для рабочих условий (для самоуплотняющихся прокладок):

W_0 = 0.785 * G^2 * p + 2 * b * pi * G * m * p = 0.785 * 79,5^2 * 1,625 + 2 * 3,75 * 3,142 * 79,5 * 3 * 1,625 = 1,72 * 10^4 Н

Величина растягивающей внешней силы:

F_A = 1200 Н

Сжимающими нагрузками пренебрегают, и в этом случае F_A приравнивается нулю.
Внешний изгибающий момент:

M_E = 282,8 Н м

W_с = pi * b * G * y = 3,142 * 3,75 * 79,5 * 69 = 6,462 * 10^4 Н

Общая расчетная площадь сечения болтов:

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Е-3.00.00.000 РР					Лист
19670.4										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$A_m = \max \left[\frac{W_0 + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{b0}}; \frac{W_E}{S_{bg}} \right] = \max[(1,72 \cdot 10^4 + 1200 + 4 \cdot 282,8 / 79,5) / 145,2; 6,462 \cdot 10^4 / 147,2] = 0,439 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Диаметр сечения болта (шпильки) с учетом коррозии:

$$d_{bc} = 16 \text{ мм}$$

Площадь сечения болта (шпильки) (по внутреннему диаметру резьбы с учетом коррозии):

$$f_0 = 0,144 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или минимальному диаметру стержня:

$$A_b = n \cdot f_b = 4 \cdot 0,144 \cdot 10^{-3} = 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Расчёт болтов(шпилек):

Условие прочности болтов:

$$A_m \leq A_b$$

$$0,439 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Условие прочности выполнено

Расчёт напряжений первого фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p = 0,785 \cdot 54^2 \cdot 1,625 = 3721 \text{ Н}$$

Плечо момента для силы H_D (фланцы интегрального типа, или другие, рассчитываемые аналогично):

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 54 - 11) / 2 = 30 \text{ мм}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot p = 0,785 \cdot 79,5^2 \cdot 1,625 = 8064 \text{ Н}$$

Разница между общей равнодействующей давления и равнодействующей на внутренней поверхности фланца:

$$H_T = H - H_D = 8064 - 3721 = 4343 \text{ Н}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C - G}{2} = (125 - 79,5) / 2 = 22,75 \text{ мм}$$

Плечо для нагрузки H_T (интегральные фланцы, а также иные, рассчитываемые аналогично):

$$h_T = \frac{1}{2} \left[\frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(125 - 54) / 2 + 22,75] = 29,13 \text{ мм}$$

Нагрузка на прокладку (разница между проектной болтовой нагрузкой и равнодействующей давления), в рабочих:

$$H_G = W_0 - H = 1,72 \cdot 10^4 - 8064 = 9134 \text{ Н}$$

Болтовой интервал:

$$B_s = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 \cdot 125 / 4 = 98,17 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_b = 16 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{sc} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_s}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 17))^{1/2} \} = 1,415$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 11 / 2 = 5,5$$

Коэффициент

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (54 \cdot 2)^{1/2} = 10,39 \text{ мм}$$

Изн. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Е-3.00.00.000 PP					Лист
										35
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$x_h = \frac{h}{h_o} = 22,5 / 10,39 = 2,165$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,4625$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,4625 / 10,39 = 0,04450 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 54 = 2,963$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,963^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,963) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 2,963^2) \cdot (2,963 - 1)) = 1,214$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,963^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,963) - 1) / (1,36136 \cdot (2,963^2 - 1) \cdot (2,963 - 1)) = 2,078$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2,078 / 0,01481 \cdot 10,39 \cdot 2^2 = 0,5833 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (17 \cdot 0,04450 + 1) / 1,214 + 17^3 / 0,5833 \cdot 10^{-5} = 2,289$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,289 \cdot 2 \cdot 10,39 \cdot 54 / 0,01481 = 0,3032 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{wg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (2 + 11) = 6,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 54) = 53 \text{ мм}$$

Так как $t \geq G_{wg}$,

$$A_A = A_R = 53 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 17 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = (A_A \cdot B_B^3) \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (53 \cdot 17^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (17/53) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{17/53\}^4)] = 0,6927 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 22,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{wg} = 6,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = (C_C \cdot D_{DG}^3) \cdot \left[\frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 \cdot 6,5^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (6,5/22,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot \{6,5/22,5\}^4)] = 0,1854 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,6927 \cdot 10^{-7} + 0,1854 \cdot 10^{-9} = 0,6946 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{os} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 282,8 \cdot [0,3032 \cdot 10^{-7} / (0,3846 \cdot 0,6946 \cdot 10^{-7} + 0,3032 \cdot 10^{-7})] \cdot [30 / (125 - 2 \cdot 30)] + 1200 \cdot 30 = 313,6 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Инов. № подл.	19670.4	Подпись и дата			
		Инов. № дубл.			
Инов. № подл.	19670.4	Взам. инв. №			
		Подпись и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 PP
					Лист 36

