

АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»



ОАО "Славнефть-ЯНОС"

Установка 25/7 Цех №5

ЕМКОСТЬ

Е-14

Расчеты

Е-14.00.00.000 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
19663.4				

## Оглавление

Расчёт на прочность сосуда.....	4
Сводные таблицы .....	5
Основные элементы .....	5
Результаты расчета .....	5
Штуцера .....	6
Результаты расчета .....	6
Определение давления испытания .....	8
Расчет давления испытания в соответствии с ГОСТ Р 52630-2012.....	8
Проверка необходимости проведения расчетов на прочность в условиях испытания .....	8
Определение периода собственных колебаний по методу Рэлея .....	9
Расчёт ветровых нагрузок .....	14
Расчёт по ГОСТ Р 51273-99 .....	14
Расчёт суммарных нагрузок .....	19
Опора колонного аппарата .....	24
Опорная обечайка .....	24
Расчёт в расчётных условиях .....	24
Расчёт в расчётных условиях (наружное давление).....	26
Расчёт в условиях испытаний .....	27
Цилиндрический участок опоры .....	29
Расчётные условия .....	29
Расчётные условия (наружное давление).....	30
Условия испытаний.....	31
Переходный участок опоры .....	33
Расчётные условия .....	33
Расчёт допускаемой температуры в месте стыка переходной и опорной обечаек по АТК 24.200.04-90 .....	34
Расчётные условия (наружное давление).....	35
Расчёт допускаемой температуры в месте стыка переходной и опорной обечаек по АТК 24.200.04-90 .....	36
Условия испытаний.....	36
Группа патрубков элемента 'Опора колонного аппарата'.....	38
Группа патрубков.....	38
Опорный узел элемента 'Опора колонного аппарата'.....	39
Расчёт опорного узла по ГОСТ Р 51274-99 .....	39
Нагрузки на фундамент .....	48
Днище эллиптическое.....	49
Расчёт в расчётных условиях .....	49
Расчёт в расчётных условиях (наружное давление).....	50
Обечайка цилиндрическая.....	52
Расчёт в расчётных условиях .....	52
Расчёт в расчётных условиях (наружное давление).....	55
Штуцер П DN600 .....	59
Расчёт в расчётных условиях .....	60
Штуцер А DN200 .....	63
Расчёт в расчётных условиях .....	64
Штуцер Б DN200.....	70
Расчёт в расчётных условиях .....	71
Штуцер Г DN150.....	77
Расчёт в расчётных условиях .....	78
Штуцер В DN100 .....	83
Расчёт в расчётных условиях .....	84
Штуцер Е DN100.....	90
Расчёт в расчётных условиях .....	91
Расчет на прочность по МКЭ в расчётных условиях.....	94
Штуцер Л1 DN80 .....	98
Расчёт в расчётных условиях .....	99

Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Группа патрубков элемента 'Опора колонного аппарата'.....38													
			Группа патрубков.....38													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Опорный узел элемента 'Опора колонного аппарата' .....39													
			Расчёт опорного узла по ГОСТ Р 51274-99 .....39													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Нагрузки на фундамент .....48													
			Днище эллиптическое.....49													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....49													
			Расчёт в расчётных условиях (наружное давление).....50													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Обечайка цилиндрическая.....52													
			Расчёт в расчётных условиях .....52													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях (наружное давление).....55													
			Штуцер П DN600 .....59													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....60													
			Штуцер А DN200 .....63													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....64													
			Штуцер Б DN200.....70													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....71													
			Штуцер Г DN150.....77													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....78													
			Штуцер В DN100 .....83													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....84													
			Штуцер Е DN100.....90													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт в расчётных условиях .....91													
			Расчет на прочность по МКЭ в расчётных условиях .....94													
Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Штуцер Л1 DN80 .....98													
			Расчёт в расчётных условиях .....99													
			2	Все	б/н	<i>Иванов</i>	14.04.16	Е-14.00.00.000 РР								
			1	Все	б/н	<i>Иванов</i>	28.03.16									
			Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата									
Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Разраб.		Иванов		<i>Иванов</i>	03.2016	Емкость Е-14		Лит.		Лист		Листов	
			Пров.		Монахова		<i>Монахова</i>	03.2016			Т		2		226	
			Рук.								АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»					
			Н.контр.		Копчикова		<i>Копчикова</i>	03.2016								
			Утв.													
									Расчеты							

Е-14.00.00.000 РР

Емкость Е-14

Расчеты

Лит. Лист Листов  
Т 2 226  
АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»

Штуцер Л2 DN80 .....	102
Расчёт в расчётных условиях .....	103
Штуцер Л3 DN80 .....	106
Расчёт в расчётных условиях .....	107
Штуцер Д DN50 .....	110
Расчёт в расчётных условиях .....	111
Штуцер Ж DN50.....	117
Расчёт в расчётных условиях .....	118
Расчет на прочность по МКЭ в расчётных условиях .....	120
Штуцер К DN50 .....	125
Расчёт в расчётных условиях .....	126
Штуцер М DN50.....	129
Расчёт в расчётных условиях .....	130
Отвод DN150 .....	133
Расчёт прочности отвода по СА 03-003-07 .....	133
Расчёт в расчётных условиях .....	133
Патрубок DN150 .....	135
Расчёт в расчётных условиях .....	135
Фланец DN600 с крышкой .....	138
Расчёт на прочность по ГОСТ Р 52857.4-2007 и ГОСТ Р 52857.2-2007.....	138
Расчёт в расчётных условиях .....	139
Фланцевое соединение DN200.....	151
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	151
Расчёт в расчётных условиях .....	152
Фланцевое соединение DN150.....	160
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	160
Расчёт в расчётных условиях .....	161
Фланцевое соединение DN100.....	169
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	169
Расчёт в расчётных условиях .....	170
Фланцевое соединение DN80.....	178
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	178
Расчёт в расчётных условиях .....	179
Фланцевое соединение DN50.....	190
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	190
Расчёт в расчётных условиях .....	191
Фланцевое соединение DN50-M33x2.....	202
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	202
Расчёт в расчётных условиях .....	203
Фланцевое соединение DN50-Rc1/2.....	214
Расчёт на прочность и герметичность по ASME VIII-2.....	214
Расчёт в расчётных условиях .....	215
Список литературы .....	226

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP				
					Лист				
					3				

**Расчёт на прочность сосуда**

Наименование аппарата	Емкость Е-14
Название установки:	Установка 25/7 Цех №5
Наименование объекта:	ОАО "Славнефть-ЯНОС"
Сосуд, содержащий рабочую жидкость:	Да
Вид испытаний:	Гидроиспытания
Пробное давление:	2,3 МПа
Учёт сейсмических нагрузок:	Нет

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата				Инов. № дубл.	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP		Лист
							4

**Сводные таблицы**

**Основные элементы**

**Исходные данные**

Элемент	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина (высота), мм	Суммарная прибавка, мм	Коэфф. прочности сварного шва
Днище эллиптическое	12X18H10T	3000	25	855	5,55	1
Обечайка цилиндрическая	12X18H10T	3000	22	9760	1	1

**Результаты расчета**

**Расчётные условия**

Элемент	Расчетная температура, °C	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое	200	1,686	160	21,4	2,068	выполнено
Обечайка цилиндрическая	200	1,68	160	16,83	2,224	выполнено

**Расчётные условия (наружное давление)**

Элемент	Расчетная температура, °C	Расчетное давление, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Расчетная толщина с уч. прибавок, мм	Допускаемое давление, МПа	Условие прочности
Днище эллиптическое	180	(-0,1000)	163	11,68	0,9109	выполнено
Обечайка цилиндрическая	180	(-0,1000)	163	16,86	0,2015	выполнено

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
Подпись и дата	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
	Дата

# Штуцера

## Исходные данные

Элемент	Метка	Тип	Материал	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Суммарная прибавка, мм
Штуцер Г DN150	Штуцер Г	Проходящий с накладным кольцом	12X18H10T	144	12	2,8
Штуцер А DN200	Штуцер А	Проходящий без укрепления	12X18H10T	200	14	3,1
Штуцер П DN600	Штуцер П	Проходящий с накладным кольцом	12X18H10T	600	16	1,8
Штуцер Б DN200	Штуцер Б	Проходящий без укрепления	12X18H10T	200	14	3,1
Штуцер Д DN50	Штуцер Д	Проходящий без укрепления	12X18H10T	48	14	1
Штуцер К DN50	Штуцер К	Проходящий без укрепления	12X18H10T	48	14	1
Штуцер В DN100	Штуцер В	Проходящий без укрепления	12X18H10T	97	12	2,8
Штуцер Ж DN50	Штуцер Ж	Проходящий без укрепления	12X18H10T	48	14	1
Штуцер М DN50	Штуцер М	Проходящий без укрепления	12X18H10T	48	14	1
Штуцер Л1 DN80	Штуцер Л1	Проходящий без укрепления	12X18H10T	80	16	1
Штуцер Е DN100	Штуцер Е	Проходящий с накладным кольцом	12X18H10T	97	12	2,8
Штуцер Л2 DN80	Штуцер Л2	Проходящий без укрепления	12X18H10T	80	16	1
Штуцер Л3 DN80	Штуцер Л3	Проходящий без укрепления	12X18H10T	80	16	1

## Результаты расчета

### Расчётные условия

Элемент	Расчетная температура, °C	Расчетное давление, МПа	Условие прочности
Штуцер Г DN150	200	1,687	выполнено
Штуцер А DN200	200	1,661	выполнено
Штуцер П DN600	200	1,679	выполнено
Штуцер Б DN200	200	1,677	выполнено
Штуцер Д DN50	200	1,679	выполнено
Штуцер К DN50	200	1,677	выполнено
Штуцер В DN100	200	1,602	выполнено
Штуцер Ж DN50	200	1,603	выполнено

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	Лист
						6

Штуцер М DN50	200	1,602	выполнено
Штуцер Л1 DN80	200	1,604	выполнено
Штуцер Е DN100	200	1,602	выполнено
Штуцер Л2 DN80	200	1,604	выполнено
Штуцер Л3 DN80	200	1,604	выполнено

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Е-14.00.00.000 РР				

Лист
7

### Определение давления испытания

## Расчет давления испытания в соответствии с ГОСТ Р 52630-2012

## Расчетные условия

Допускаемые напряжения для материала корпуса при температуре 20 °С	$[\sigma]^{20} =$	184	МПа
Допускаемые напряжения для материала корпуса при расчетной температуре	$[\sigma]^t =$	160	МПа
Расчетное давление	$P_p =$	1,6	МПа
Расчетное давление гидроиспытания, вычисленное по ГОСТ Р 52630-2012 п.8.11.3	$P_{гн} = 1,25 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$	2,3	МПа

### Расчетные условия (наружное давление)

Допускаемые напряжения для материала корпуса при температуре 20 °С	$[\sigma]^{20} =$	184	МПа
Допускаемые напряжения для материала корпуса при расчетной температуре	$[\sigma]^t =$	163	МПа
Расчетное давление	$P_p =$	0,1	МПа
Расчетное давление гидроиспытания, вычисленное по ГОСТ Р 52630-2012 п.8.11.3	$P_{гг} = 1,25 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$	0,14	МПа

Пробное давление для испытания сосуда, предназначенного для работы в условиях нескольких режимов с различными расчетными параметрами (давлениями и температурами), принимается равным максимальному из определенных значений пробных давлений для каждого режима.

## Проверка необходимости проведения расчетов на прочность в условиях испытания

Проверка необходимости проведения расчетов на прочность цилиндрических обечаек и конических элементов, выпуклых и плоских днищ в условиях испытания по ГОСТ Р 52857.1-2007 п.8.4

Расчетное давление испытания  $P_{II} = 2,3$  МПа

Гидростатическое давление при полном заполнении аппарата испытательной жидкостью  $P_{cm} = 0,11$  МПа

$$P_H + P_{cm} < 1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}$$

$$P_H + P_{cm} = 2,41 \text{ МПа} \quad \text{— давление испытания в горизонтальном положении аппарата}$$

$$1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} = 2,48 \quad \text{МПа}$$

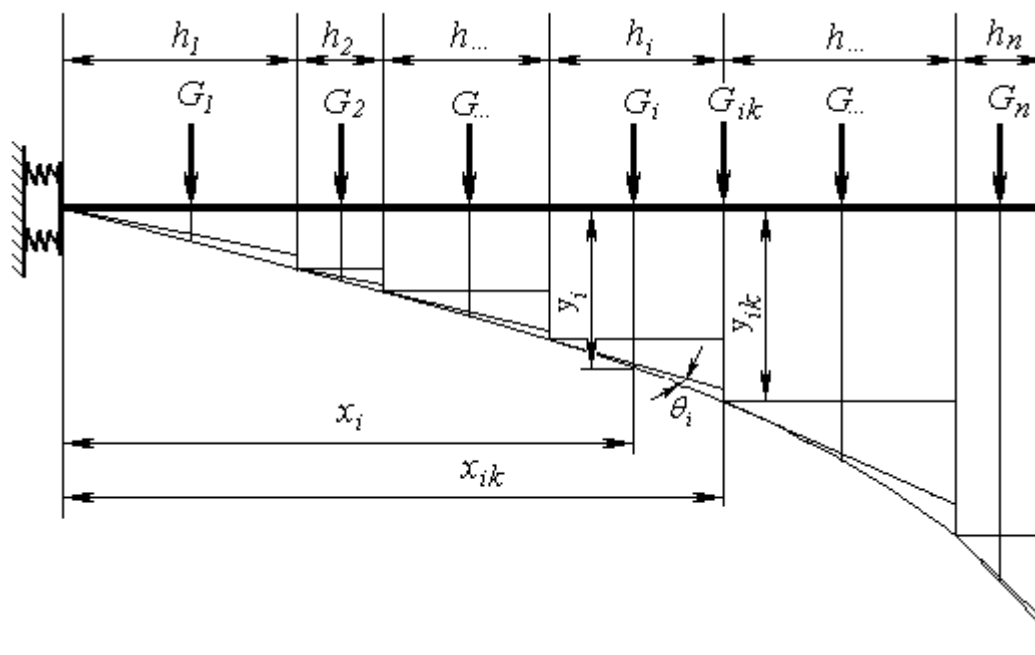
$$2,41 \text{ МПа} < 2,48 \text{ МПа}$$

**Заключение: Проведение расчета на прочность в условиях испытания не требуется**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div> <div>Изм. № подл.</div> <div>19663.4</div> </div>	<div>Подпись и дата</div>	<div>Взам. инв. №</div>	<div>Инв. № дубл.</div>	<div>Подпись и дата</div>	<p>Пробное давление для испытания сосуда, предназначенного для работы в условиях нескольких режимов с различными расчетными параметрами (давлениями и температурами), принимается равным максимальному из определенных значений пробных давлений для каждого режима.</p> <p><b>Проверка необходимости проведения расчетов на прочность в условиях испытания</b></p> <p>Проверка необходимости проведения расчетов на прочность цилиндрических обечаек и конических элементов, выпуклых и плоских днищ в условиях испытания по ГОСТ Р 52857.1-2007 п.8.4</p> <p>Расчетное давление испытания <math>P_{II} = 2,3</math> МПа</p> <p>Гидростатическое давление при полном заполнении аппарата испытательной жидкостью <math>P_{cm} = 0,11</math> МПа</p> $P_{II} + P_{cm} < 1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}$ <p><math>P_{II} + P_{cm} = 2,41</math> МПа – давление испытания в горизонтальном положении аппарата</p> <p><math>1,35 \cdot P_p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} = 2,48</math> МПа</p> <p>2,41 МПа &lt; 2,48 МПа</p> <p>Заключение: <b>Проведение расчета на прочность в условиях испытания не требуется</b></p>
										<div>Изм. № подл.</div> <div>19663.4</div>



## Определение периода собственных колебаний по методу Рэлея



$G_i$  – весовая нагрузка, приложенная в центре тяжести элемента (обечайки, переходы)

$G_{ik}$  – нагрузка от сосредоточенной массы (обслуживающие площадки, насадки, тарелки, днища)

$x_i$  – расстояние от фундамента до центра тяжести элемента

$x_{ik}$  – расстояние от фундамента до точки приложения сосредоточенной массы

$y_i$  – перемещения от весовых нагрузок в центре тяжести элемента

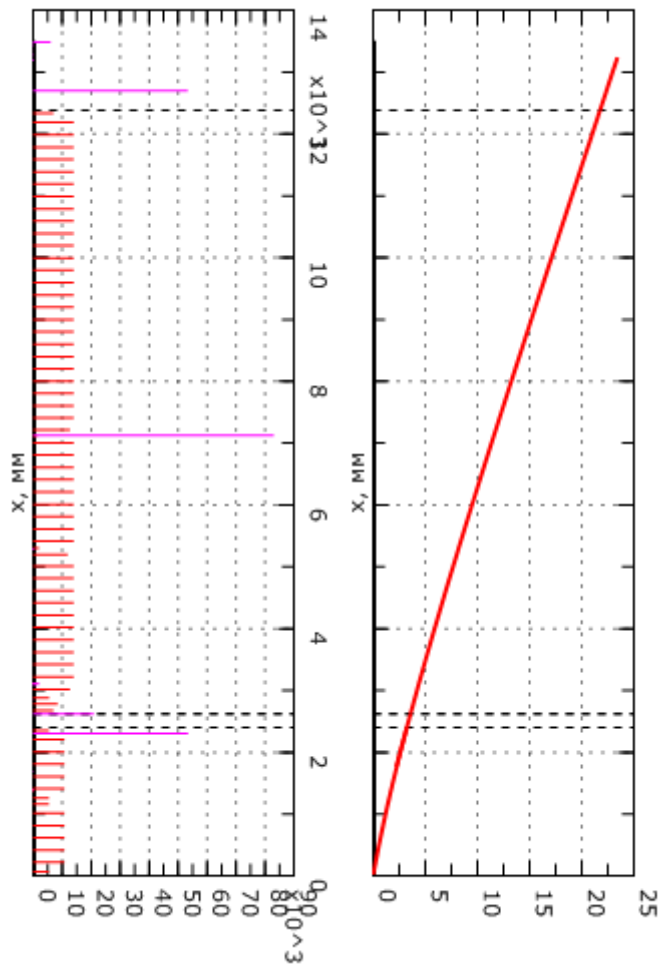
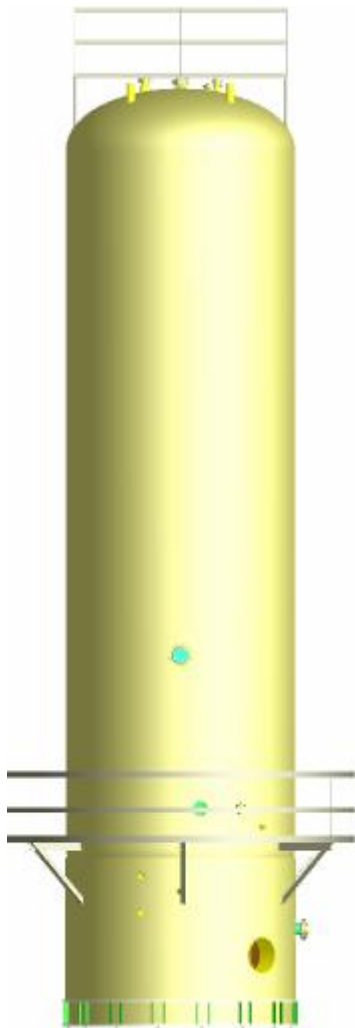
$y_{ik}$  – перемещения от весовых нагрузок в точке приложения сосредоточенной массы

### Расчёт в расчётных условиях (коррозия учтена)

Период собственных колебаний:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum (G_i \cdot y_i^2 + G_{ik} \cdot y_{ik}^2)}{g \cdot \sum (G_i \cdot y_i + G_{ik} \cdot y_{ik})}} = 0,2447 \text{ с}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата
E-14.00.00.000 PP			
Лист			
9			



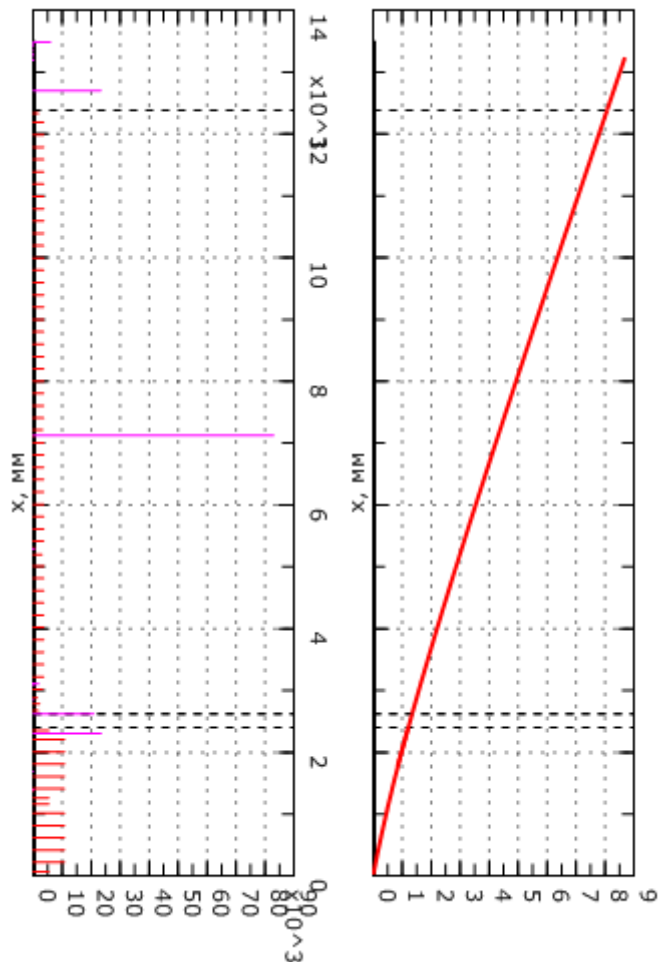
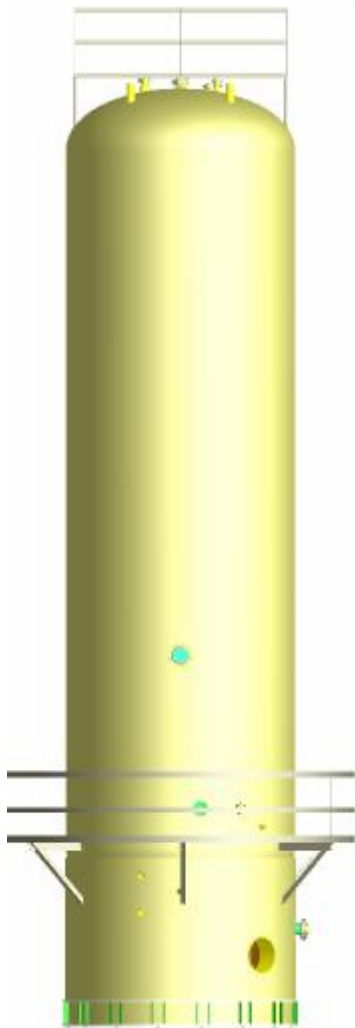
Весовые нагрузки, G, Н      Перемещения от весовыхнагрузок, у, мм

### Расчёт в расчётных условиях (наружное давление) (коррозия учтена)

Период собственных колебаний:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum (G_i \cdot y_i^2 + G_{\text{лк}} \cdot y_{\text{лк}}^2)}{g \cdot \sum (G_i \cdot y_i + G_{\text{лк}} \cdot y_{\text{лк}})}} = 0,1459 \text{ с}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист			
10			



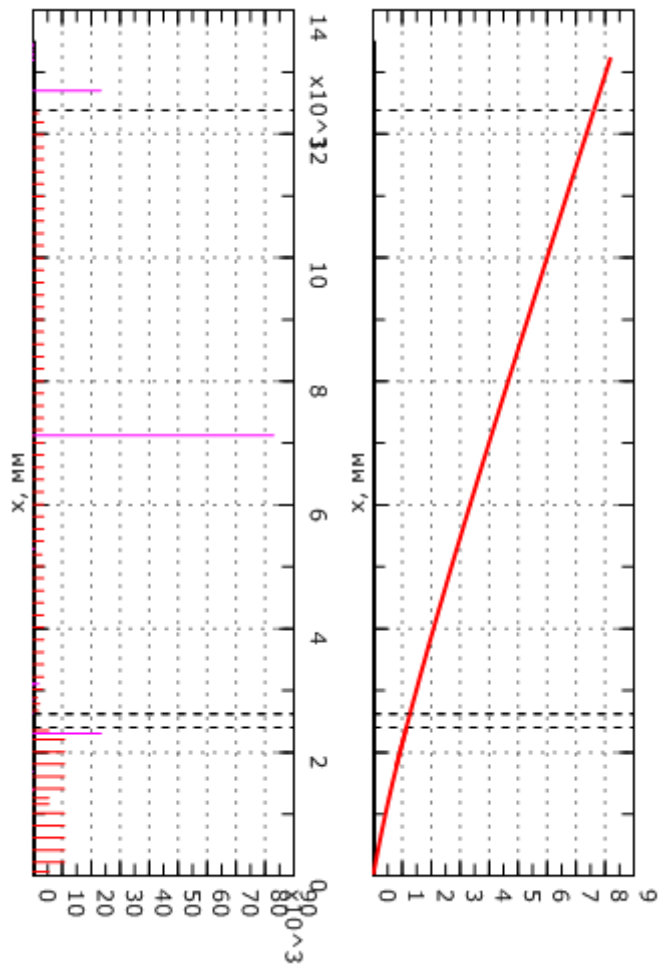
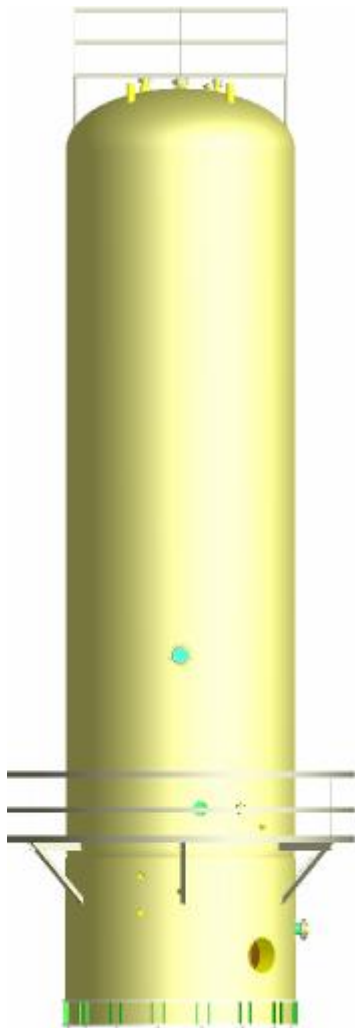
Весовые нагрузки, G, Н      Перемещения от весовыхнагрузок, у, мм

### Расчёт в условиях монтажа (коррозия учтена)

Период собственных колебаний:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum (G_i \cdot y_i^2 + G_{\text{лк}} \cdot y_{\text{лк}}^2)}{g \cdot \sum (G_i \cdot y_i + G_{\text{лк}} \cdot y_{\text{лк}})}} = 0,1411 \text{ с}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	



Весовые нагрузки, G, Н      Перемещения от весовыхнагрузок, у, мм

## Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания, коррозия учтена)

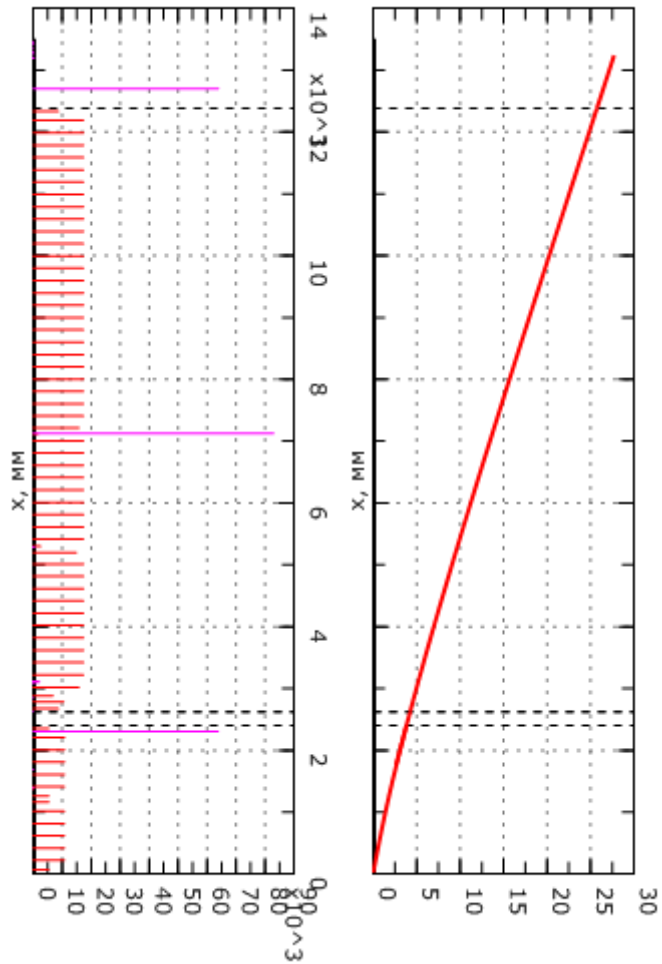
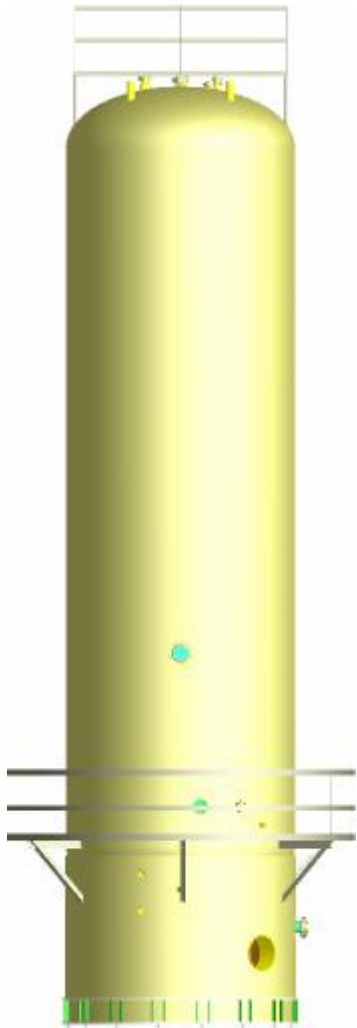
Период собственных колебаний:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum (G_i \cdot y_i^2 + G_{\text{жк}} \cdot y_{\text{жк}}^2)}{g \cdot \sum (G_i \cdot y_i + G_{\text{жк}} \cdot y_{\text{жк}})}} = 0,2665 \text{ с}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист			
12			

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



Весовые нагрузки, G, Н      Перемещения от весовыхнагрузок, у, мм

E-14.00.00.000 PP

# Расчёт ветровых нагрузок

## Расчёт по ГОСТ Р 51273-99

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки  $i$ -го участка:

$$q_{ist} = q_0 \cdot \theta_i \cdot K,$$

где  $\theta_i$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте аппарата:

$$\theta_i = \left( \frac{z_i}{10} \right)^{0.31},$$

$K$  – аэродинамический коэффициент.

Средняя составляющая ветровой нагрузки на  $i$ -м участке:

$$P_{ist} = q_{ist} \cdot D_i \cdot h_i,$$

где  $D_i$  – наружный диаметр  $i$ -го участка,

$h_i$  – высота  $i$ -го участка.

Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра:

$$v = \begin{cases} 0.968 - 0.025 \cdot \sqrt{H}, & x_i > 5.0 \text{ m} \\ 0.912, & x_i \leq 5.0 \text{ m} \end{cases}$$

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки на  $i$ -м участке:

$$P_{idyn} = v \cdot G_i \cdot \xi \cdot \eta_i,$$

где  $G_i$  – вес  $i$ -го участка,

$\xi$  – коэффициент динамичности,

$\eta_i$  – приведенное относительное ускорение центра тяжести  $i$ -го участка.

Ветровая нагрузка на  $i$ -м участке:

$$P_i = P_{ist} + P_{idyn}$$

Изгибающий момент в сечении на высоте  $x_0$  от действия ветровой нагрузки на обслуживающую  $j$ -ю площадку:

$$M_{vj} = K \cdot q_0 \cdot \theta_j \cdot (x_i - x_0) \cdot \left( 1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_j \cdot m_j \right) \cdot \sum A_p.$$

При отсутствии точных данных о форме площадки изгибающий момент определяют по формуле:

$$M_{vj} = K \cdot q_0 \cdot \theta_j \cdot (x_i - x_0) \cdot \left( 1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_j \cdot m_j \right) \cdot A_j,$$

$\sum A_p$  – сумма площадей всех проекций профилей  $j$ -й площадки на плоскость, перпендикулярную направлению ветра;

$A_j$  – площадь, ограниченная контуром  $j$ -й площадки;

$$\chi = 1.56 \cdot \left( \frac{z_j}{H} \right)^{1.6},$$

$m_j$  – коэффициент пульсации давления ветра,

$H = 1,324 \cdot 10^4$  мм – общая высота аппарата от поверхности земли.

Расчетный изгибающий момент в сечении на высоте  $x_0$ :

$$M_v = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x_i - x_0) + \sum_{i=1}^m M_{vi}$$

## Расчёт в расчётных условиях (коррозия учтена)

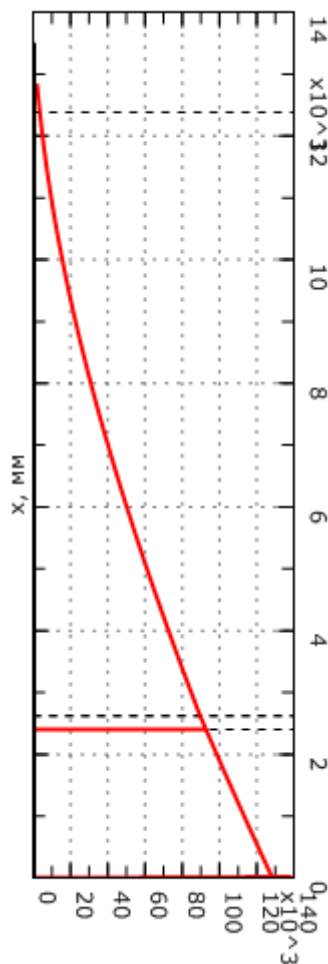
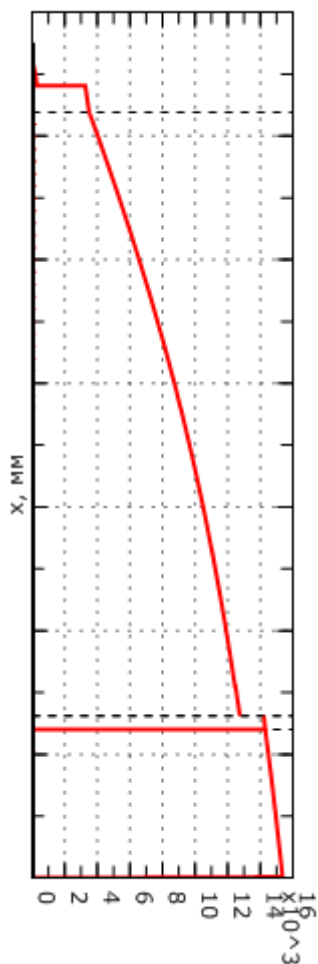
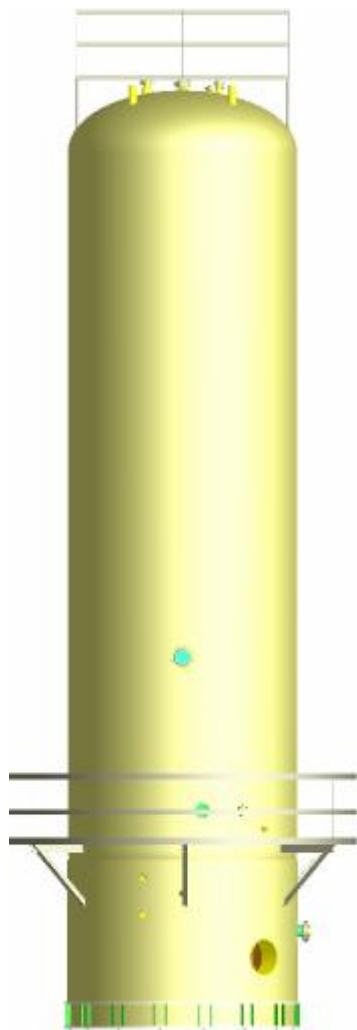
Нормативное значение ветрового давления (для I ветрового района):  $q_0 = 0,23 \cdot 10^{-3}$  МПа

Период колебаний  $T = 0,2447$  с (см. Расчёт периода колебаний)

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{790} = 0,004651$$

$$\xi = 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon} = 1,369$$

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19663.4								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР			
					Лист			14



Ветровая нагрузка,  
 $P_w$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_w$ , Н м

—  $P_w$

—  $M_w$

Элемент	Высота до начала элемента, мм	Наружный диаметр, мм	Нагрузка от площадок, Н	Суммарная нагрузка, Н	Изгибающий момент, Н м
Опора колонного аппарата	0	3282	0	$1,532 \cdot 10^4$	$1,281 \cdot 10^5$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	3250	0	$1,42 \cdot 10^4$	$8,956 \cdot 10^4$
Обечайка цилиндрическая	2605	3244	1469	$1,273 \cdot 10^4$	$8,956 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	3250	2963	3489	3503

### Расчёт в расчётных условиях (наружное давление) (коррозия учтена)

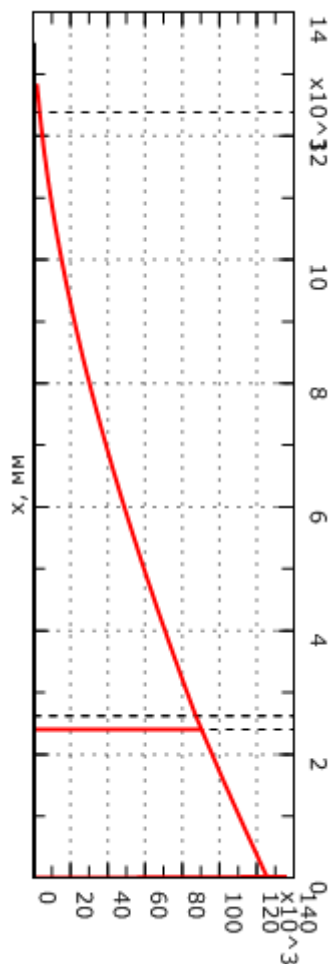
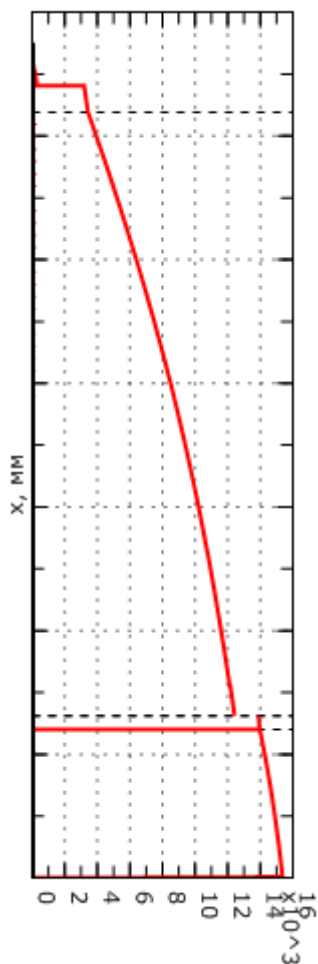
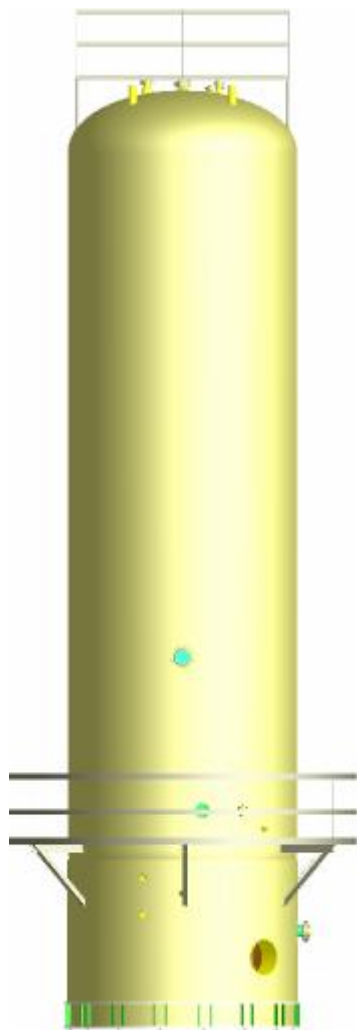
Нормативное значение ветрового давления (для I ветрового района):  $q_0 = 0,23 \cdot 10^{-3}$  МПа

Период колебаний  $T = 0,1459$  с (см. Расчёт периода колебаний)

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{790} = 0,002775$$

$$\xi = 1,1 + \sqrt{15,5 \cdot \varepsilon} = 1,307$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP				Лист 15



Ветровая нагрузка,  
 $P_w$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_w$ , Н м

—  $P_w$

—  $M_w$

Элемент	Высота до начала элемента, мм	Наружный диаметр, мм	Нагрузка от площадок, Н	Суммарная нагрузка, Н	Изгибающий момент, Н м
Опора колонного аппарата	0	3282	0	$1,531 \cdot 10^4$	$1,254 \cdot 10^5$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	3250	0	$1,387 \cdot 10^4$	$8,723 \cdot 10^4$
Обечайка цилиндрическая	2605	3244	1463	$1,241 \cdot 10^4$	$8,723 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	3250	2890	3417	3423

### Расчёт в условиях монтажа (коррозия учтена)

Период колебаний  $T = 0,1411$  с (см. Расчёт периода колебаний)

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{790} = 0,002682$$

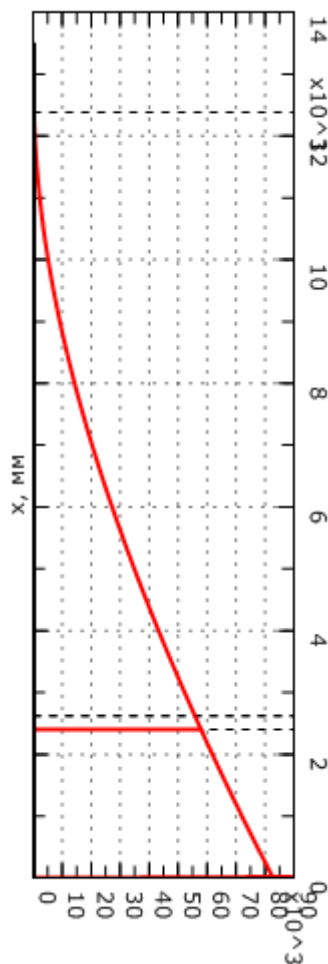
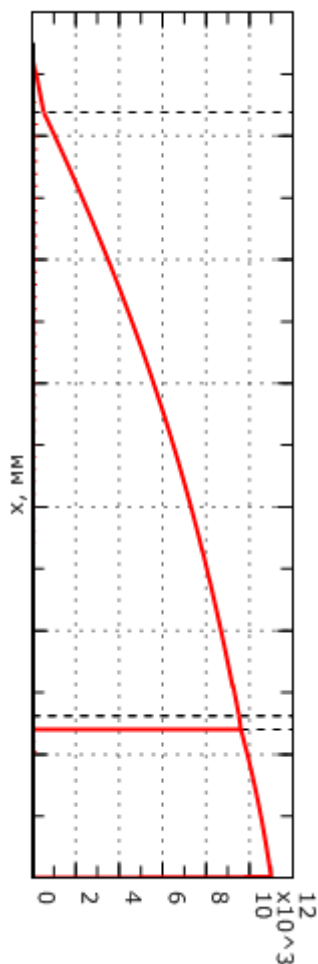
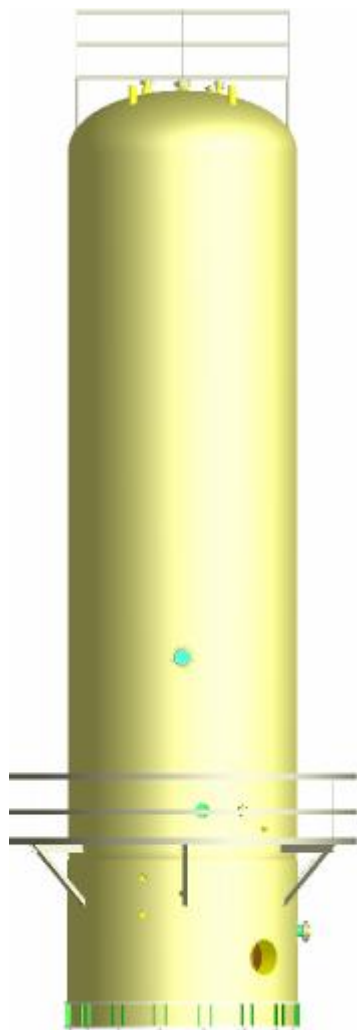
$$\xi = 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon} = 1,304$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

E-14.00.00.000 PP





Ветровая нагрузка,  
 $P_w$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_w$ , Н м

—  $P_w$

—  $M_w$

Элемент	Высота до начала элемента, мм	Наружный диаметр, мм	Нагрузка от площадок, Н	Суммарная нагрузка, Н	Изгибающий момент, Н м
Опора колонного аппарата	0	3282	0	$1,095 \cdot 10^4$	$8,259 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	3250	0	9511	$5,577 \cdot 10^4$
Обечайка цилиндрическая	2605	3244	0	9511	$5,577 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	3250	0	526,4	243,9