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = \left[(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{sc} + M_{oe} \right] \cdot F_s / H_m = [(3721 \cdot 30 + 4343 \cdot 29,13 + 9134 \cdot 22,75) \cdot 1,415 + 313,6] \cdot 1 = 944,8 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 944,8 / (2,289 \cdot 11^2 \cdot 54) = 63,18 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1,5 \cdot S_b; 2,5 \cdot S_{no} \}$$

$$\min \{ 1,5 \cdot S_b; 2,5 \cdot S_{no} \} = \min \{ 1,5 \cdot 141,2; 2,5 \cdot 140 \} = 211,7 \text{ МПа}$$

63,18 МПа ≤ 211,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04450 + 1) \cdot 944,8 / (2,289 \cdot 17^2 \cdot 54) = 53,06 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_b$$

53,06 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,963 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 2,963^2 \cdot \lg 2,963 / (2,963^2 - 1)) = 1,891$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,963^2 + 1) / (2,963^2 - 1) = 1,257$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,891 \cdot 944,8 / (17^2 \cdot 54) - 1,257 \cdot 53,06 = 47,77 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_b$$

47,77 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (63,18 + 53,06) / 2 = 58,12 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_b$$

58,12 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (63,18 + 47,77) / 2 = 55,47 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_b$$

55,47 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_g = \left(\frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,439 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 7,471 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_g = \frac{W_g \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 7,471 \cdot 10^{-4} \cdot (125 - 79,5) \cdot 1,415 \cdot 1 / 2 = 2406 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

Изнв. № подл.	Изнв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19670.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-3.00.00.000 РР			
Лист 37			

$$0,3271 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

Расчёт напряжений второго фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 \cdot 54^2 \cdot 1.625 = 3721 \text{ Н}$$

Плечо момента для силы H_D (фланцы интегрального типа, или другие, рассчитываемые аналогично):

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 54 - 11) / 2 = 30 \text{ мм}$$

Разница между общей равнодействующей давления и равнодействующей на внутренней поверхности фланца:

$$H_T = H - H_D = 8064 - 3721 = 4343 \text{ Н}$$

Плечо для нагрузки H_T (интегральные фланцы, а также иные, рассчитываемые аналогично):

$$h_T = \frac{1}{2} \left[\frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(125 - 54) / 2 + 22.75] = 29,13 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{sc} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_s}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 17))^{1/2} \} = 1,415$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 11 / 2 = 5,5$$

Коэффициент

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (54 \cdot 2)^{1/2} = 10,39 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 22,5 / 10,39 = 2,165$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,4625$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,4625 / 10,39 = 0,04450 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 54 = 2,963$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{(1.0472 + 1.9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,963^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 2,963) - 1) / ((1.0472 + 1.9448 \cdot 2,963^2) \cdot (2,963 - 1)) = 1,214$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{1.36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,963^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 2,963) - 1) / (1.36136 \cdot (2,963^2 - 1) \cdot (2,963 - 1)) = 2,078$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2,078 / 0,01481 \cdot 10,39 \cdot 2^2 = 0,5833 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (17 \cdot 0,04450 + 1) / 1,214 + 17^3 / 0,5833 \cdot 10^{-5} = 2,289$$

Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой):

$$I = \frac{0.0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0.0874 \cdot 2,289 \cdot 2 \cdot 10,39 \cdot 54 / 0,01481 = 0,3032 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{\omega g} = 0.5 \cdot (g_0 + g_1) = 0.5 \cdot (2 + 11) = 6,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0.5 \cdot (A - B) = 0.5 \cdot (160 - 54) = 53 \text{ мм}$$

Изн. № подл. 19670.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5): F = 0,4625 Расчетные коэффициенты: $e = \frac{F}{h_o} = 0,4625 / 10,39 = 0,04450 \text{ 1/мм}$ $K = \frac{A}{B} = 160 / 54 = 2,963$ $T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,963^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,963) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 2,963^2) \cdot (2,963 - 1)) = 1,214$ $U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,963^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,963) - 1) / (1,36136 \cdot (2,963^2 - 1) \cdot (2,963 - 1)) = 2,078$ Коэффициент d для интегральных фланцев: $d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 = 2,078 / 0,01481 \cdot 10,39 \cdot 2^2 = 0,5833 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ $L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (17 \cdot 0,04450 + 1) / 1,214 + 17^3 / 0,5833 \cdot 10^{-5} = 2,289$ Момент инерции сечения фланца при изгибе (интегральные фланцы с втулкой): $I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_o^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,289 \cdot 2 \cdot 10,39 \cdot 54 / 0,01481 = 0,3032 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$ $G_{\text{шг}} = 0,5 \cdot (g_o + g_1) = 0,5 \cdot (2 + 11) = 6,5 \text{ мм}$ $A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 54) = 53 \text{ мм}$	
Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР	Лист
						39