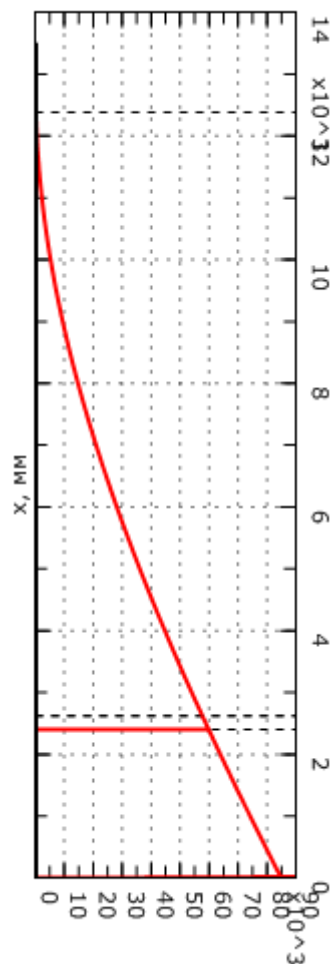
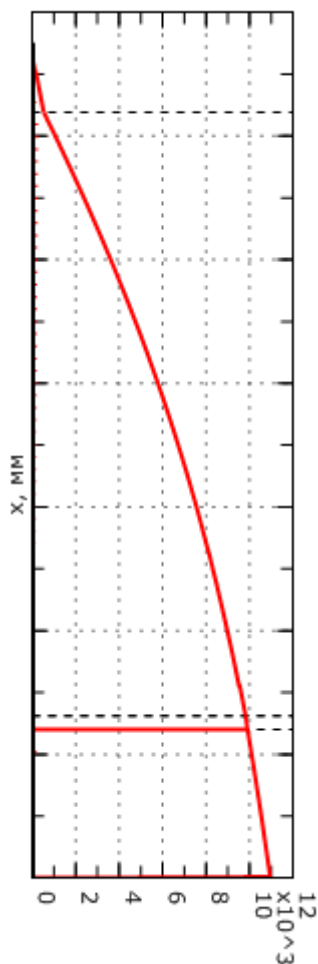
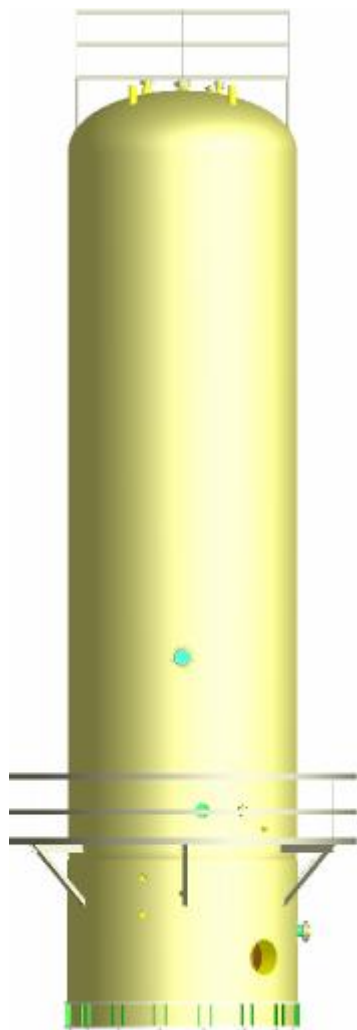
### Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания, коррозия учтена)

Период колебаний  $T = 0,2665$  с (см. Расчёт периода колебаний)

$$\varepsilon = \frac{T \cdot \sqrt{q_0}}{790} = 0,005067$$

$$\xi = 1.1 + \sqrt{15.5 \cdot \varepsilon} = 1,38$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP	Лист
											17



Ветровая нагрузка,  
 $P_w$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_w$ , Н м

—  $P_w$

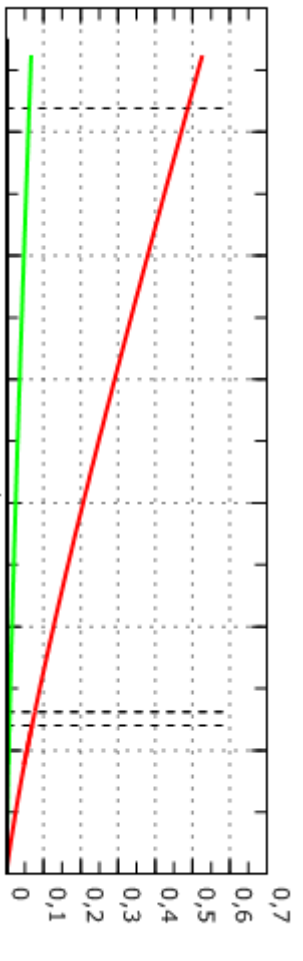
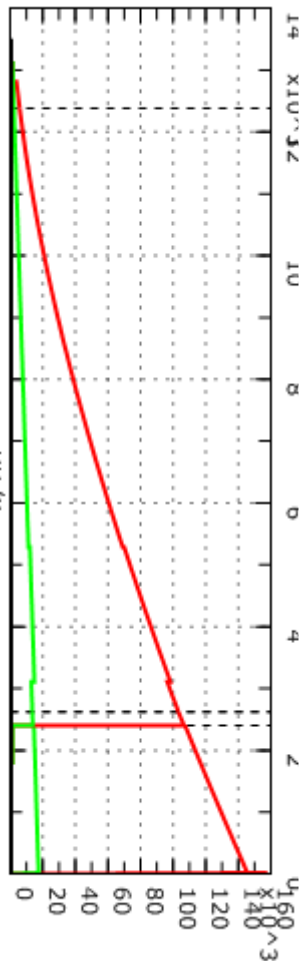
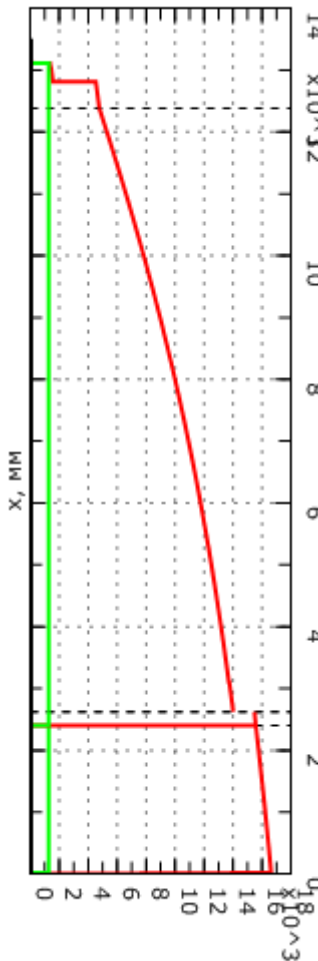
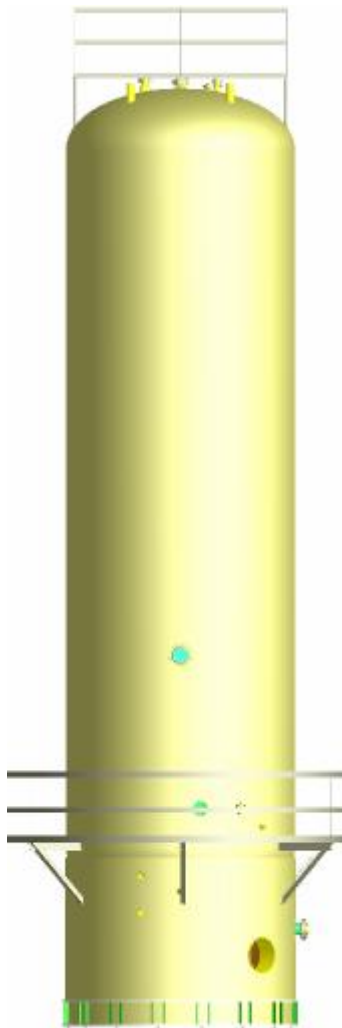
—  $M_w$

Элемент	Высота до начала элемента, мм	Наружный диаметр, мм	Нагрузка от площадок, Н	Суммарная нагрузка, Н	Изгибающий момент, Н м
Опора колонного аппарата	0	3282	0	$1,091 \cdot 10^4$	$8,471 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	3250	0	9816	$5,765 \cdot 10^4$
Обечайка цилиндрическая	2605	3244	0	9816	$5,765 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	3250	0	526,4	243,9

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			
Лист 18			

Расчёт суммарных нагрузок

Расчёт в расчётных условиях (коррозия учтена)



Горизонтальная нагрузка,  $Q_{sum}$ , Н

Изгибающий момент,  $M_{sum}$ , Н·м

Перемещения от суммарных нагрузок,  $y$ , мм

—  $Q_{sum}$

—  $M_{sum}$

—  $Y_{sum}$

— ветр.

— ветр.

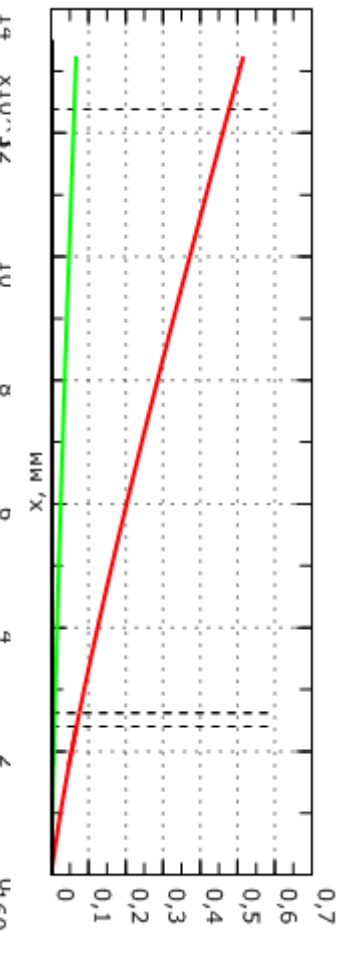
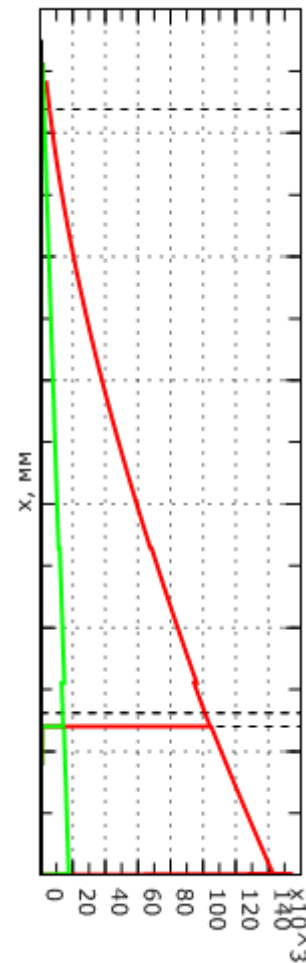
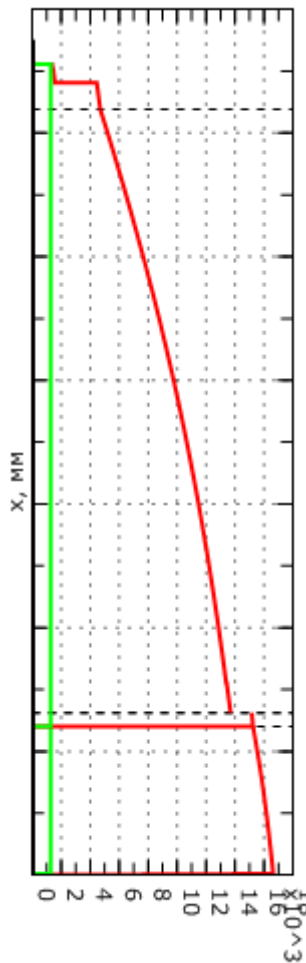
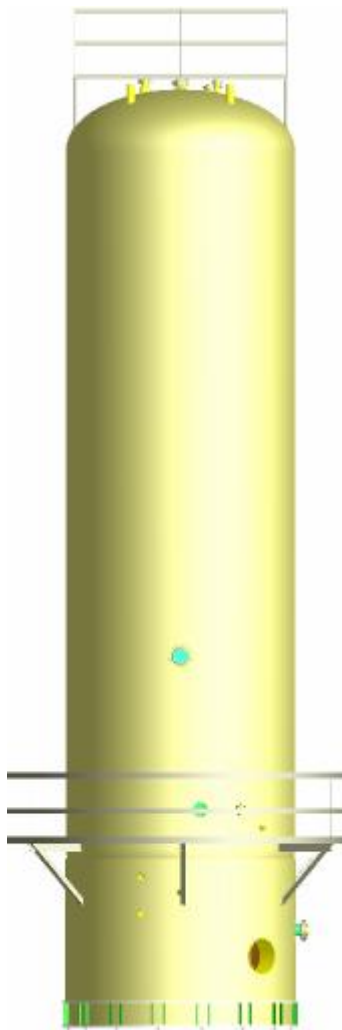
— ветр.

Элемент корпуса	Высота до начала элемента, мм	Вертикальная нагрузка, Н	Горизонтальная нагрузка с учётом ветр. нагрузки, Н	Изгибающий момент с учётом ветр. нагрузки, Н·м
Опора колонного аппарата	0	$(-1,032 \cdot 10^6)$	$1,663 \cdot 10^4$	$1,455 \cdot 10^5$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	$(-8,503 \cdot 10^5)$	$1,548 \cdot 10^4$	$1,031 \cdot 10^5$
Обечайка цилиндрическая	2605	$(-8,259 \cdot 10^5)$	$1,401 \cdot 10^4$	$1,031 \cdot 10^5$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	$(-5,921 \cdot 10^4)$	4762	5739

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Расчёт в расчётных условиях (наружное давление) (коррозия учтена)



Горизонтальная нагрузка,  
 $Q_{\text{sum}}$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_{\text{sum}}$ , Н·м

Перемещения от суммарных  
нагрузок,  $y$ , мм

—  $Q_{\text{sum}}$

—  $M_{\text{sum}}$

—  $Y_{\text{sum}}$

— ветр.

— ветр.

— ветр.

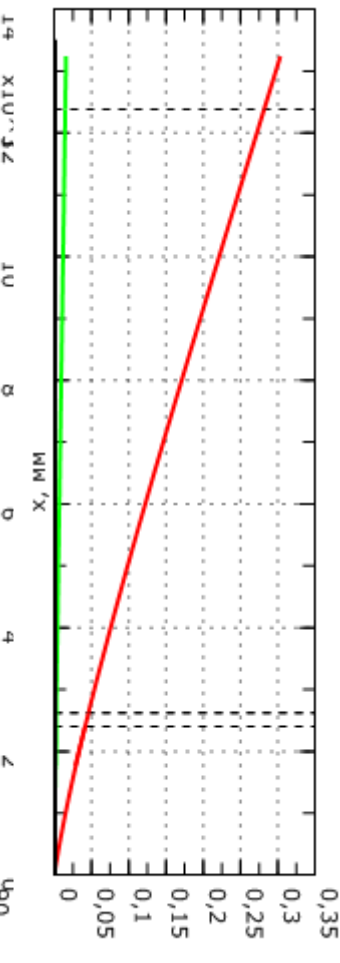
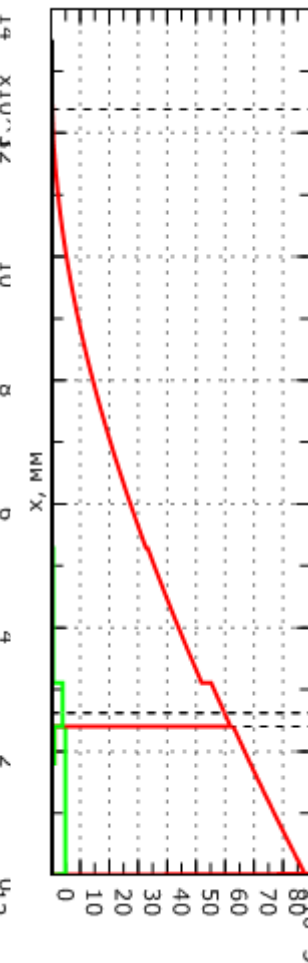
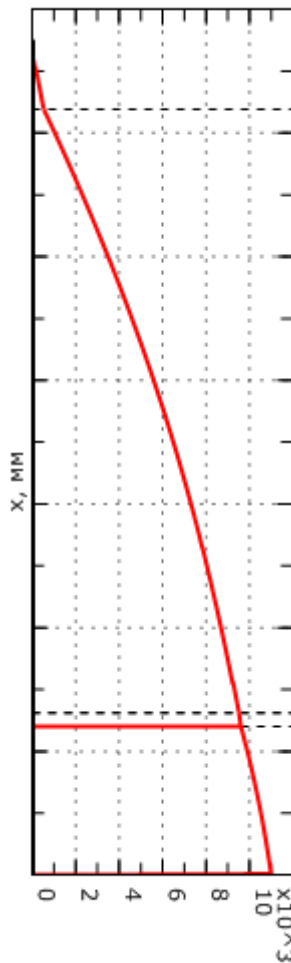
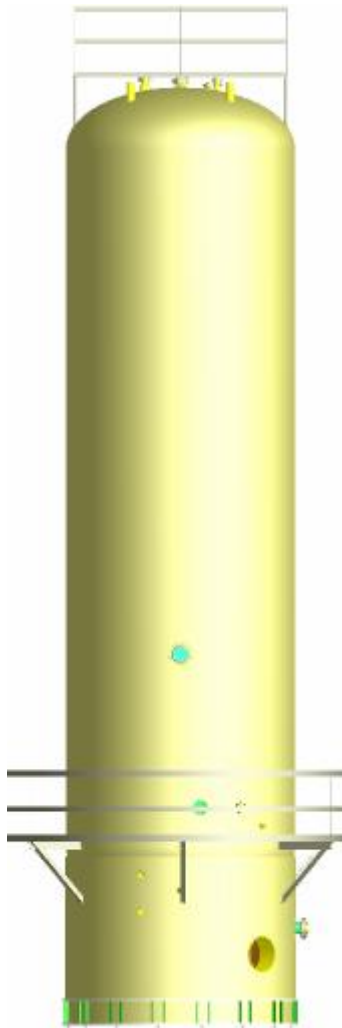
Элемент корпуса	Высота до начала элемента, мм	Вертикальная нагрузка, Н	Горизонтальная нагрузка с учётом ветр. нагрузки, Н	Изгибающий момент с учётом ветр. нагрузки, Н·м
Опора колонного аппарата	0	$(-4,641 \cdot 10^5)$	$1,662 \cdot 10^4$	$1,428 \cdot 10^5$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	$(-3,125 \cdot 10^5)$	$1,515 \cdot 10^4$	$1,009 \cdot 10^5$
Обечайка цилиндрическая	2605	$(-2,907 \cdot 10^5)$	$1,368 \cdot 10^4$	$1,009 \cdot 10^5$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	$(-2,914 \cdot 10^4)$	4690	5657

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Е-14.00.00.000 РР

# Расчёт в условиях монтажа (коррозия учтена)



Горизонтальная нагрузка,  
 $Q_{sum}$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_{sum}$ , Н·м

Перемещения от суммарных  
нагрузок,  $y$ , мм

—  $Q_{sum}$   
— ветр.

—  $M_{sum}$   
— ветр.

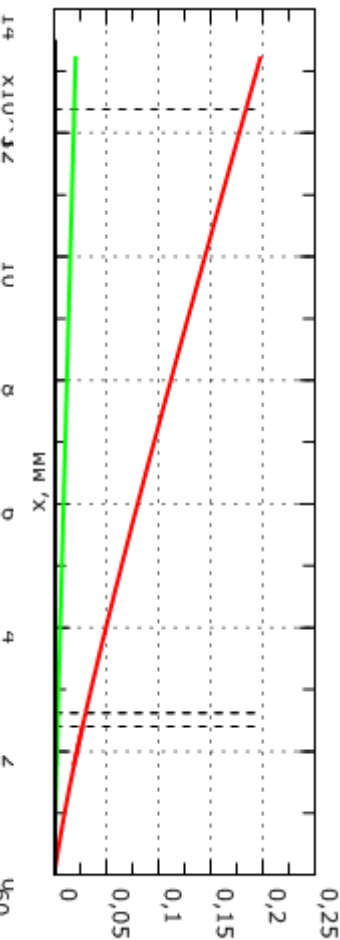
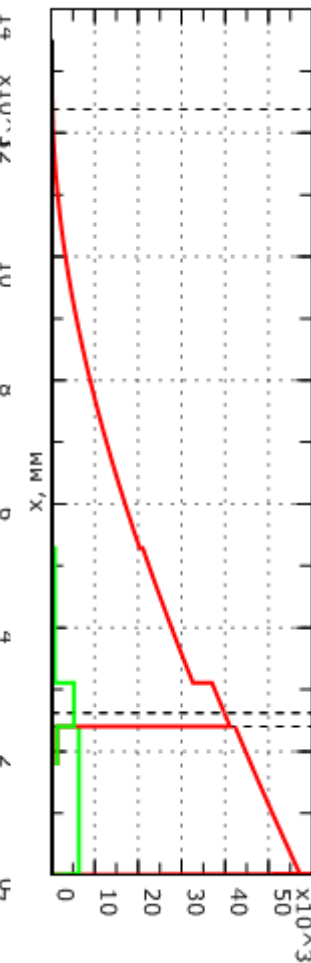
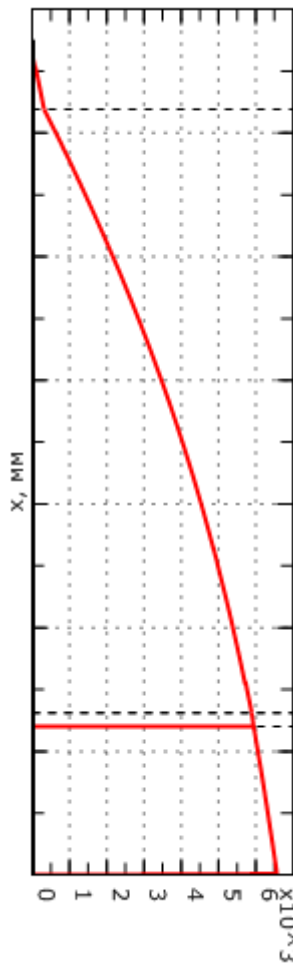
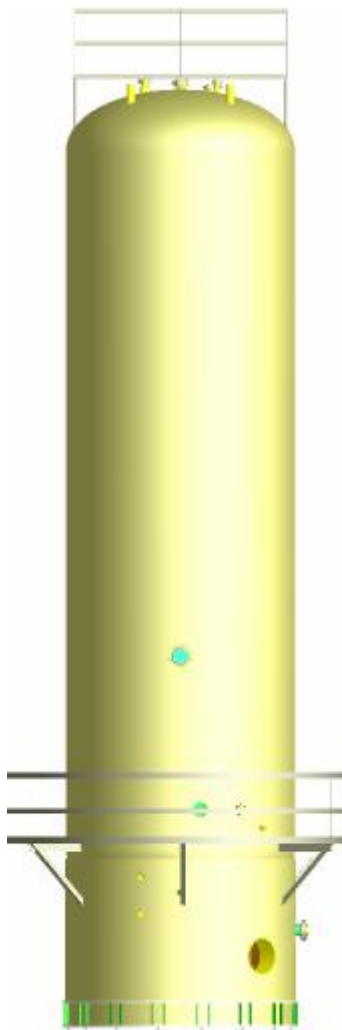
—  $Y_{sum}$   
— ветр.

Элемент корпуса	Высота до начала элемента, мм	Вертикальная нагрузка, Н	Горизонтальная нагрузка с учётом ветр. нагрузки, Н	Изгибающий момент с учётом ветр. нагрузки, Н·м
Опора колонного аппарата	0	$(-4,384 \cdot 10^5)$	$1,099 \cdot 10^4$	$8,751 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	$(-2,868 \cdot 10^5)$	9511	$5,974 \cdot 10^4$
Обечайка цилиндрическая	2605	$(-2,859 \cdot 10^5)$	9511	$5,974 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	$(-2,434 \cdot 10^4)$	526,4	350,5

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

E-14.00.00.000 PP

# Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания, коррозия учтена)



Горизонтальная нагрузка,  
 $Q_{sum}$ , Н

Изгибающий момент,  
 $M_{sum}$ , Н·м

Перемещения от суммарных  
нагрузок,  $y$ , мм

—  $Q_{sum}$   
— ветр.

—  $M_{sum}$   
— ветр.

—  $Y_{sum}$   
— ветр.

Элемент корпуса	Высота до начала элемента, мм	Вертикальная нагрузка, Н	Горизонтальная нагрузка с учётом ветр. нагрузки, Н	Изгибающий момент с учётом ветр. нагрузки, Н·м
Опора колонного аппарата	0	$(-1,196 \cdot 10^6)$	6567	$5,72 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (нижнее)	2385	$(-1,004 \cdot 10^6)$	5890	$3,98 \cdot 10^4$
Обечайка цилиндрическая	2605	$(-9,994 \cdot 10^5)$	5890	$3,981 \cdot 10^4$
Днище эллиптическое (верхнее)	$1,236 \cdot 10^4$	$(-6,505 \cdot 10^4)$	315,9	259,2

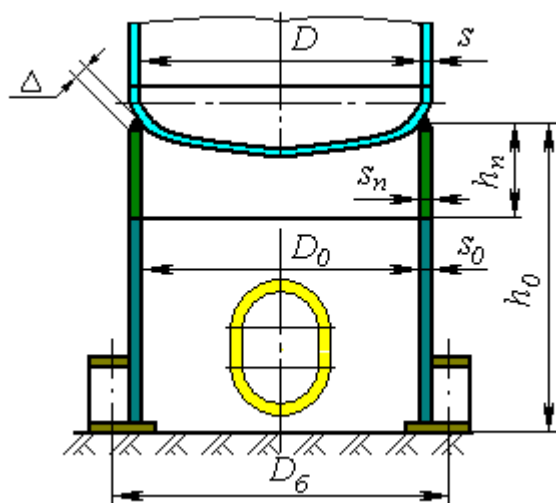
Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата

Е-14.00.00.000 РР

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР				Лист
									23

## Опора колонного аппарата

### Опорная обечайка



### Исходные данные

Несущий элемент: Днище эллиптическое (нижнее)

Высота опоры,  $h_0$ : 2385 мм

Диаметр верхнего основания,  $D_0$ : 3000 мм

Опорный элемент

Группа патрубков

**Цилиндрический участок:**

Материал: 09Г2С

Толщина стенки,  $s_0$ : 16 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 2 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0 мм

Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 2 мм

**Фундамент:**

Бетон: В10 (М150)

Изоляция:

Название: Огнезащита

Толщина,  $s_{из}$ : 125 мм

Плотность,  $\rho_{из}$ : 1800 кг/м<sup>3</sup>

Футеровка:

Название: Огнезащита

Толщина,  $s_{ф}$ : 125 мм

Плотность,  $\rho_{ф}$ : 1800 кг/м<sup>3</sup>

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ : 200 °С

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				24







$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1.0; \quad \text{Условие устойчивости выполнено}$$

Прочность сварного шва, соединяющего корпус колонны с опорной обечайкой (сечение Г-Г):

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) = 1 / (3,142 \cdot 3000 \cdot 16) \cdot (4 \cdot 1,047 \cdot 10^5 / 3000 + 4,641 \cdot 10^5) = 4,003 \text{ МПа}$$

$$0.8 \cdot \min\{[\sigma]_0; [\sigma]_k\} = 0.8 \cdot \min\{163; 163\} = 130,4 \text{ МПа}$$

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \cdot \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0.8 \cdot \min\{[\sigma]_0; [\sigma]_k\} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

## Расчёт в условиях испытаний

### Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 20 °С

Расчётный изгибающий момент в верхнем сечении:  $4,224 \cdot 10^4$  Н м

Расчётный изгибающий момент в нижнем сечении:  $5,718 \cdot 10^4$  Н м

Расчётное поперечное усилие в верхнем сечении: 5940 Н

Расчётное поперечное усилие в нижнем сечении: 6566 Н

Расчётное осевое сжимающее усилие, F:  $1,196 \cdot 10^6$  Н

### Свойства материала опорной обечайки в месте сопряжения с корпусом:

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 20 °С (условия гидротестирования):

$$[\sigma]_{0=20}^{\text{н}} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 276 / 1,1 = 250,9 \text{ МПа}$$

### Свойства материала корпуса аппарата:

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 20 °С (условия гидротестирования):

$$[\sigma]_{\text{к}}^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 276 / 1,1 = 250,9 \text{ МПа}$$

## Расчёт опорной обечайки по ГОСТ Р 51274-99

### Параметры опасного сечения (п. 7)

Элемент, содержащий опасное сечение: Цилиндрический участок опоры

Осевая нагрузка, действующая в сечении х = 1194 мм:

$$F = 1,196 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Изгибающий момент, действующий в сечении х = 1194 мм:

$$M = 4,965 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Устойчивость опорной обечайки в опасном сечении:

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} = 1,196 \cdot 10^6 / (0,8988 \cdot 2,84 \cdot 10^7) + (4,965 \cdot 10^4 + 1,196 \cdot 10^6 \cdot 0,01629 \cdot 3000) / (0,8166 \cdot 2,232 \cdot 10^7) = 0,05284$$

$$\frac{F}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M + F \cdot \psi_3 \cdot D_2}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1.0; \quad \text{Условие устойчивости выполнено}$$

Прочность сварного шва, соединяющего корпус колонны с опорной обечайкой (сечение Г-Г):

$$\frac{1}{\pi \cdot D_0 \cdot \Delta} \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) = 1 / (3,142 \cdot 3000 \cdot 16) \cdot (4 \cdot 4,224 \cdot 10^4 / 3000 + 1,196 \cdot 10^6) = 8,306 \text{ МПа}$$

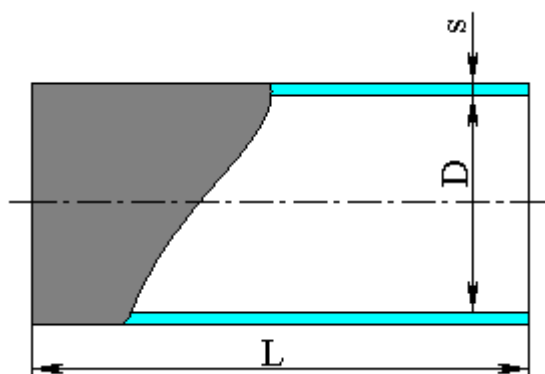
Изн. № подл. 19663.4	Подпись и дата				
	Изн. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подпись и дата				
	Изн. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР
					Лист 27

$$0.8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \} = 0.8 * \min \{ 250,9; 250,9 \} = 200,7 \text{ МПа}$$

$$\frac{1}{\pi D_0 \Delta} \cdot \left( \frac{4 \cdot M}{D_0} + F \right) \leq 0.8 \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_k \} \quad \text{Условие прочности выполнено}$$

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата				Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP			Лист
								28

## Цилиндрический участок опоры



### Исходные данные

Материал: 09Г2С  
 Внутр. диаметр, D: 3000 мм  
 Толщина стенки, s: 16 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 2 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 2 мм  
 Длина обечайки, L: 1755 мм  
 Коэффициенты прочности сварных швов:  
 Продольный шов:

$$\varphi_p = 1$$

Окружной шов:

$$\varphi_T = 1$$

Изоляция:

Название: Огнезащита

Толщина,  $s_{из}$ : 125 мм

Плотность,  $\rho_{из}$ : 1800 кг/м<sup>3</sup>

Футеровка:

Название: Огнезащита

Толщина,  $s_{ф}$ : 125 мм

Плотность,  $\rho_{ф}$ : 1800 кг/м<sup>3</sup>

### Расчётные условия

#### *Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)*

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 200$  °С (расчётные условия):

$$[\sigma] = 165 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\text{пр}} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 2) \cdot (16 - 2) \cdot 165 = 2,187 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре  $T = 200$  °С:

$$E = 1,81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			29

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,81 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (16 - 2) / 3000)^{2.5} = 3,13 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{np}}{D + s - c} = 3,291$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 2) \cdot (16 - 2) \cdot 1,81 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,142 / 3,291)^2 = 9,108 \cdot 10^9 \text{ H}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_{\text{E}} = \min \{ [F]_{\text{E1}}, [F]_{\text{E2}} \} = \min \{ 3,13 \cdot 10^7, 9,108 \cdot 10^9 \} = 3,13 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{I}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{I}}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2,187 \cdot 10^7 / (1 + (2,187 \cdot 10^7 / 3,13 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,793 \cdot 10^7 \text{ H}$$

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 2,187 \cdot 10^7 = 1,64 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3.5 * 3,13 \cdot 10^7 = 2,683 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[\text{M}] = \frac{[\text{M}]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[\text{M}]_{\Pi}}{[\text{M}]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1,64 \cdot 10^7 / (1 + (1,64 \cdot 10^7 / 2,683 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

### Расчётные условия (наружное давление)

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 167 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\text{H}} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 * (3000 + 16 - 2) * (16 - 2) * 167 = 2,214 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре  $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E = 1,83 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^6 * 1,83 \cdot 10^5 * 3000^2 / (2,4) * (100 * (16 - 2) / 3000)^{2.5} = 3,165 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{\text{rup}}}{D + s - c} = 3,291$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Допускаемый изгибающий момент:</p> $[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1,64 \cdot 10^7 / (1 + (1,64 \cdot 10^7 / 2,683 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,4 \cdot 10^7 \text{ Н м}$ <p><b>Расчётные условия (наружное давление)</b></p> <p><b>Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 180 °С (расчётные условия):</p> <p>[σ] = 167 МПа</p> <p>Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:</p> $[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 2) \cdot (16 - 2) \cdot 167 = 2,214 \cdot 10^7 \text{ Н}$ <p>Модуль продольной упругости для материала 09Г2С при температуре T = 180 °С:</p> <p>E = 1,83 · 10<sup>5</sup> МПа</p> <p>Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:</p> $[F]_{\text{Е1}} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,83 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (16 - 2) / 3000)^{2,5} = 3,165 \cdot 10^7 \text{ Н}$ <p>Гибкость:</p> $\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{\text{тп}}}{D + s - c} = 3,291$
					<p>Изм.</p> <p>Лист</p> <p>№ докум.</p> <p>Подп.</p> <p>Дата</p>

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 2) \cdot (16 - 2) \cdot 1,83 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,142 / 3,291)^2 = 9,209 \cdot 10^9 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 3,165 \cdot 10^7, 9,209 \cdot 10^9 \} = 3,165 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 2,214 \cdot 10^7 / (1 + (2,214 \cdot 10^7 / 3,165 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,814 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 2,214 \cdot 10^7 = 1,66 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3,5 \cdot 3,165 \cdot 10^7 = 2,713 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 1,66 \cdot 10^7 / (1 + (1,66 \cdot 10^7 / 2,713 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,416 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

## Условия испытаний

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

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

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

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 2) \cdot (16 - 2) \cdot 272,7 = 3,615 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

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

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

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,99 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (1,8) \cdot (100 \cdot (16 - 2) / 3000)^{2,5} = 4,589 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{\text{ср}}}{D + s - c} = 3,291$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 2) \cdot (16 - 2) \cdot 1,99 \cdot 10^5 / (1,8) \cdot (3,142 / 3,291)^2 = 1,335 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 4,589 \cdot 10^7, 1,335 \cdot 10^{10} \} = 4,589 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата			
	Взам. инв. №			
	Инов. № дубл.			
	Подпись и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				31

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_{\text{E}}} \right)^2}} = 3,615 \cdot 10^7 / (1 + (3,615 \cdot 10^7 / 4,589 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,84 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

**Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 * 3,615 \cdot 10^7 = 2,712 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{\text{E}} = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{\text{E}} = 3000 / 3.5 * 4,589 \cdot 10^7 = 3,933 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

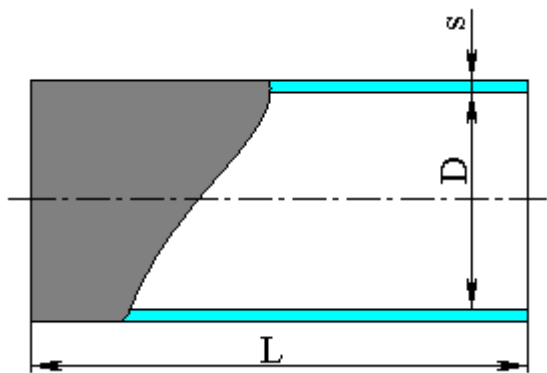
Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}} \right)^2}} = 2,712 \cdot 10^7 / (1 + (2,712 \cdot 10^7 / 3,933 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,232 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				32



## Переходный участок опоры



## Исходные данные

Материал: 12X18H10T

Внутр. диаметр, D: 3000 мм

Толщина стенки, s: 16 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 1 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0 мм

Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: 1 мм

Длина обечайки, L: 600 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов:

$$\varphi_p = 1$$

Окружной шов:

$$\varphi_{\mathrm{T}} = 1$$

Изоляция:

Название: Огнезащита

Толщина,  $s_{из}$ : 125 мм

Плотность,  $\rho_{из}$ : 1800 кг/м<sup>3</sup>

Футеровка:

Название: Огнезащита

Толщина,  $s_{\Phi}$ : 125 мм

Плотность,  $\rho_{\text{ф}}$ : 1800 кг/м<sup>3</sup>

## Расчётные условия

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 * (3000 + 16 - 1) * (16 - 1) * 160 = 2,273 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Продольный шов: $\Phi_P = 1$ Окружной шов: $\Phi_T = 1$ Изоляция: Название: Огнезащита Толщина, $s_{из}$ : 125 мм Плотность, $\rho_{из}$ : 1800 кг/м <sup>3</sup> Футеровка: Название: Огнезащита Толщина, $s_{ф}$ : 125 мм Плотность, $\rho_{ф}$ : 1800 кг/м <sup>3</sup>															
Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	<b>Расчётные условия</b>  <b>Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)</b> Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия): [σ]= 160 МПа Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности: $[F]_{\pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 1) \cdot (16 - 1) \cdot 160 = 2,273 \cdot 10^7 \text{ Н}$ Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C: E= 1,97·10 <sup>5</sup> МПа Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:															
Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr></table>											Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																
Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	<table><tr><td colspan="5">Е-14.00.00.000 РР</td><td>Лист</td></tr><tr><td colspan="5"></td><td>33</td></tr></table>	Е-14.00.00.000 РР					Лист						33			
					Е-14.00.00.000 РР					Лист										
					33															

$$[F]_{E1} = \frac{31.0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,97 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (16 - 1) / 3000)^{2.5} = 4,048 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2.83 \cdot l_{\text{TP}}}{D + s - c} = 1,126$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 = 3,142 * (3000 + 16 - 1) * (16 - 1) * 1,97 \cdot 10^5 / (2,4) * (3,142 / 1,126)^2 = 9,084 \cdot 10^{10} \text{ H}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 4,048 \cdot 10^7, 9,084 \cdot 10^{10} \} = 4,048 \cdot 10^7 \text{ H}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{H}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{H}}}{[F]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2,273 \cdot 10^7 / (1 + (2,273 \cdot 10^7 / 4,048 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,982 \cdot 10^7 \text{ H}$$

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\pi} = \frac{D}{\lambda} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 2,273 \cdot 10^7 = 1,705 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3.5 \cdot 4,048 \cdot 10^7 = 3,47 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{E}} \right)^2}} = 1,705 \cdot 10^7 / (1 + (1,705 \cdot 10^7 / 3,47 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,53 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

## Расчёт допустимой температуры в месте стыка переходной и опорной обечаек по АТК 24.200.04-90

Температура для определения свойств материалов:

$$t_{\text{cp}} = 151,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### *Свойства материала опорной обечайки*

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 151,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_{21} = 170,5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С при температуре  $T = 151,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{2f} = 0,1211 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

### *Свойства материала переходной обечайки*

Коэффициент линейного расширения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 151,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{1t} = 0,168 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 151,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

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

Расчётная допускаемая температура в зоне стыка переходной и опорной обечаек:

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
19663.4					E-14.00.00.000 PP	34

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

$$[t_c] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{2t} \cdot \left(1 - \frac{F_1}{[F]} - \frac{M_1}{[M]}\right)}{(\alpha_{1t} - \alpha_{2t}) \cdot E_{1t}} = \frac{2 \cdot 170,5 \cdot (1 - 1,032 \cdot 10^6 / 1,982 \cdot 10^7 - 1,167 \cdot 10^5 / 1,53 \cdot 10^7)}{(0,168 \cdot 10^{-4} - 0,1211 \cdot 10^{-4}) \cdot 1,99 \cdot 10^5} = 343,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура в зоне стыка:

$$t_c = 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Условие работоспособности:  $t_c < [t_c]$

$75 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 343,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Условие выполнено

## Расчётные условия (наружное давление)

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 163 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 1,8) \cdot (16 - 1,8) \cdot 163 = 2,192 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$E = 1,978 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,978 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (16 - 1,8) / 3000)^{2,5} = 3,544 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{\pi}}{D + s - c} = 1,125$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 1,8) \cdot (16 - 1,8) \cdot 1,978 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,142 / 1,125)^2 = 8,637 \cdot 10^{10} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 3,544 \cdot 10^7, 8,637 \cdot 10^{10} \} = 3,544 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 2,192 \cdot 10^7 / (1 + (2,192 \cdot 10^7 / 3,544 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,864 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\pi} = 3000 / 4 \cdot 2,192 \cdot 10^7 = 1,644 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3,5 \cdot 3,544 \cdot 10^7 = 3,038 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				35

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 1,644 \cdot 10^7 / (1 + (1,644 \cdot 10^7 / 3,038 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 1,446 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

## Расчёт допускаемой температуры в месте стыка переходной и опорной обечаек по АТК 24.200.04-90

Температура для определения свойств материалов:

$$t_{\text{Ф}} = 131,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### Свойства материала опорной обечайки

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 131,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_{2t} = 173 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 09Г2С при температуре  $T = 131,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{2t} = 0,1191 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### Свойства материала переходной обечайки

Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 131,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{1t} = 0,1672 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 131,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E_{1t} = 1,994 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная допускаемая температура в зоне стыка переходной и опорной обечаек:

$$[t_c] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{2t} \cdot \left(1 - \frac{F_1}{[F]} - \frac{M_1}{[M]}\right)}{(\alpha_{1t} - \alpha_{2t}) \cdot E_{1t}} = \frac{2 \cdot 173 \cdot (1 - 4,641 \cdot 10^5 / 1,864 \cdot 10^7 - 1,143 \cdot 10^5 / 1,446 \cdot 10^7)}{(0,1672 \cdot 10^{-4} - 0,1191 \cdot 10^{-4}) \cdot 1,994 \cdot 10^5} = 348,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура в зоне стыка:

$$t_c = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Условие работоспособности:  $t_c < [t_c]$

$55 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq 348,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Условие выполнено

## Условия испытаний

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (условия гидроиспытаний):

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_{e/20} / n_T = 1 \cdot 276 / 1,1 = 250,9 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\text{пр}} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 1,8) \cdot (16 - 1,8) \cdot 250,9 = 3,374 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{\text{EI}} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s - c)}{D}\right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (1,8) \cdot (100 \cdot (16 - 1,8) / 3000)^{2,5} = 4,778 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{\text{тп}}}{D + s - c} = 1,125$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				36

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,142 \cdot (3000 + 16 - 1,8) \cdot (16 - 1,8) \cdot 2 \cdot 10^5 / (1,8) \cdot (3,142 / 1,125)^2 = 1,164 \cdot 10^{11} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 4,778 \cdot 10^7, 1,164 \cdot 10^{11} \} = 4,778 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\Pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 3,374 \cdot 10^7 / (1 + (3,374 \cdot 10^7 / 4,778 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,756 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

### **Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)**

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000 / 4 \cdot 3,374 \cdot 10^7 = 2,53 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3.5 \cdot 4,778 \cdot 10^7 = 4,096 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

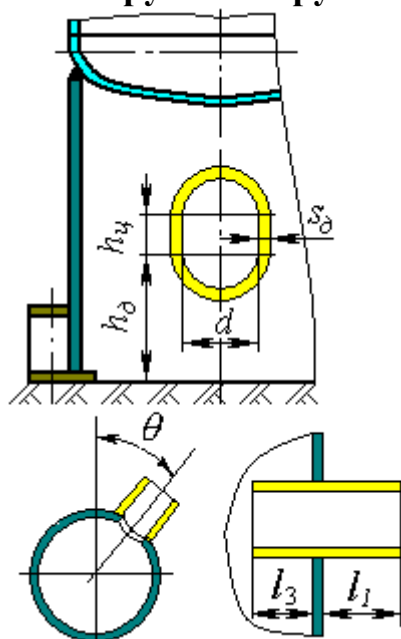
Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\Pi}}{[M]_E} \right)^2}} = 2,53 \cdot 10^7 / (1 + (2,53 \cdot 10^7 / 4,096 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,153 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				
				Лист
				37

## Группа патрубков элемента 'Опора колонного аппарата'

### Группа патрубков



### Исходные данные

Несущий элемент: Опора колонного аппарата

№	Название патрубка	d, мм	s <sub>d</sub> , мм	h <sub>d</sub> , мм	h <sub>ц</sub> , мм	θ, °	l <sub>1</sub> , мм	l <sub>3</sub> , мм
1	Г	400	12	1355	0	90	104	130
2	У1	500	10	1000	0	315	130	134
3	У2	500	10	1000	0	135	130	134
4	С1	84	12	1610	0	200	50	54
5	С2	84	12	2130	0	200	50	54
6	Т1	92	8	1905	0	270	64	70
7	Т2	92	8	1905	0	0	64	70
8	Т2	92	8	1905	0	90	64	70
9	Т2	92	8	1905	0	180	64	70