Так как $t \geq G_{\text{avg}}$,

$$A_A = A_R = 53 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 17 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left(A_A \cdot B_B^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left(\frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (53 \cdot 17^3) \cdot [1/3 - 0.21 \cdot (17/53) \cdot (1 - 1/12 \cdot (17/53)^4)] = 0,6927 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 22,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{avg}} = 6,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left(C_C \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[\frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left(\frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 \cdot 6,5^3) \cdot [1/3 - 1.05 \cdot (6,5/22,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot (6,5/22,5)^4)] = 0,1854 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$$

Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,6927 \cdot 10^{-7} + 0,1854 \cdot 10^{-9} = 0,6946 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[\frac{I}{0.3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[\frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 282,8 \cdot [0,3032 \cdot 10^{-7} / (0.3846 \cdot 0,6946 \cdot 10^{-7} + 0,3032 \cdot 10^{-7})] \cdot [30 / (125 - 2 \cdot 30)] + 1200 \cdot 30 = 313,6 \text{ Н м}$$

Изгибающий момент в рабочих условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{sc} + M_{oe}] \cdot F_s = [(3721 \cdot 30 + 4343 \cdot 29,13 + 9134 \cdot 22,75) \cdot 1,415 + 313,6] \cdot 1 = 944,8 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в рабочих условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 944,8 / (2,289 \cdot 11^2 \cdot 54) = 63,18 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1.5 \cdot S_B; 2.5 \cdot S_{mo} \}$$

$$\min \{ 1.5 \cdot S_B; 2.5 \cdot S_{mo} \} = \min \{ 1.5 \cdot 141,2; 2.5 \cdot 177,9 \} = 211,7 \text{ МПа}$$

63,18 МПа ≤ 211,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 17 \cdot 0,04450 + 1) \cdot 944,8 / (2,289 \cdot 17^2 \cdot 54) = 53,06 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_B$$

53,06 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left(0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,963 - 1) \cdot (0.66845 + 5.7169 \cdot 2,963^2 \cdot \lg 2,963 / (2,963^2 - 1)) = 1,891$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,963^2 + 1) / (2,963^2 - 1) = 1,257$$

Касательные напряжения во фланце, рабочие условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,891 \cdot 944,8 / (17^2 \cdot 54) - 1,257 \cdot 53,06 = 47,77 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_B$$

47,77 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

Изнв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изнв. № дубл.	Подпись и дата	
19670.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Е-3.00.00.000 РР					Лист
					40

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (63,18 + 53,06) / 2 = 58,12 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\phi}$$

58,12 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (63,18 + 47,77) / 2 = 55,47 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\phi}$$

55,47 МПа ≤ 141,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 7,471 \cdot 10^4 \cdot (125 - 79,5) \cdot 1,415 \cdot 1 / 2 = 2406 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2406 / (2,289 \cdot 11^2 \cdot 54) = 160,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\xi}; 2,5 \cdot S_{ng}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi}; 2,5 \cdot S_{ng}\} = \min\{1,5 \cdot 163,3; 2,5 \cdot 196\} = 245 \text{ МПа}$$

160,9 МПа ≤ 245 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04450 + 1) \cdot 2406 / (2,289 \cdot 17^2 \cdot 54) = 135,1 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\xi}$$

135,1 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,891 \cdot 2406 / (17^2 \cdot 54) - 1,257 \cdot 135,1 = 121,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\xi}$$

121,6 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (160,9 + 135,1) / 2 = 148 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\xi}$$

148 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (160,9 + 121,6) / 2 = 141,3 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\xi}$$

141,3 МПа ≤ 163,3 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие прочности выполнено

Жесткость фланца

Изнв. № подл.	19670.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Изнв. № дубл.		Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР				Лист
									41

- для рабочих условий:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, рабочие условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot \psi \cdot M_o}{L \cdot E_{\text{фл}} \cdot \xi_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0,01481 * 944,8) / (2,289 * 1,914 \cdot 10^5 * 2^2 * 0,3 * 10,39) = 0,1335$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,1335 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot \psi \cdot M_{\xi}}{L \cdot E_{\text{фл}} \cdot \xi_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0,01481 * 2406) / (2,289 * 1,99 \cdot 10^5 * 2^2 * 0,3 * 10,39) = 0,3271$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,3271 \leq 1.0$$

Условие жёсткости выполнено

Инв. № подл.	19670.4	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
								</			

Список литературы

- 1) ASME VIII, Div 2, 2013.
- 2) 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 обечайек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 3) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 4) ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечайек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19670.4									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-3.00.00.000 РР				
					Лист				
					43				