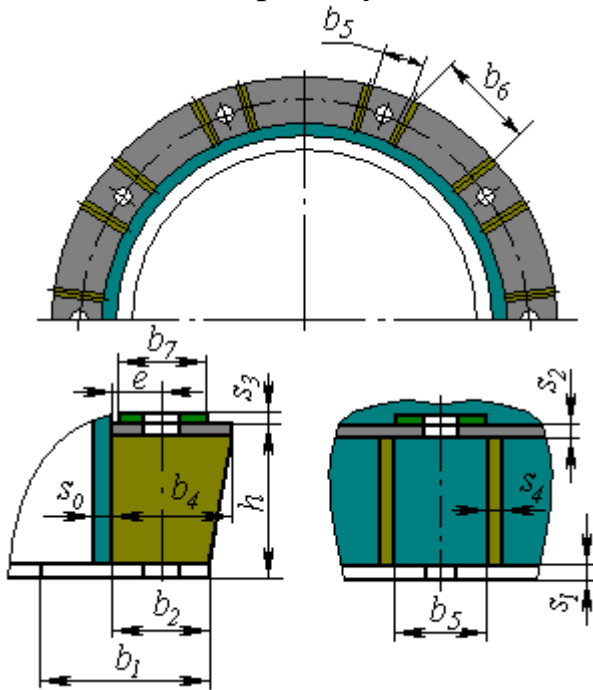
Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

E-14.00.00.000 PP

**Опорный узел элемента 'Опора колонного аппарата'**

**Расчёт опорного узла по ГОСТ Р 51274-99**



Несущий элемент:	Опора колонного аппарата	
Тип элемента:	4	
Материал:	09Г2С	
Исполнительная толщина нижнего опорного кольца, $s_1$ :	30	мм
Ширина нижнего опорного кольца, $b_1$ :	255	мм
Выступающая ширина нижнего опорного кольца, $b_2$ :	164	мм
Наличие усиливающей пластины	Да	
Толщина усиливающей пластины, $s_3$ :	10	мм
Ширина усиливающей пластины, $b_7$ :	100	мм
Ширина верхнего опорного кольца, $b_4$ :	164	мм
Минимальное расстояние между двумя смежными ребрами, $b_5$ :	160	мм
Исполнительная толщина верхнего опорного кольца, $s_2$ :	30	мм
Исполнительная толщина ребра, $s_4$ :	14	мм
Высота опорного узла, $h$ :	360	мм
Анкерные болты:		
Материал:		
Номинальный диаметр, $d$ :	30	мм
Количество, $n$	16	
Диаметр болтовой окружности, $D_6$ :	3220	мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётный изгибающий момент,  $M$ :  $1,454 \cdot 10^5$  Н м

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19663.4									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP				
					Лист				39

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ :  $1,032 \cdot 10^6$  Н

### Результаты расчёта:

**Свойства материала элемента опорного узла:**

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$$

**Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:**

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_0 = 165 \text{ MPa}$$

**Свойства материала анкерных болтов:**

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (расчётные условия):

 $\sigma_B = 145 \text{ MPa}$ 

**Свойства материала бетона:**

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\sigma]_{6\text{ET}} = 6 \text{ МПа}$$

### *Прочность анкерных болтов (п. 9)*

$$M \leq 0.44 \cdot F \cdot D_6$$

Условие прочности выполнено

### **Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)**

Расстояние между двумя смежными ребрами  $b_6 = 470,1$  мм

$$\chi_1 = \frac{\left( \frac{1 + 1.81 \cdot \left( \frac{b_2}{b_6} \right)^3}{1 + 2.97 \cdot \left( \frac{b_2}{b_6} \right)^3} \right)^2}{1} = (1 + 1.81 \cdot (164/470,1)^3) / (1 + 2.97 \cdot (164/470,1)^3)^2 = 0,9144$$

$$\max \left\{ x_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1,5 \cdot s_0 \right\} = \max\{0,9144 \cdot 164 \cdot ((4 \cdot 1,454 \cdot 10^5 / 3220 + 1,032 \cdot 10^6) / (3220 \cdot 255 \cdot 165))^{1/2} + 2; 1,5 \cdot 16\} = 24 \text{ mm}$$

$$\text{Условие работоспособности: } s_1 \geq \max \left\{ x_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\}$$

$30 \text{ мм} \geq 24 \text{ мм}$ . Условие прочности выполнено

### ***Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)***

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{6\sigma T}} = (4 \cdot 1,454 \cdot 10^5 / 3220 + 1,032 \cdot 10^6) / (3,142 \cdot 3220 \cdot 6) = 19,98 \text{ mm}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div> <div>Изм. № подл.</div> <div>19663.4</div> </div>	<div> <div>Подпись и дата</div> <div>19663.4</div> </div>



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

255 мм ≥ 19,98 мм. **Условие прочности выполнено**

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

$$\chi_3 = \frac{b_7}{b_4} \left( \frac{s_3}{s_2} \right)^2 = 100 / 164 \cdot (10 / 30)^2 = 0,06775$$

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 30 + 0,06775 \cdot 10 = 30,68 \text{ мм}$$

Диаметр окружности, вписанной в шестигранник гайки:

$$d = 42,7 \text{ мм}$$

$$\chi_2 = \frac{\sqrt{3 \cdot \frac{b_4}{b_5}}}{\sqrt{1 + \frac{\left( \frac{b_4}{b_5} \right)^2}{1 - \frac{d}{b_5}}}} = (3 \cdot 164 / 160 / (1 + (164 / 160)^2 / (1 - 42,7 / 160)))^{1/2} = 1,124$$

Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:

$$d_6 = 25,71 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:

$$A_\sigma = 0,519 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = 1,124 \cdot (0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 / 165)^{1/2} + 2 = 26,01 \text{ мм}$$

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

30,68 мм ≥ 26,01 мм. **Условие прочности выполнено**

### Толщина ребра (п. 8.5)

$$\chi_4 = 2$$

$$\max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0,4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 / (2 \cdot 164 \cdot 165) + 2; 0,4 \cdot 30 \} = 12 \text{ мм}$$

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

14 мм ≥ 12 мм. **Условие прочности выполнено**

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

$$b_3 = b_5 + b_6 = 160 + 470,1 = 630,1 \text{ мм}$$

$$N = \frac{D_2}{2 \cdot (s_0 - c)} \cdot \left( \frac{10 \cdot b_3}{D_2} \right)^{2,05} = 3000 / (2 \cdot (16 - 2)) \cdot (10 \cdot 630,1 / 3000)^{2,05} = 457,8$$

$$K = 0 \quad \text{при } N \leq 10^4 = 0$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата			
	Инов. № дубл.			
	Взам. инв. №			
	Подпись и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 PP				Лист
				41

$$K = -0.002 \cdot \ln(10^{-4} \cdot N) \quad \text{npu} \quad N > 10^4$$

$$\chi_s = -0.0248 \cdot \left\{ \ln\left(\frac{N}{1100}\right) - \sqrt{\left[\ln\left(\frac{N}{1100}\right)\right]^2 + 2.628} \right\} + K = -0.0248 \cdot \{ \ln(457,8 / 1100) - ([\ln(457,8/1100)]^2 + 2.628)^{1/2} \} + 0 = 0,06745$$

$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_{\sigma} \cdot [\sigma]_{\text{B}} \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0,06745 \cdot 0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 94 / ((16 - 2)^2 \cdot 360) = 40,57 \text{ МПа}$$

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

$40,57 \text{ МПа} \leq 247,5 \text{ МПа}$ . Условие прочности выполнено

### Расчёт в расчётных условиях (наружное давление)

**Условия нагружения:**

Расчётный изгибающий момент, М:  $1,427 \cdot 10^5$  Н м

Расчётное осевое сжимающее усилие, F:  $4,641 \cdot 10^5$  Н

### Результаты расчёта:

**Свойства материала элемента опорного узла:**

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 167 \text{ МПа}$$

*Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:*

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре  $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

 $[\sigma]_0 = 167 \text{ MPa}$ 

**Свойства материала анкерных болтов:**

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (расчётные условия):

 $\sigma_B = 145 \text{ MPa}$ 

**Свойства материала бетона:**

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\sigma]_{\text{6er}} = 6 \text{ МПа}$$

### *Прочность анкерных болтов (п. 9)*

$$M \leq 0.44 \cdot F \cdot D_6$$

Условие прочности выполнено

**Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)**

Расстояние между двумя смежными ребрами  $b_6 = 470,1$  мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		<b>Е-14.00.00.000 РР</b>	<b>42</b>
19663.4									
							<p><b>Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре T = 180 °C (расчётные условия):</p> <p>[σ]= 167 МПа</p>		
							<p><b>Свойства материала анкерных болтов:</b></p> <p>Допускаемые напряжения для материала Ст3 (расчётные условия):</p> <p>σ<sub>B</sub>= 145 МПа</p>		
							<p><b>Свойства материала бетона:</b></p> <p>Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):</p> <p>[σ]<sub>бет</sub>= 6 МПа</p>		
							<p><b>Прочность анкерных болтов (п. 9)</b></p> <p>M ≤ 0.44 · F · D<sub>б</sub></p> <p>Условие прочности выполнено</p>		
							<p><b>Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)</b></p> <p>Расстояние между двумя смежными ребрами b<sub>б</sub> = 470,1 мм</p>		

$$\chi_1 = \frac{\left(1 + 1.81 \cdot \left(\frac{b_2}{b_6}\right)^3\right)^2}{1 + 2.97 \cdot \left(\frac{b_2}{b_6}\right)^3} = (1 + 1.81 \cdot (164 / 470,1)^3) / (1 + 2.97 \cdot (164 / 470,1)^3) = 0,9144$$

$$\max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\} = \max \{ 0,9144 \cdot 164 \cdot ((4 \cdot 1,427 \cdot 10^5 / 3220 + 4,641 \cdot 10^5) / (3220 \cdot 255 \cdot 167))^{1/2} + 2; 1.5 \cdot 16 \} = 24 \text{ мм}$$

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

30 мм ≥ 24 мм. **Условие прочности выполнено**

### **Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)**

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{\text{бет}}} = (4 \cdot 1,427 \cdot 10^5 / 3220 + 4,641 \cdot 10^5) / (3,142 \cdot 3220 \cdot 6) = 10,57 \text{ мм}$$

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

255 мм ≥ 10,57 мм. **Условие прочности выполнено**

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

$$\chi_3 = \frac{b_7}{b_4} \left( \frac{s_3}{s_2} \right)^2 = 100 / 164 \cdot (10 / 30)^2 = 0,06775$$

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 30 + 0,06775 \cdot 10 = 30,68 \text{ мм}$$

Диаметр окружности, вписанной в шестигранник гайки:  
d = 42,7 мм

$$\chi_2 = \frac{3 \cdot \frac{b_4}{b_5}}{\sqrt{1 + \frac{\left(\frac{b_4}{b_5}\right)^2}{1 - \frac{d}{b_5}}}} = (3 \cdot 164 / 160) / (1 + ((164 / 160)^2 / (1 - 42,7 / 160)))^{1/2} = 1,124$$

Внутренний диаметр резьбы анкерного болта:

$$d_6 = 25,71 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы:

$$A_{\sigma} = 0,519 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = 1,124 \cdot (0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 / 167)^{1/2} + 2 = 25,86 \text{ мм}$$

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

30,68 мм ≥ 25,86 мм. **Условие прочности выполнено**

### Толщина ребра (п. 8.5)

$$\chi_4 = 2$$

$$\max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0,4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 / (2 \cdot 164 \cdot 167) + 2; 0,4 \cdot 30 \} = 12 \text{ мм}$$

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

14 мм ≥ 12 мм. **Условие прочности выполнено**

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

$$b_3 = b_5 + b_6 = 160 + 470,1 = 630,1 \text{ мм}$$

$$N = \frac{D_2}{2 \cdot (s_0 - c)} \cdot \left( \frac{10 \cdot b_3}{D_2} \right)^{2,05} = 3000 / (2 \cdot (16 - 2)) \cdot (10 \cdot 630,1 / 3000)^{2,05} = 457,8$$

$$K = 0 \quad \text{при } N \leq 10^4 = 0$$

$$K = -0,002 \cdot \ln(10^{-4} \cdot N) \quad \text{при } N > 10^4$$

$$\chi_5 = -0,0248 \cdot \left\{ \ln \left( \frac{N}{1100} \right) - \sqrt{\left[ \ln \left( \frac{N}{1100} \right) \right]^2 + 2,628} \right\} + K = -0,0248 \cdot \{ \ln(457,8 / 1100) - ([\ln(457,8 / 1100)]^2 + 2,628)^{1/2} \} + 0 = 0,06745$$

$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0,06745 \cdot 0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 94 / ((16 - 2)^2 \cdot 360) = 40,57 \text{ МПа}$$

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

40,57 МПа ≤ 250,5 МПа. **Условие прочности выполнено**

### Расчёт в условиях монтажа

#### Условия нагружения при монтаже:

Расчётный изгибающий момент, М:  $8,747 \cdot 10^4 \text{ Н м}$

Расчётное осевое сжимающее усилие, F:  $4,384 \cdot 10^5 \text{ Н}$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Инов. № подл.	19663.4	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	Лист	44
---------------	----------------	---------------	----------------	--------------	---------------	----------------	---------------	---------	------	------	----------	-------	------	-------------------	------	----

## Результаты расчёта:

### *Свойства материала элемента опорного узла:*

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

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

### *Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:*

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

$$[\sigma]^{20}_0 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала анкерных болтов:*

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (условия монтажа):

$$\sigma_B = 145 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала бетона:*

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\sigma]_{бет} = 6 \text{ МПа}$$

### *Прочность анкерных болтов (п. 9)*

$$M \leq 0,44 \cdot F \cdot D_6$$

Условие прочности выполнено

## Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

### Условия нагружения при испытаниях:

Расчётный изгибающий момент,  $M$ :  $5,718 \cdot 10^4 \text{ Н м}$

Расчётное осевое сжимающее усилие,  $F$ :  $1,196 \cdot 10^6 \text{ Н}$

## Результаты расчёта:

### *Свойства материала элемента опорного узла:*

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

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

### *Свойства материала опорной обечайки в зоне верхнего опорного кольца:*

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

$$[\sigma]^{20}_0 = \eta * R_{e/20} / n_T = 1 * 300 / 1,1 = 272,7 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала анкерных болтов:*

Допускаемые напряжения для материала Ст3 (условия гидроиспытаний):

$$\sigma_B = 145 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала бетона:*

Допускаемые напряжения для бетона класса В10 (М150):

$$[\sigma]_{бет} = 6 \text{ МПа}$$

### *Прочность анкерных болтов (п. 9)*

$$M \leq 0,44 \cdot F \cdot D_6$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата				Инов. № дубл.	Подпись и дата				Изм.	Лист						
	Взам. инв. №					Подпись и дата											
	Инов. № дубл.					Подпись и дата											
	Взам. инв. №					Подпись и дата											
	Подпись и дата					Подпись и дата											
E-14.00.00.000 PP											Лист						

Условие прочности выполнено

### Толщина нижнего опорного кольца (п. 8.2)

Расстояние между двумя смежными ребрами  $b_6 = 470,1$  мм

$$\chi_1 = \frac{\left(1 + 1.81 \cdot \left(\frac{b_2}{b_6}\right)^3\right)^2}{1 + 2.97 \cdot \left(\frac{b_2}{b_6}\right)^3} = (1 + 1.81 \cdot (164 / 470,1)^3) / (1 + 2.97 \cdot (164 / 470,1)^3) = 0,9144$$

$$\max \left\{ \chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{D_6 \cdot b_1 \cdot [\sigma]_A}} + c; 1.5 \cdot s_0 \right\} = \max \{ 0,9144 \cdot 164 \cdot ((4 \cdot 5,718 \cdot 10^4 / 3220 + 1,196 \cdot 10^6) / (3220 \cdot 255 \cdot 272,7))^{1/2} + 2; 1.5 \cdot 16 \} = 24 \text{ мм}$$

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

30 мм  $\geq$  24 мм. Условие прочности выполнено

### Ширина нижнего опорного кольца (п. 8.3)

$$\frac{\frac{4 \cdot M}{D_6} + F}{\pi \cdot D_6 \cdot [\sigma]_{\text{сер}}} = (4 \cdot 5,718 \cdot 10^4 / 3220 + 1,196 \cdot 10^6) / (3,142 \cdot 3220 \cdot 6) = 20,88 \text{ мм}$$

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

255 мм  $\geq$  20,88 мм. Условие прочности выполнено

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

$$\chi_3 = \frac{b_7}{b_4} \left( \frac{s_3}{s_2} \right)^2 = 100 / 164 \cdot (10 / 30)^2 = 0,06775$$

$$(s_2 + \chi_3 \cdot s_3) = 30 + 0,06775 \cdot 10 = 30,68 \text{ мм}$$

$$\chi_2 = \frac{3 \cdot \frac{b_4}{b_5}}{\sqrt{1 + \frac{\left(\frac{b_4}{b_5}\right)^2}{1 - \frac{d}{b_5}}}} = (3 \cdot 164 / 160) / (1 + (164 / 160)^2 / (1 - 42,7 / 160))^{1/2} = 1,124$$

$$\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{ср}} \cdot [\sigma]_B}{[\sigma]_A}} + c = (1,124 \cdot (0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 / 272,7))^{1/2} + 2 = 20,67 \text{ мм}$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист
					46

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

30,68 мм ≥ 20,67 мм. **Условие прочности выполнено**

### Толщина ребра (п. 8.5)

$$\chi_4 = 2$$

$$\max \left\{ \frac{A_\sigma \cdot [\sigma]_B}{\chi_4 \cdot b_2 \cdot [\sigma]_A} + c; 0.4 \cdot s_1 \right\} = \max \{ 0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 / (2 \cdot 164 \cdot 272,7) + 2; 0.4 \cdot 30 \} = 12 \text{ мм}$$

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

14 мм ≥ 12 мм. **Условие прочности выполнено**

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

$$b_3 = b_5 + b_6 = 160 + 470,1 = 630,1 \text{ мм}$$

$$N = \frac{D_2}{2 \cdot (s_0 - c)} \cdot \left( \frac{10 \cdot b_3}{D_2} \right)^{2.05} = 3000 / (2 \cdot (16 - 2)) \cdot (10 \cdot 630,1 / 3000)^{2.05} = 457,8$$

$$K = 0 \quad \text{при } N \leq 10^4 = 0$$

$$K = -0.002 \cdot \ln(10^{-4} \cdot N) \quad \text{при } N > 10^4$$

$$\chi_5 = -0.0248 \cdot \left\{ \ln \left( \frac{N}{1100} \right) - \sqrt{\left[ \ln \left( \frac{N}{1100} \right) \right]^2 + 2.628} \right\} + K = -0.0248 \cdot \{ \ln(457,8 / 1100) - ([\ln(457,8 / 1100)]^2 + 2.628)^{1/2} \} + 0 = 0,06745$$

$$\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} = 6 \cdot 0,06745 \cdot 0,519 \cdot 10^{-3} \cdot 145 \cdot 94 / ((16 - 2)^2 \cdot 360) = 40,57 \text{ МПа}$$

Условие работоспособности:  $\frac{6 \cdot \chi_5 \cdot A_\sigma \cdot [\sigma]_B \cdot e}{(s_0 - c)^2 \cdot h} \leq 1.5 \cdot [\sigma]_0$

40,57 МПа ≤ 409,1 МПа. **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист			
47			

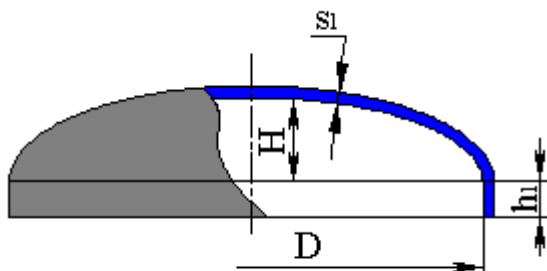
Нагрузки на фундамент

Состояние	Осевая сила, Н	Изгибающий момент, Н м	Горизонтальная сила, Н
Расчётные условия	$1,035 \cdot 10^6$	$1,454 \cdot 10^5$	$1,662 \cdot 10^4$
Расчётные условия (наружное давление)	$4,668 \cdot 10^5$	$1,427 \cdot 10^5$	$1,663 \cdot 10^4$
Условия монтажа	$4,411 \cdot 10^5$	$8,747 \cdot 10^4$	$1,099 \cdot 10^4$
Условия испытаний	$1,199 \cdot 10^6$	$5,718 \cdot 10^4$	6566

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP				Лист
									48



## Днище эллиптическое



### Исходные данные

Материал: 12X18H10T  
 Внутр. диаметр, D: 3000 мм  
 Толщина стенки днища,  $s_1$ : 25 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 1 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0,8 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 3,75 мм  
 Суммарная прибавка к толщине стенки,  $c$ : 5,55 мм  
 Высота днища, H: 750 мм  
 Длина отбортовки,  $h_1$ : 80 мм  
 Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3000^2 / (4 \cdot 750) = 3000 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварного шва:

$$\varphi = 1$$

Изоляция:

Название: Теплоизоляция

Толщина,  $s_{из}$ : 100 мм

Плотность,  $\rho_{из}$ : 200 кг/м<sup>3</sup>

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,686 МПа

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

#### Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C:

E =  $1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			
Лист			
49			

### Днища, нагруженные внутренним избыточным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3000^2 / (4 \cdot 750) = 3000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0.5 \cdot p} + c = (1,686 \cdot 3000) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1,686) + 5,55 = 21,4 \text{ мм}$$

$$21,4 \text{ мм} \leq 25 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (25 - 5,55) / (3000 + 0.5 \cdot (25 - 5,55)) = 2,068 \text{ МПа}$$

$$2,068 \text{ МПа} \geq 1,686 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### Расчёт в расчётных условиях (наружное давление)

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 180 °C

Расчётное наружное избыточное давление, p: 0,1000 МПа

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

#### Допускаемые напряжения:

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 180 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 163 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре T = 180 °C:

$$E = 1,978 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Днища, нагруженные наружным давлением.

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3000^2 / (4 \cdot 750) = 3000 \text{ мм}$$

$$x = 10 \cdot \frac{s_1 - c}{D} \cdot \left[ \frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right] = 10 \cdot (25 - 5,55) / 3000 \cdot (3000 / (2 \cdot 750) - 2 \cdot 750 / 3000) = 0,09725$$

$$K_3 = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3,0 + 10 \cdot x) \cdot x} = (1 + (2,4 + 8 \cdot 0,09725) \cdot 0,09725) / (1 + (3,0 + 10 \cdot 0,09725) \cdot 0,09725) = 0,9443$$

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (при давлении p = 0,1000 МПа):

$$s_p + c = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}; \frac{1,2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} + c = \max \{ 0,9443 \cdot 3000 / 161 \cdot (2,4 \cdot 0,1000 / (10^{-5} \cdot 1,978 \cdot 10^5))^{1/2}; 1,2 \cdot 0,1000 \cdot 3000 / (2 \cdot 163) \} + 5,55 = 11,68 \text{ мм}$$

$$11,68 \text{ мм} \leq 25 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_п = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 163 \cdot (25 - 5,55) / (3000 + 0.5 \cdot (25 - 5,55)) = 2,107 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	$[\sigma]= 163 \text{ МПа}$ Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре $T = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ : $E= 1,978 \cdot 10^5 \text{ МПа}$
					<b>Днища, нагруженные наружным давлением.</b>
					Радиус кривизны в вершине днища:
					$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = 3000^2 / (4 \cdot 750) = 3000 \text{ мм}$
					$x = 10 \cdot \frac{s_1 - c}{D} \cdot \left[ \frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right] = 10 \cdot (25 - 5,55) / 3000 \cdot (3000 / (2 \cdot 750) - 2 \cdot 750 / 3000) = 0,09725$
					$K_3 = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot x) \cdot x}{1 + (3,0 + 10 \cdot x) \cdot x} = (1 + (2,4 + 8 \cdot 0,09725) \cdot 0,09725) / (1 + (3,0 + 10 \cdot 0,09725) \cdot 0,09725) = 0,9443$
		Расчётная толщина стенки с учётом прибавок (при давлении $p = 0,1000 \text{ МПа}$ ):			
					$s_p + c = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}}; \frac{1,2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} + c = \max \{ 0,9443 \cdot 3000 / 161 \cdot (2,4 \cdot 0,1000 / (10^{-5} \cdot 1,978 \cdot 10^5))^{1/2}; 1,2 \cdot 0,1000 \cdot 3000 / (2 \cdot 163) \} + 5,55 = 11,68 \text{ мм}$
		$11,68 \text{ мм} \leq 25 \text{ мм}$ Заключение: <b>Условие работоспособности выполнено</b> Допускаемое наружное давление из условия прочности:			
					$[p]_п = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_1 - c)}{R + 0,5 \cdot (s_1 - c)} = 2 \cdot 163 \cdot (25 - 5,55) / (3000 + 0,5 \cdot (25 - 5,55)) = 2,107 \text{ МПа}$
		Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:			

$$[\sigma]_{\text{E}} = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_y} \cdot \left[ \frac{100(s_1 - c)}{K_s \cdot R} \right]^2 = 26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,978 \cdot 10^5 / 2,4 \cdot (100 \cdot (25 - 5,55) / (0,9443 \cdot 3000))^2 = 1,01 \text{ МПа}$$

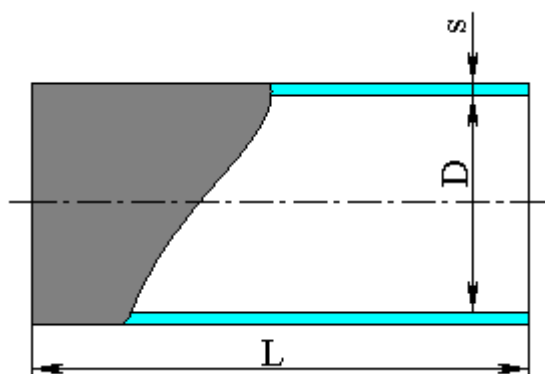
$$[\sigma] = \frac{[\sigma]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[\sigma]_{\text{п}}}{[\sigma]_{\text{E}}} \right)^2}} = 2,107 / (1 + (2,107 / 1,01)^2)^{1/2} = 0,9109 \text{ МПа}$$

0,9109 МПа ≥ 0,1000 МПа

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	Лист					
						51					

## Обечайка цилиндрическая



### Исходные данные

Материал: 12X18H10T  
 Внутр. диаметр, D: 3000 мм  
 Толщина стенки, s: 22 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 1 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 1 мм  
 Длина обечайки, L: 9760 мм  
 Коэффициенты прочности сварных швов:  
 Продольный шов:

$$\varphi_p = 1$$

Окружной шов:

$$\varphi_T = 1$$

Изоляция:

Название: Теплоизоляция

Толщина,  $s_{из}$ : 100 мм

Плотность,  $\rho_{из}$ : 200 кг/м<sup>3</sup>

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,68 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M:  $1,031 \cdot 10^5$  Н м  
 Расчётное поперечное усилие, Q:  $1,401 \cdot 10^4$  Н  
 Расчётное осевое сжимающее усилие, F:  $8,259 \cdot 10^5$  Н

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

E-14.00.00.000 PP

Лист

52

### Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением (п. 5.3.1)

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (1,68 \cdot 3000) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 1,68) + 1 = 16,83 \text{ мм}$$

$$16,83 \text{ мм} \leq 22 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (22 - 1) / (3000 + 22 - 1) = 2,224 \text{ МПа}$$

$$2,224 \text{ МПа} \geq 1,68 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Минимальное расстояние между “одиночными” штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 502 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия осевой силы:

$$l_F = 1,042 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

### Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 22 - 1) \cdot (22 - 1) \cdot 160 = 3,189 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2.5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,97 \cdot 10^5 \cdot 3000^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (22 - 1) / 3000)^{2.5} = 9,389 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{\pi p}}{D + s - c} = 19,51$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{E2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = 3,142 \cdot (3000 + 22 - 1) \cdot (22 - 1) \cdot 1,97 \cdot 10^5 / (2,4) \cdot (3,142 / 19,51)^2 = 4,242 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}, [F]_{E2} \} = \min \{ 9,389 \cdot 10^7, 4,242 \cdot 10^8 \} = 9,389 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_{\pi}}{[F]_E} \right)^2}} = 3,189 \cdot 10^7 / (1 + (3,189 \cdot 10^7 / 9,389 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 3,019 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$3,019 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 8,259 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\pi} = 3000 / 4 \cdot 3,189 \cdot 10^7 = 2,392 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_E = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3,5 \cdot 9,389 \cdot 10^7 = 8,047 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 PP					Лист
										53
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\Pi}}{[M]_{\text{E}}}\right)^2}} = 2,392 \cdot 10^7 / (1 + (2,392 \cdot 10^7 / 8,047 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,293 \cdot 10^7 \text{ Н м}$$

$$2,293 \cdot 10^7 \text{ Н м} \geq 1,031 \cdot 10^5 \text{ Н м}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

### Обечайка, нагруженная поперечным усилием (п. 5.3.6)

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\Pi} = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0,25 \cdot 3,142 \cdot 3000 \cdot (22 - 1) \cdot 160 = 7,917 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1,042 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

$$l_Q = 1,042 \cdot 10^4 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{\text{E}} = \frac{2,4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = \frac{2,4 \cdot 1,97 \cdot 10^5 \cdot (22 - 1)^2}{1,042 \cdot 10^4} / 2,4 \cdot (0,18 + 3,3 \cdot 3000 \cdot (22 - 1) / (1,042 \cdot 10^4)^2) = 1,58 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\Pi}}{[Q]_{\text{E}}}\right)^2}} = 7,917 \cdot 10^6 / (1 + (7,917 \cdot 10^6 / 1,58 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 7,078 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$7,078 \cdot 10^6 \text{ Н} \geq 1,401 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

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

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

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

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0 / 0 + 8,259 \cdot 10^5 / 3,019 \cdot 10^7 + 1,031 \cdot 10^5 / 2,293 \cdot 10^7 + (1,401 \cdot 10^4 / 7,078 \cdot 10^6)^2 = 0,03185 \leq 1$$

Заключение: **Условие устойчивости выполнено**

### Дополнительный расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 51274-99

Продольные напряжения на наветренной стороне:

$$\sigma_{x1} = \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = \frac{1,68 \cdot (3000 + 22) / (4 \cdot (22 - 1)) - 8,259 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot 3000 \cdot (22 - 1)) + 4 \cdot 1,031 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot 3000^2 \cdot (22 - 1))}{=} = 56,96 \text{ МПа}$$

Кольцевые напряжения:

$$\sigma_y = \frac{p \cdot (D + s)}{2 \cdot (s - c)} = 1,68 \cdot (3000 + 22) / (2 \cdot (22 - 1)) = 120,9 \text{ МПа}$$

Эквивалентные напряжения на наветренной стороне:

$$\sigma_{\text{экв1}} = \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = (56,96^2 - 56,96 \cdot 120,9 + 120,9^2)^{1/2} = 104,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности на наветренной стороне

Инов. № подл.	19663.4	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист 54



$$s_p + c = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left( \frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4} ; \frac{1,2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \right\} = \max \{ 1,06 \cdot 10^{-2} \cdot 3000 / 1 \cdot (0,1000 / (10^{-5} \cdot 1,978 \cdot 10^5)) \cdot 1,042 \cdot 10^4 / 3000 \}^{0,4} ; 1,2 \cdot 0,1000 \cdot 3000 / (2 \cdot 163 - 0,1000) \} + 1 = 16,86 \text{ мм}$$

$$16,86 \text{ мм} \leq 22 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

$$B_1 = \min \left\{ 1,0 ; 9,45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s - c)}} \right\} = \min \{ 1,0 ; 9,45 \cdot 3000 / 1,042 \cdot 10^4 \cdot (3000 / (100 \cdot (22 - 1)))^{1/2} \} = 1$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости:

$$[p]_e = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,978 \cdot 10^5 \cdot 3000}{(2,4 \cdot 1 \cdot 1,042 \cdot 10^4) \cdot (100 \cdot (22 - 1) / 3000)} = 0,2023 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 163 \cdot (22 - 1) / (3000 + 22 - 1) = 2,266 \text{ МПа}$$

$$[p] = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[p]_n}{[p]_e} \right)^2}} = \frac{2,266}{(1 + (2,266 / 0,2023)^2)^{1/2}} = 0,2015 \text{ МПа}$$

$$0,2015 \text{ МПа} \geq 0,1000 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Минимальное расстояние между "одинокими" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 502 \text{ мм}$$

### **Обечайка, нагруженная осевым сжимающим усилием (п. 5.3.4)**

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_n = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (3000 + 22 - 1) \cdot (22 - 1) \cdot 163 = 3,249 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{e1} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{31,0 \cdot 10^{-5} \cdot 1,978 \cdot 10^5 \cdot 3000^2}{(2,4) \cdot (100 \cdot (22 - 1) / 3000)^{2,5}} = 9,427 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Гибкость:

$$\lambda = \frac{2,83 \cdot l_{np}}{D + s - c} = 19,51$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия общей устойчивости:

$$[F]_{e2} = \frac{\pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot E}{n_y} \cdot \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 = \frac{3,142 \cdot (3000 + 22 - 1) \cdot (22 - 1) \cdot 1,978 \cdot 10^5}{(2,4) \cdot (3,142 / 19,51)^2} = 4,259 \cdot 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости:

$$[F]_e = \min \{ [F]_{e1}, [F]_{e2} \} = \min \{ 9,427 \cdot 10^7, 4,259 \cdot 10^8 \} = 9,427 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_n}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_n}{[F]_e} \right)^2}} = \frac{3,249 \cdot 10^7}{(1 + (3,249 \cdot 10^7 / 9,427 \cdot 10^7)^2)^{1/2}} = 3,071 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

$$3,071 \cdot 10^7 \text{ Н} \geq 2,907 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 PP					Лист
										56
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

$$[M]_{\Pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\Pi} = 3000/4 * 3,249 \cdot 10^7 = 2,437 \cdot 10^7 \text{ H M}$$
$$[M]_E = \frac{D}{3.5} \cdot [F]_{E1} = 3000 / 3.5 \cdot 9,427 \cdot 10^7 = 8,08 \cdot 10^7 \text{ H M}$$
$$[M] = \frac{[M]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{II}}{[M]_{JE}}\right)^2}} = 2,437 \cdot 10^7 / (1 + (2,437 \cdot 10^7 / 8,08 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 2,333 \cdot 10^7 \text{ H M}$$

**Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено**

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_E = \frac{2.4 \cdot E \cdot (s-c)^2}{n_v} \cdot \left[ 0.18 + 3.3 \cdot \frac{D(s-c)}{l^2} \right] = \frac{2.4 \cdot 1,978 \cdot 10^5 \cdot (22-1)^2 / 2.4 \cdot (0.18 + 3.3 \cdot 3000 \cdot (22-1) / 1,042 \cdot 10^4)}{H} = 1,587 \cdot 10^7$$

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{E}}\right)^2}} = 8,065 \cdot 10^6 / (1 + (8,065 \cdot 10^6 / 1,587 \cdot 10^7)^2)^{1/2} = 7,19 \cdot 10^6 \text{ H}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

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

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

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0,1000/0,2015 + 2,907 \cdot 10^5 / 3,071 \cdot 10^7 + 1,009 \cdot 10^5 / 2,333 \cdot 10^7 + (1,368 \cdot 10^4 / 7,19 \cdot 10^6)^2 = 0,51 \leq 1$$

## Дополнительный расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 51274-99

$$\sigma_{x1} = \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = \frac{0,1000 \cdot (3000 + 22) / (4 \cdot (22 - 1)) - 2,907 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot 3000 \cdot (22 - 1))}{+ 4 \cdot 1,009 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot 3000^2 \cdot (22 - 1))} = 2,809 \text{ MPa}$$

Кольцевые напряжения:

$$\sigma_y = \frac{p \cdot (D + s)}{2 \cdot (s - c)} = 0,1000 \cdot (3000 + 22) / (2 \cdot (22 - 1)) = 7,195 \text{ МПа}$$

Эквивалентные напряжения на наветренной стороне:

$$\sigma_{\Sigma 1} = \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = (2,809^2 - 2,809 \cdot 7,195 + 7,195^2)^{1/2} = 6,281 \text{ МПа}$$

Условие прочности на наветренной стороне

$$\max\{\sigma_{x1}; \sigma_{\Sigma 1}\} \leq [\sigma]_k \cdot \varphi$$

$$\max\{\sigma_{x1}; \sigma_{\Sigma 1}\} = \max\{2,809; 6,281\} = 6,281 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_k \cdot \varphi = 163 \cdot 1 = 163 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено

Продольные напряжения на подветренной стороне:

$$\sigma_{x2} = \frac{p \cdot (D + s)}{4 \cdot (s - c)} - \frac{F}{\pi \cdot D \cdot (s - c)} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D^2 \cdot (s - c)} = \frac{0,1000 \cdot (3000 + 22) / (4 \cdot (22 - 1)) - 2,907 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot 3000 \cdot (22 - 1))}{-4 \cdot 1,009 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot 3000^2 \cdot (22 - 1))} = 1,449 \text{ МПа}$$

Эквивалентные напряжения на подветренной стороне:

$$\sigma_{\Sigma 2} = \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2} \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} = (1,449^2 - 1,449 \cdot 7,195 + 7,195^2)^{1/2} = 6,591 \text{ МПа}$$

Условие прочности на подветренной стороне

$$\max\{\sigma_{x2}; \sigma_{\Sigma 2}\} \leq [\sigma]_k \cdot \varphi$$

$$\max\{\sigma_{x2}; \sigma_{\Sigma 2}\} = \max\{1,449; 6,591\} = 6,591 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_k \cdot \varphi = 163 \cdot 1 = 163 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено

Условие устойчивости для колонн, работающих под наружным давлением:

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} \leq 1,0$$

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} = 0,1000 / 0,2015 + 2,907 \cdot 10^5 / 3,071 \cdot 10^7 + 1,009 \cdot 10^5 / 2,333 \cdot 10^7 = 0,51$$

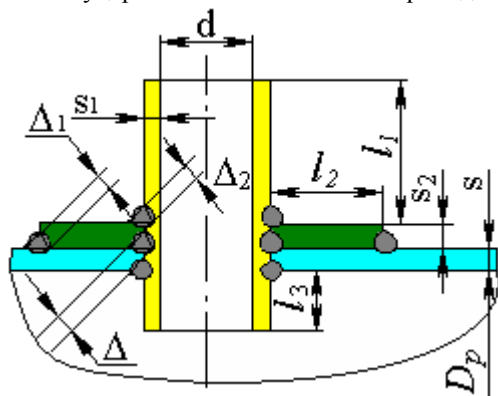
Условие устойчивости выполнено

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата				Инов. № дубл.	Подпись и дата								
Изм.	Взам. инв. №				Инов. № дубл.	Подпись и дата								

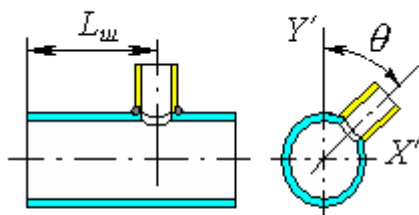
# Штуцер П DN600

## Исходные данные

Элемент: Штуцер П DN600  
 Условное обозначение (метка) Штуцер П  
 Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип штуцера: Проходящий с накладным кольцом



Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента, s: 22 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 1 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера, d: 600 мм  
 Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 16 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 1,8 мм  
 Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 210 мм



Смещение штуцера, L<sub>ш</sub>: 480 мм  
 Угол поворота штуцера, θ: 45 °  
 Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
 Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
 Материал кольца: 12X18H10T  
 Ширина кольца, l<sub>2</sub>: 100 мм  
 Толщина кольца, s<sub>2</sub>: 20 мм

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.  
19663.4

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

E-14.00.00.000 PP

Лист

59

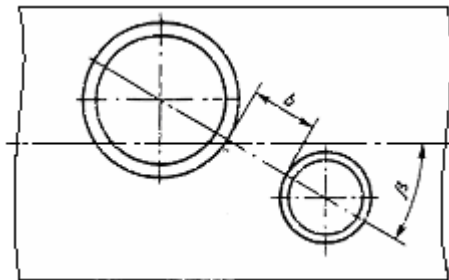
Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ : 1 мм

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta_1$ : 22 мм

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta_2$ : 1 мм

Расчётные параметры размещения штуцера:

Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер Д DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 2049 мм

Угол  $\beta$ : 99,69 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\varphi_1 = 1$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\varphi = 1$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 3000$  мм

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,679 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma] = 160$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E = 1,97 \cdot 10^5$  МПа

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma]_1 = 160$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E_1 = 1,97 \cdot 10^5$  МПа

#### Свойства материала кольца

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma]_2 = 160$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19663.4								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP			
					Лист			60

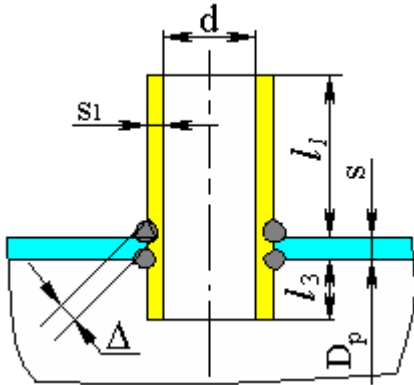




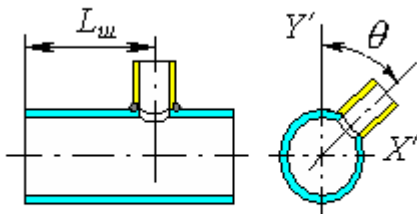
# Штуцер А DN200

## Исходные данные

Элемент: Штуцер А DN200  
 Условное обозначение (метка) Штуцер А  
 Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип штуцера: Проходящий без укрепления

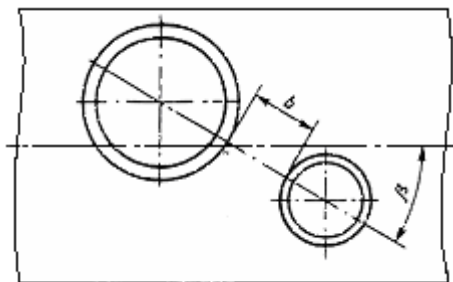


Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента, s: 22 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 1 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера, d: 200 мм  
 Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 14 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 3,1 мм  
 Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 122 мм



Смещение штуцера, L<sub>ш</sub>: 2660 мм  
 Угол поворота штуцера, θ: 180 °  
 Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
 Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
 Минимальный размер сварного шва, Δ: 1 мм  
 Расчётные параметры размещения штуцера:  
 Ближайший штуцер

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	E-14.00.00.000 PP	Лист
19663.4						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Название штуцера: Штуцер Б DN200

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 1968 мм

Угол  $\beta$ :  $173,1^\circ$

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\wp = 1$$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 3000 \text{ mm}$$

## Расчёт в расчётных условиях

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, Т: 200 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,661 МПа

## Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

### Свойства материала элемента, несущего штыцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ MPa}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала штуцера*

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{p}} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_h \cdot \varphi_1 - p]} = 1,661 \cdot (200 + 2 \cdot 3,1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,661) = 1,301 \text{ mm}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 132,5 * 1 * (14 - 3,1) / (200 + 14 + 3,1) = 13,3 \text{ МПа}$$

$$13,3 \text{ МПа} \geq 1,661 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

Изм.

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Расчёт внутреннего избыточного давления, р: 1,661 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### *Свойства материала элемента, несущего штуцер*

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 200 °С (расчётные условия):

[σ] = 160 МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

E = 1,97·10<sup>5</sup> МПа

#### *Свойства материала штуцера*

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 200 °С (расчётные условия):

[σ]<sub>1</sub> = 132,5 МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

E<sub>1</sub> = 1,97·10<sup>5</sup> МПа

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{ш}} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,661 \cdot (200 + 2 \cdot 3,1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,661) = 1,301 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 3,1) / (200 + 14 + 3,1) = 13,3 \text{ МПа}$$

13,3 МПа ≥ 1,661 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:



$$D_p = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 15,66 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 200 + 2 \cdot 3,1 = 206,2 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((22 - 1) / 15,66 - 0,8) \cdot (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 271,8 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 122; 1,25 \cdot ((200 + 2 \cdot 3,1) \cdot (14 - 3,1))^{1/2} \} = 59,26 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{\left[ \frac{\sigma}{\sigma_h} \right]}{\left[ \frac{\sigma}{\sigma} \right]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((200 + 2 \cdot 3,1) \cdot (14 - 3,1 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 251 \text{ мм}$$

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

$$L_k = 2626 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 251 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 100,4 \text{ мм}$$

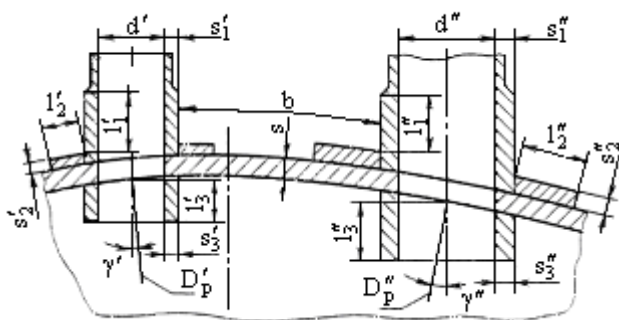
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}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

$$= \min \{ 1; [1 + (59,26 \cdot (14 - 3,1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 3,1 - 0) \cdot 0,8281) / (251 \cdot (22 - 1))] / [1 + 0,5 \cdot (206,2 - 100,4) / 251 + 1 \cdot (200 + 2 \cdot 3,1) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 59,26 / 251] \} = 0,8977$$

$$= 0,8977$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (22 - 1) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 0,8977 / [3000 + (22 - 1) \cdot 0,8977] = 1,998 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Подпись и дата	
Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			65



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Б DN200 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} + (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 502 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 1,998 \text{ МПа}$

$1,998 \text{ МПа} \geq 1,661 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (206,2 - 100,4) \cdot 15,66 = 0,8282 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

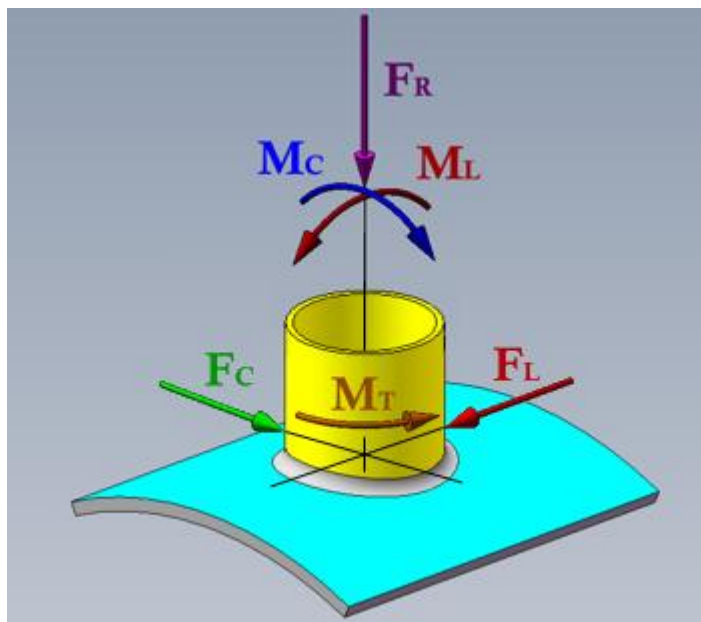
Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (s - s_p - c) \\ = 59,26 \cdot (14 - 1,301 - 3,1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 3,1 - 0) \cdot 0,8281 + 251 \cdot (22 - 15,66 - 1) \\ = 0,001813 \text{ м}^2$$

$$A_r = 0,8282 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,001813 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

### Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007



Радиальная нагрузка,  $F_R$ : (-6600) Н

Окружной момент,  $M_C$ : 4200 Н м

Продольный момент,  $M_L$ : 4200 Н м

Крутящий момент,  $M_T$ : 5900 Н м

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата
Е-14.00.00.000 РР			
Лист 66			

Сдвиговая нагрузка,  $F_C$ : 4700 Н  
 Сдвиговая нагрузка,  $F_L$ : 4700 Н  
 Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:

$$s_3 = s - c = 22 - 1 = 21 \text{ мм}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c = 3000 + 22 + 1 = 3023 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 200 + 14 + 3,1 = 217,1 \text{ мм}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_3}} = 217,1 / (3023 \cdot 21)^{1/2} = 0,8617$$

Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:

$$b_p = 1968 \text{ мм}$$

Средний радиус обечайки у отверстия:

$$R_c = \frac{D_c}{2} = 3023 / 2 = 1511 \text{ мм}$$

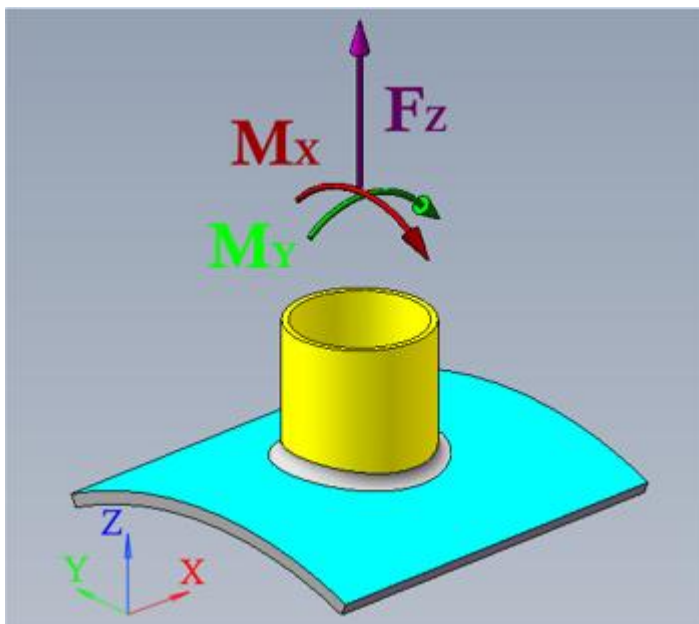
Прочность от действия давления:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |1,661 / 1,998| = 0,8313$$

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

$0,8313 \leq 1,0$ . Условие прочности выполнено

### Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007



Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-6600) = 6600 \text{ Н}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot (s - c)}} = 217,1 / (3023 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 0,8617$$

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 0,6007 + 0,952 \cdot 0,8617 + 0,005196 \cdot 0,8617^2 + (-0,001406) \cdot 0,8617^3 + 0 \cdot 0,8617^4 = 1,424$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,8617$ ):

Инов. № подл.	19663.4	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист 67

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \max\{C_1; 1.81\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot \max\{1.424; 1.81\} = 1,277 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |6600 / 1,277 \cdot 10^5| = 0,05168$$

Условие прочности:  $\Phi_z \leq 1$

0,05168 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Окружной приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_x = M_c = 4200 \text{ Н м}$$

Продольный приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_y = M_L = 4200 \text{ Н м}$$

$$C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 4,526 + 0,06402 \cdot 0,8617 + 0,1589 \cdot 0,8617^2 + (-0,02142) \cdot 0,8617^3 + 0,001035 \cdot 0,8617^4 = 4,686$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,8617$ ):

$$[M_x] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_2; 4.9\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot 217,1 / 4 \cdot \max\{4,686; 4.9\} = 1,877 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

$$C_3 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 6,011$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,8617$ ):

$$[M_y] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_3; 4.9\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot 217,1 / 4 \cdot \max\{6,011; 4.9\} = 2,302 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

$$\Phi_b = \sqrt{\left( \frac{M_x}{[M_x]} \right)^2 + \left( \frac{M_y}{[M_y]} \right)^2} = ((4200 / 1,877 \cdot 10^4)^2 + (4200 / 2,302 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 0,2888$$

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

0,2888 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\sqrt{\left[ \max \left( \left| \frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z \right|; \left| \Phi_z \right|; \left| \frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_z \right| \right) \right]^2 + \Phi_b^2} = \left( \max \left( |0,8313 / 1 + 0,05168|; |0,05168|; |0,8313 / 1 - 0.2 \cdot 0,05168| \right) \right)^2 + 0,2888^2)^{1/2} = 0,929$$

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

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

0,929 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = \frac{1,661 \cdot (200 + 14) / (4 \cdot (14 - 3,1)) + 4 \cdot (4200^2 + 4200^2)^{1/2} / (3,142 \cdot (200 + 14)^2 \cdot (14 - 3,1)) + 6600 / (3,142 \cdot (200 + 14) \cdot (14 - 3,1))}{24,2 \text{ МПа}}$$

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

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

24,2 МПа ≤ 132,5 МПа. **Условие прочности выполнено**

$$\left| \frac{p}{[p]} \right| + \sqrt{\frac{M_x^2 + M_y^2}{[M]^2}} + \left| \frac{F_z}{[F]} \right| = 0 / 13,3 + (4200^2 + 4200^2)^{1/2} / 4,784 \cdot 10^4 + |0| / 9,569 \cdot 10^5 = 0,1242$$

Изн. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист
					68

Если  $F_z$  растягивающая продольная сила, а  $p$  – внутреннее избыточное давление, то  $F_z$  и  $p$  следует принять равными нулю.

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

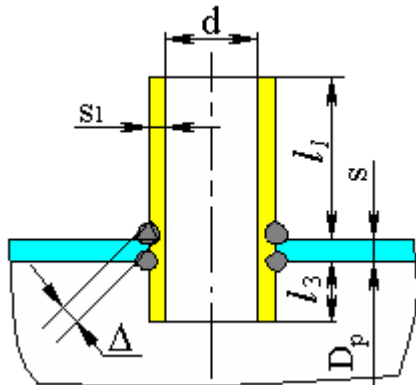
$0,1242 \leq 1.0$ . Условие устойчивости выполнено

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	Лист
						69

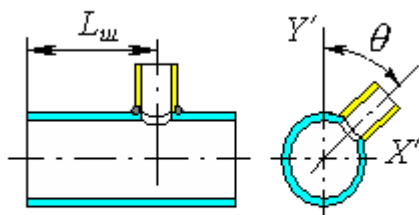
# Штуцер Б DN200

## Исходные данные

Элемент: Штуцер Б DN200  
 Условное обозначение (метка) Штуцер Б  
 Элемент, несущий штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип элемента, несущего штуцер: Обечайка цилиндрическая  
 Тип штуцера: Проходящий без укрепления

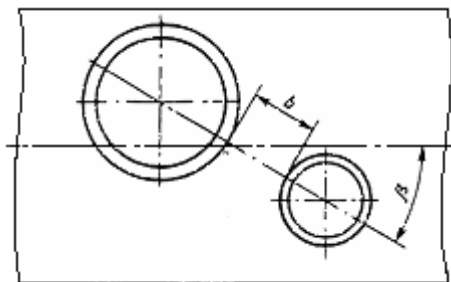


Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента,  $s$ : 22 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента,  $c$ : 1 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера,  $d$ : 200 мм  
 Толщина стенки штуцера,  $s_1$ : 14 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию),  $c_s$ : 3,1 мм  
 Длина штуцера,  $l_1$ : 122 мм



Смещение штуцера,  $L_{ш}$ : 480 мм  
 Угол поворота штуцера,  $\theta$ : 170 °  
 Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ : 0 мм  
 Прибавка на коррозию,  $c_{s1}$ : 0 мм  
 Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ : 1 мм  
 Расчётные параметры размещения штуцера:  
 Ближайший штуцер

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				70



Название штуцера: Штуцер К DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 379,2 мм

Угол  $\beta$ : 90 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\varphi_1 = 1$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\varphi = 1$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 3000$  мм

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,677 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma] = 160$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E = 1,97 \cdot 10^5$  МПа

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma]_1 = 132,5$  МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E_1 = 1,97 \cdot 10^5$  МПа

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,677 \cdot (200 + 2 \cdot 3,1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,677) = 1,313 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 3,1) / (200 + 14 + 3,1) = 13,3 \text{ МПа}$$

13,3 МПа  $\geq$  1,677 МПа

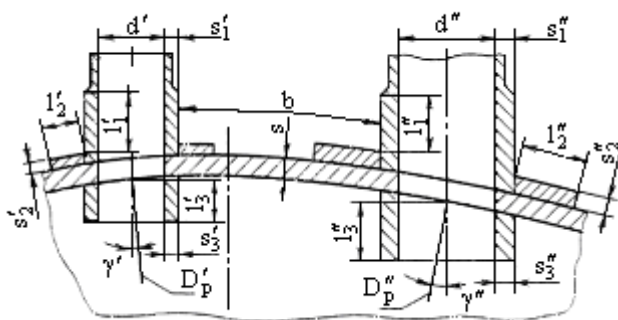
Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				71







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

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} + (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 502 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчет укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(90)] / 2 = 0,5$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0,8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi'_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi''_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(59,26 \cdot (14 - 3,1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 3,1 - 0) \cdot 0,8281 + 31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (379,2 \cdot (22 - 1))] / (0,5 \cdot (0,8 + (206,2 + 50) / (2 \cdot 379,2) + 1 \cdot [(200 + 2 \cdot 3,1) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 59,26 / 379,2 + [(48 + 2 \cdot 1) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 379,2] \cdot 1)) = 1,911 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_{\Sigma} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 1 \cdot (22 - 1) \cdot 1 \cdot 160 / [0,5 \cdot (3000 + 3000) + (22 - 1) \cdot 1] \cdot 1 = 2,224 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 1,998; 2,224 \} \text{ МПа}$

$$1,998 \text{ МПа} \geq 1,677 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (206,2 - 100,4) \cdot 15,81 = 0,8362 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 59,26 \cdot (14 - 1,313 - 3,1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 3,1 - 0) \cdot 0,8281 + 251 \cdot (22 - 15,81 - 1)$$

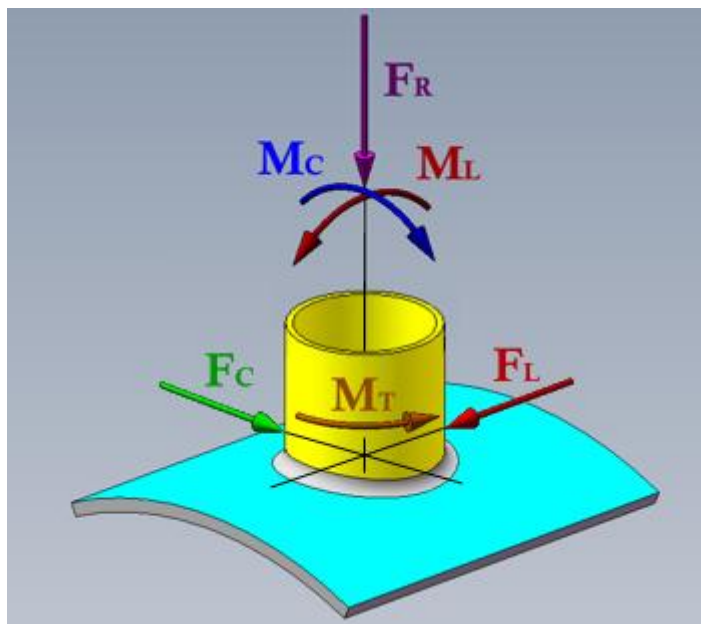
$$= 0,001774 \text{ м}^2$$

$$A_r = 0,8362 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,001774 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата
Е-14.00.00.000 PP			Лист
			73

# Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007



Радиальная нагрузка,  $F_R$ : (-6600) Н

Окружной момент,  $M_C$ : 4200 Н м

Продольный момент,  $M_L$ : 4200 Н м

Крутящий момент,  $M_T$ : 5900 Н м

Сдвиговая нагрузка,  $F_C$ : 4700 Н

Сдвиговая нагрузка,  $F_L$ : 4700 Н

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:

$$s_3 = s - c = 22 - 1 = 21 \text{ мм}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c = 3000 + 22 + 1 = 3023 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 200 + 14 + 3,1 = 217,1 \text{ мм}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_3}} = 217,1 / (3023 \cdot 21)^{1/2} = 0,8617$$

Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:

$$b_p = 366 \text{ мм}$$

Средний радиус обечайки у отверстия:

$$R_c = \frac{D_c}{2} = 3023 / 2 = 1511 \text{ мм}$$

Прочность от действия давления:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |1,677 / 1,998| = 0,8393$$

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

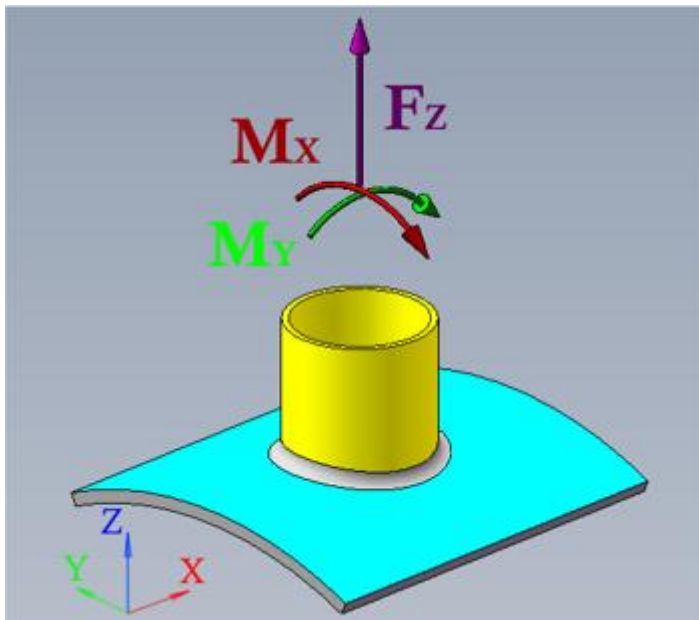
$0,8393 \leq 1,0$ . Условие прочности выполнено

**Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007**

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Инов. № дубл.	Подпись и дата
Взам. инв. №	Подпись и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Е-14.00.00.000 РР



Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-6600) = 6600 \text{ Н}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot (s - c)}} = 217,1 / (3023 \cdot (22 - 1)^{1/2}) = 0,8617$$

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 0,6007 + 0,952 \cdot 0,8617 + 0,005196 \cdot 0,8617^2 + (-0,001406) \cdot 0,8617^3 + 0 \cdot 0,8617^4 = 1,424$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,8617$ ):

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \max\{C_1; 1,81\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot \max\{1,424; 1,81\} = 1,277 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |6600 / 1,277 \cdot 10^5| = 0,05168$$

Условие прочности:  $\Phi_z \leq 1$

0,05168  $\leq$  1,0. **Условие прочности выполнено**

Окружной приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_x = M_c = 4200 \text{ Н м}$$

Продольный приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_y = M_L = 4200 \text{ Н м}$$

$$C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 4,526 + 0,06402 \cdot 0,8617 + 0,1589 \cdot 0,8617^2 + (-0,02142) \cdot 0,8617^3 + 0,001035 \cdot 0,8617^4 = 4,686$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,8617$ ):

$$[M_x] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_2; 4,9\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot 217,1 / 4 \cdot \max\{4,686; 4,9\} = 1,877 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

$$C_3 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 6,011$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,8617$ ):

$$[M_y] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_3; 4,9\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot 217,1 / 4 \cdot \max\{6,011; 4,9\} = 2,302 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Инов. № дубл.	
Подпись и дата		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист 75			

$$\Phi_b = \sqrt{\left(\frac{M_x}{[M_x]}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{[M_y]}\right)^2} = ((4200 / 1,877 \cdot 10^4)^2 + (4200 / 2,302 \cdot 10^4)^2)^{1/2} = 0,2888$$

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

0,2888 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\sqrt{\left[\max\left(\left|\frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_z\right|; \left|\Phi_z\right|; \left|\frac{\Phi_p}{C_4} - 0,2 \cdot \Phi_z\right|\right)\right]^2 + \Phi_b^2} = \left(\max(|0,8393 / 1 + 0,05168|; |0,05168|; |0,8393 / 1 - 0,2 \cdot 0,05168|)^2 + 0,2888^2\right)^{1/2} = 0,9366$$

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

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

0,9366 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = 1,677 \cdot (200 + 14) / (4 \cdot (14 - 3,1)) + 4 \cdot (4200^2 + 4200^2)^{1/2} / (3,142 \cdot (200 + 14)^2 \cdot (14 - 3,1)) + 6600 / (3,142 \cdot (200 + 14) \cdot (14 - 3,1)) = 24,28 \text{ МПа}$$

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

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

24,28 МПа ≤ 132,5 МПа. **Условие прочности выполнено**

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_z|}{[F]} = 0 / 13,3 + (4200^2 + 4200^2)^{1/2} / 4,784 \cdot 10^4 + |0| / 9,569 \cdot 10^5 = 0,1242$$

Если  $F_z$  растягивающая продольная сила, а  $p$  – внутреннее избыточное давление, то  $F_z$  и  $p$  следует принять равными нулю.

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

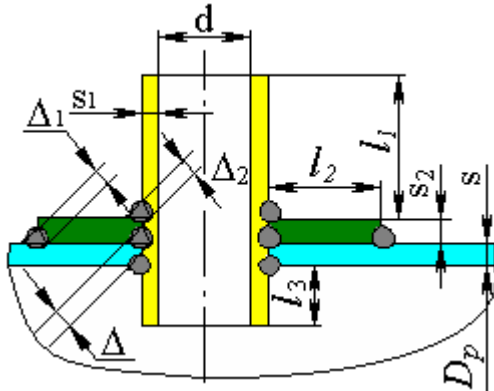
0,1242 ≤ 1.0. **Условие устойчивости выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист			
76			

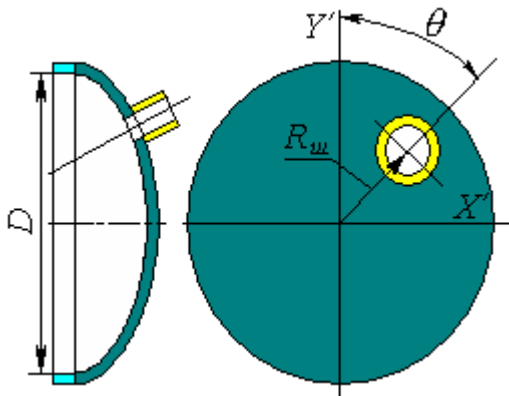
# Штуцер Г DN150

## Исходные данные

Элемент: Штуцер Г DN150  
 Условное обозначение (метка) Штуцер Г  
 Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (нижнее)  
 Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое  
 Тип штуцера: Проходящий с накладным кольцом



Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента,  $s$ : 25 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента,  $c$ : 5,55 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера,  $d$ : 144 мм  
 Толщина стенки штуцера,  $s_1$ : 12 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию),  $c_s$ : 2,8 мм  
 Длина штуцера,  $l_1$ : 154 мм



Смещение штуцера,  $R_{ш}$ : 0 мм  
 Угол поворота штуцера,  $\theta$ : 0 °  
 Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ : 0 мм  
 Прибавка на коррозию,  $c_{s1}$ : 0 мм  
 Материал кольца: 12X18H10T  
 Ширина кольца,  $l_2$ : 80 мм

Исх. № подл.	Исх. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			Лист
			77

Толщина кольца,  $s_2$ : 22 мм

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ : 1 мм

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta_1$ : 1 мм

Минимальный размер сварного шва,  $\Delta_2$ : 1 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 0^2 / 3000^4)^{1/2} = 6000 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура,  $T$ : 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление,  $p$ : 1,687 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### *Свойства материала элемента, несущего штуцер*

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200$  °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### *Свойства материала штуцера*

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200$  °C (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### *Свойства материала кольца*

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200$  °C (расчётные условия):

$$[\sigma]_2 = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_2 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,687 \cdot (144 + 2 \cdot 2,8) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,687) = 0,9587 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (12 - 2,8) / (144 + 12 + 2,8) = 15,35 \text{ МПа}$$

$$15,35 \text{ МПа} \geq 1,687 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Модуль продольной упругости при температуре 200 °С: E = 1,97·10 <sup>5</sup> МПа	
					<b>Свойства материала штуцера</b>	
					Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 200 °С (расчётные условия): [σ] <sub>1</sub> = 132,5 МПа Модуль продольной упругости при температуре 200 °С: E <sub>1</sub> = 1,97·10 <sup>5</sup> МПа	
					<b>Свойства материала кольца</b>	
					Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 200 °С (расчётные условия): [σ] <sub>2</sub> = 160 МПа Модуль продольной упругости при температуре 200 °С: E <sub>2</sub> = 1,97·10 <sup>5</sup> МПа Расчётная толщина стенки штуцера: $s_{\Phi} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \Phi_1 - p} = 1,687 * (144 + 2 * 2,8) / (2 * 132,5 * 1 - 1,687) = 0,9587 \text{ мм}$ Допускаемое давление для патрубкa штуцера: $[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \Phi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 132,5 * 1 * (12 - 2,8) / (144 + 12 + 2,8) = 15,35 \text{ МПа}$ 15,35 МПа ≥ 1,687 МПа Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено</b> Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	Лист
						78



Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (149,6 - 136,6) \cdot 15,86 = 0,1027 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

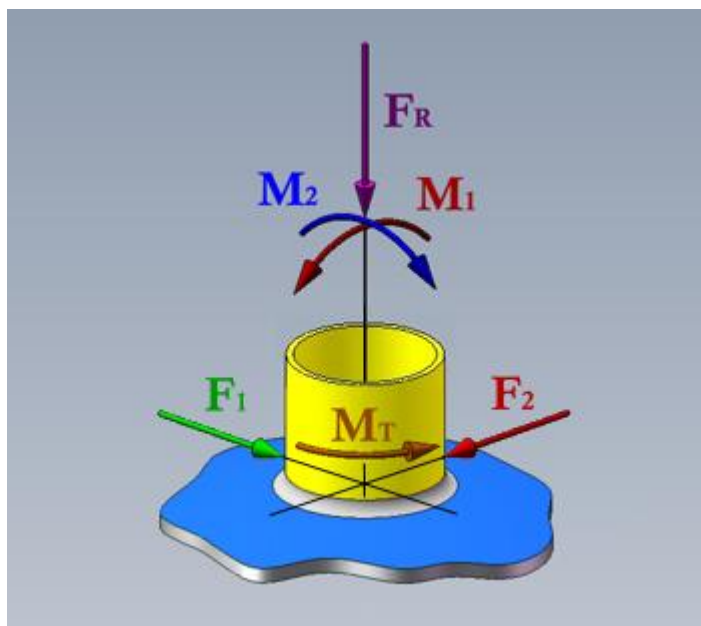
$$= 46,37 \cdot (12 - 0,9587 - 2,8) \cdot 0,8281 + 80 \cdot 22 \cdot 1 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281 + 341,6 \cdot (25 - 15,86 - 5,55)$$

$$= 0,003302 \text{ м}^2$$

$$A_r = 0,1027 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,003302 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

## Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007



Радиальная нагрузка,  $F_R$ : (-4800) Н

Окружной момент,  $M_1$ : 2400 Н м

Продольный момент,  $M_2$ : 2400 Н м

Крутящий момент,  $M_T$ : 3400 Н м

Сдвиговая нагрузка,  $F_1$ : 3400 Н

Сдвиговая нагрузка,  $F_2$ : 3400 Н

Средний радиус обечайки у отверстия:

$$R_c = \frac{D^2}{4 \cdot H} + \frac{s + s_2}{2} = 3000^2 / (4 \cdot 750) + (25 + 22) / 2 = 3023 \text{ мм}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c + s_2 = 6000 + 25 + 5,55 + 22 = 6053 \text{ мм}$$

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера при  $l_2 < \sqrt{R_c \cdot (s + s_2)}$ :

$$s_3 = s + \min \left\{ s_2 \cdot \frac{l_2}{\sqrt{D_c \cdot (s + s_2)}}; s_2 \right\} \cdot \chi_2 - c = 25 + \min \{ 22 \cdot 80 / (6053 \cdot (25 + 22))^{1/2}; 22 \} \cdot 1 - 5,55 = 22,75 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 144 + 12 + 2,8 = 158,8 \text{ мм}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot s_3}} = 158,8 / (3023 \cdot 22,75)^{1/2} = 0,6055$$

Изн.	№ подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	
						Лист
						80



Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:

$$b_p = 1771 \text{ мм}$$

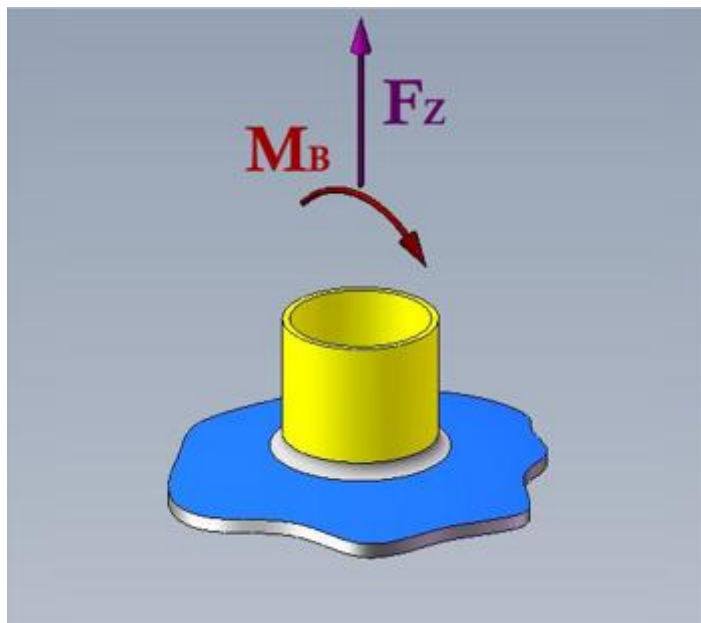
Прочность от действия давления:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |1,687 / 2,068| = 0,816$$

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

$0,816 \leq 1,0$ . Условие прочности выполнено

### Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007



Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-4800) = 4800 \text{ Н}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)}} = 158,8 / (3023 \cdot (25 + 1 \cdot 22 - 5,55))^{1/2} = 0,4486$$

$$K_4 = \min \left( \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot (s_1 - c_s)}{[\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}, 1 \right) = \min \left( \frac{2 \cdot 132,5 \cdot (12 - 2,8)}{160 \cdot (25 + 1 \cdot 22 - 5,55)} \cdot ((12 - 2,8) / 158,8)^{1/2}, 1 \right) = 0,08848$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ( $\lambda_s = 0,4486$ ,  $K = 0,08848$ )

$$[F_{z1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \left\{ 1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2 \right\} = 160 \cdot (25 + 1 \cdot 22 - 5,55)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot (1 + 0,08848)^{1/2} \cdot 0,4486 + 0,91 \cdot 0,08848 \cdot 0,4486^2) = 8,135 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Наружный диаметр накладного кольца:

$$D_2 = d + 2 \cdot s_1 + 2 \cdot 1_2 = 144 + 2 \cdot 12 + 2 \cdot 80 = 328 \text{ мм}$$

$$\lambda_s = \frac{D_2}{\sqrt{R_c \cdot (s - c)}} = 328 / (3023 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 1,353$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ( $\lambda_s = 1,353$ ):

$$[F_{z2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \left\{ 1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + 1} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot \lambda_s^2 \right\} = 160 \cdot (25 - 5,55)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot (1 + 1)^{1/2} \cdot 1,353 + 0,91 \cdot 1,353^2) = 4,888 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при наличии накладного кольца:

$$[F_z] = \min \{ [F_{z1}], [F_{z2}] \} = \min \{ 8,135 \cdot 10^5 ; 4,888 \cdot 10^5 \} = 4,888 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

Изн. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	
						Лист
						81

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |4800 / 4,888 \cdot 10^5| = 0,009820$$

Условие прочности:  $\Phi_z \leq 1$

0,009820 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_b = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = (2400^2 + 2400^2)^{1/2} = 3394 \text{ Н м}$$

$$K_4 = \min \left( \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot (s_1 - c_s)}{[\sigma] \cdot s_s}, \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}; 1 \right) = \min(2 \cdot 132,5 \cdot (12 - 2,8) / (160 \cdot 22,75) \cdot ((12 - 2,8) / 158,8)^{1/2}; 1) = 0,1612$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности в месте пересечения штуцера с обечайкой ( $\lambda_s = 0,6055$ ,  $K = 0,1612$ ):

$$[M_{b1}] = [\sigma] \cdot (s + \chi_2 \cdot s_2 - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \left( 4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2 \right) = \frac{160 \cdot (25 + 1 \cdot 22 - 5,55)^2 \cdot 158,8 / 4 \cdot (4,9 + 2,0 \cdot (1 + 0,1612)^{1/2} \cdot 0,6055 + 0,91 \cdot 0,1612 \cdot 0,6055^2)}{0,1612 \cdot 0,6055^2} = 6,83 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности у внешней кромки накладного кольца ( $\lambda_s = 1,353$ ):

$$[M_{b2}] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{D_2}{4} \cdot \left( 4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + 1} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot \lambda_s^2 \right) = \frac{160 \cdot (25 - 5,55)^2 \cdot 328 / 4 \cdot (4,9 + 2,0 \cdot (1 + 1)^{1/2} \cdot 1,353 + 0,91 \cdot 1,353^2)}{1,353 + 0,91 \cdot 1,353^2} = 5,157 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент при наличии накладного кольца:

$$[M_b] = \min \{ [M_{b1}]; [M_{b2}] \} = \min \{ 6,83 \cdot 10^4; 5,157 \cdot 10^4 \} = 5,157 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

$$\Phi_b = \left| \frac{M_b}{[M_b]} \right| = |3394 / 5,157 \cdot 10^4| = 0,06581$$

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

0,06581 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\max \left( \left| \Phi_p + \Phi_z \right|; \left| \Phi_z \right|; \left| \Phi_p - 0,2 \cdot \Phi_z \right| \right) + \Phi_b = \max( |0,816 + 0,009820|; |0,009820|; |0,816 - 0,2 \cdot 0,009820| ) + 0,06581 = 0,8916$$

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

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

0,8916 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = \frac{1,687 \cdot (144 + 12) / (4 \cdot (12 - 2,8)) + 4 \cdot 3394 / (3,142 \cdot (144 + 12)^2 \cdot (12 - 2,8)) + 4800 / (3,142 \cdot (144 + 12) \cdot (12 - 2,8))}{1} = 27,52 \text{ МПа}$$

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

$$\text{Условие прочности: } \sigma_1 \leq [\sigma]_1$$

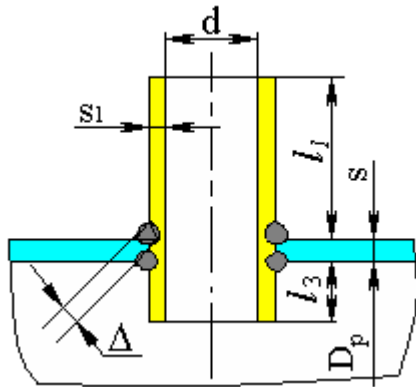
27,52 МПа ≤ 132,5 МПа. **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата				
	Инов. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подпись и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP
					Лист
					82

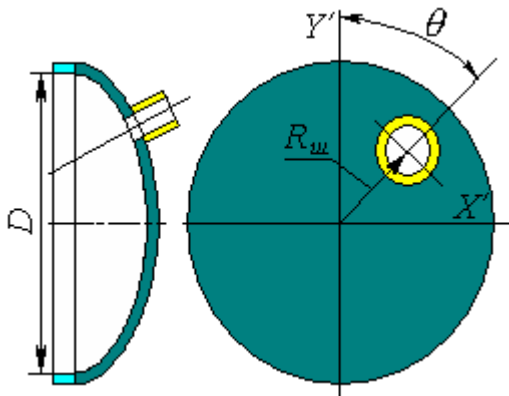
# Штуцер В DN100

## Исходные данные

Элемент: Штуцер В DN100  
 Условное обозначение (метка) Штуцер В  
 Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (верхнее)  
 Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое  
 Тип штуцера: Проходящий без укрепления

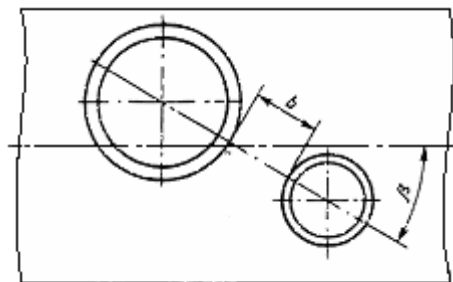


Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента,  $s$ : 25 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента,  $c$ : 5,55 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера,  $d$ : 97 мм  
 Толщина стенки штуцера,  $s_1$ : 12 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию),  $c_s$ : 2,8 мм  
 Длина штуцера,  $l_1$ : 130 мм



Смещение штуцера,  $R_{ш}$ : 0 мм  
 Угол поворота штуцера,  $\theta$ : 0 °  
 Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ : 0 мм  
 Прибавка на коррозию,  $c_{s1}$ : 0 мм  
 Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ : 1 мм  
 Расчётные параметры размещения штуцера:  
 Ближайший штуцер

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				83



Название штуцера: Штуцер Е DN100

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 400,9 мм

Угол  $\beta$ : 90 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 0^2 / 3000^4)^{1/2} = 6000 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,602 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,602 \cdot (97 + 2 \cdot 2,8) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,602) = 0,624 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (12 - 2,8) / (97 + 12 + 2,8) = 21,81 \text{ МПа}$$

$$21,81 \text{ МПа} \geq 1,602 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

E-14.00.00.000 PP

Лист

84

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 0^2 / 3000^4)^{1/2} = 6000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 15,06 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 97 + 2 \cdot 2,8 = 102,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((25 - 5,55) / 15,06 - 0,8) \cdot (6000 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 336 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 130; 1,25 \cdot ((97 + 2 \cdot 2,8) \cdot (12 - 2,8))^{1/2} \} = 38,4 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma_1]}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((97 + 2 \cdot 2,8) \cdot (12 - 2,8 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (6000 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 341,6 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 341,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (6000 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 136,6 \text{ мм}$$

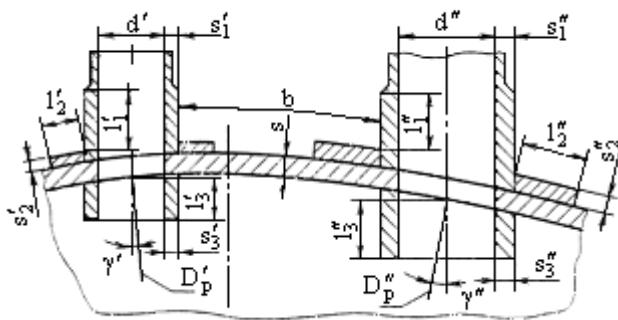
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}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

$$= \min \{ 1; [1 + (38,4 \cdot (12 - 2,8) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281) / (341,6 \cdot (25 - 5,55))] / [1 + 0,5 \cdot (102,6 - 136,6) / 341,6 + 2 \cdot (97 + 2 \cdot 2,8) / 6000 \cdot 1 / 1 \cdot 38,4 / 341,6] \} = 1,094$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [6000 + (25 - 5,55) \cdot 1] = 2,068 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Подпись и дата	
Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
		Дата	
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			85



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Е DN100 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (6000 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} + (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 675,3 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}' \cdot (s_1' - c_s') \cdot \chi_1' + l_{2p}' \cdot s_2' \cdot \chi_2' + l_{3p}' \cdot (s_3' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_3' + l_{1p}'' \cdot (s_1'' - c_s) \cdot \chi_1'' + l_{2p}'' \cdot s_2'' \cdot \chi_2'' + l_{3p}'' \cdot (s_3'' - c_s'' - c_{s1}'') \cdot \chi_3''}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0,8 + \frac{d_p' + d_p''}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c_s'}{D_p'} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi_1'} \cdot \frac{l_{1p}'}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s''}{D_p''} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi_1''} \cdot \frac{l_{1p}''}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(38,4 \cdot (12 - 2,8) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281 + 38,4 \cdot (12 - 2,8) \cdot 0,8281 + 100 \cdot 16 \cdot 1 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281) / (400,9 \cdot (25 - 5,55))] / (1 \cdot (0,8 + (102,6 + 104,3) / (2 \cdot 400,9)) + 2 \cdot [(97 + 2 \cdot 2,8) / 6000 \cdot 1 / 1 \cdot 38,4 / 400,9 + [(97 + 2 \cdot 2,8) / 5723 \cdot 1 / 1 \cdot 38,4 / 400,9]]) = 1,202 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_{\text{в}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D_p' + D_p'') + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 / [0,5 \cdot (6000 + 5723) + (25 - 5,55) \cdot 1] \cdot 1 = 2,117 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2,068; 2,117 \}$  МПа

2,068 МПа  $\geq$  1,602 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (102,6 - 136,6) \cdot 15,06 = (-0,2563 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_{1p}' \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p}' \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p}' \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_{1p}'' \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p}'' \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p}'' \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3$$

$$= 38,4 \cdot (12 - 0,624 - 2,8) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 16 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281 + 341,6 \cdot (25 - 15,06 - 5,55)$$

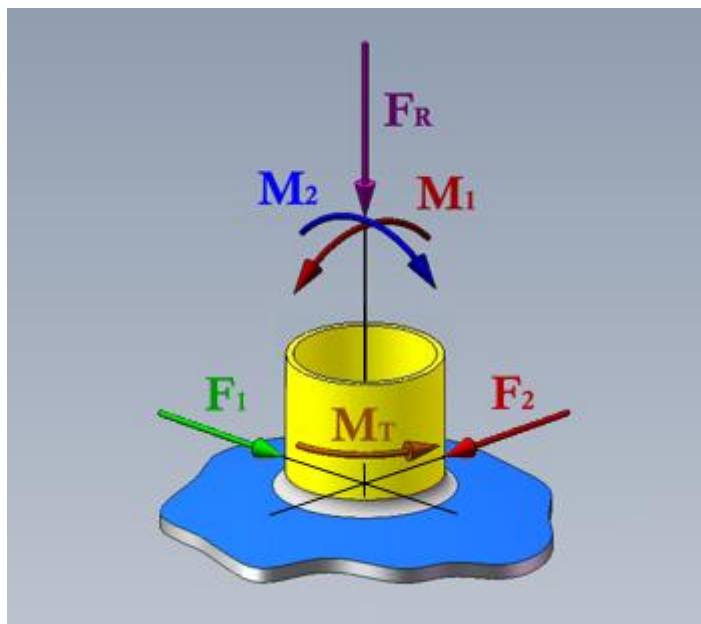
$$= 0,001774 \text{ м}^2$$

$$A_r = (-0,2563 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,001774 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Подпись и дата	
Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист			
86			

# Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007



Радиальная нагрузка,  $F_R$ : (-3200) Н

Окружной момент,  $M_1$ : 1100 Н м

Продольный момент,  $M_2$ : 1100 Н м

Крутящий момент,  $M_T$ : 1500 Н м

Сдвиговая нагрузка,  $F_1$ : 2300 Н

Сдвиговая нагрузка,  $F_2$ : 2300 Н

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:

$$s_3 = s - c = 25 - 5,55 = 19,45 \text{ мм}$$

Средний радиус обечайки у отверстия:

$$R_c = \frac{D^2}{4 \cdot H} + \frac{s}{2} = 3000^2 / (4 \cdot 750) + 25 / 2 = 3012 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 97 + 12 + 2,8 = 111,8 \text{ мм}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot s_3}} = 111,8 / (3012 \cdot 19,45)^{1/2} = 0,4619$$

Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:

$$b_p = 300,9 \text{ мм}$$

Прочность от действия давления:

$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |1,602 / 2,068| = 0,7747$$

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

$0,7747 \leq 1,0$ . Условие прочности выполнено

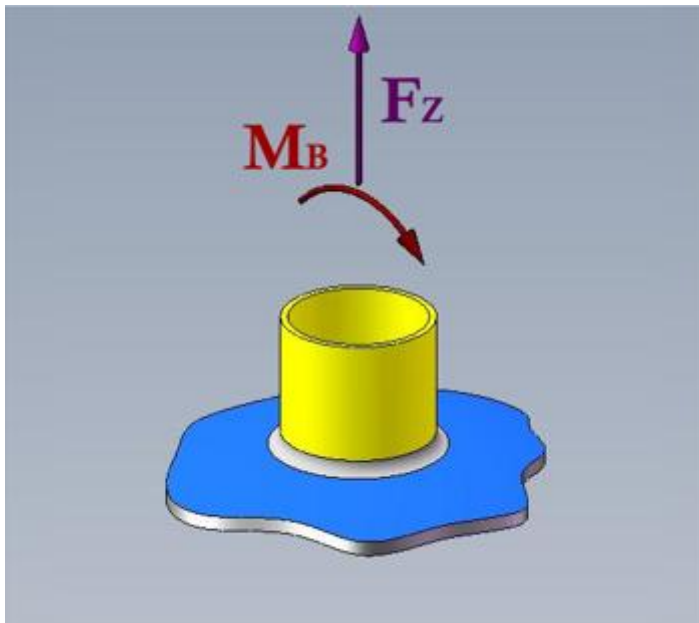
**Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007**

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

E-14.00.00.000 PP

Лист

87



Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

$$F_z = -F_R = -(-3200) = 3200 \text{ Н}$$

$$\lambda_s = \frac{d_c}{\sqrt{R_c \cdot (s - c)}} = 111,8 / (3012 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 0,4619$$

$$K_4 = \min \left( \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot (s_1 - c_s)}{[\sigma] \cdot (s - c)} \cdot \sqrt{\frac{s_1 - c_s}{d_c}}, 1 \right) = \min(2 \cdot 132,5 \cdot (12 - 2,8) / (160 \cdot (25 - 5,55)) \cdot ((12 - 2,8) / 111,8)^{1/2}; 1) = 0,2247$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_s = 0,4619$ ,  $K = 0,2247$ ):

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2) = 160 \cdot (25 - 5,55)^2 \cdot (1,82 + 2,4 \cdot (1 + 0,2247)^{1/2} \cdot 0,4619 + 0,91 \cdot 0,2247 \cdot 0,4619^2) = 1,871 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |3200 / 1,871 \cdot 10^5| = 0,01711$$

Условие прочности:  $\Phi_z \leq 1$

$0,01711 \leq 1,0$ . **Условие прочности выполнено**

Приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_b = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = (1100^2 + 1100^2)^{1/2} = 1556 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_s = 0,4619$ ,  $K = 0,2247$ ):

$$[M_b] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot (4,9 + 2,0 \cdot \sqrt{1 + K_4} \cdot \lambda_s + 0,91 \cdot K_4 \cdot \lambda_s^2) = 160 \cdot (25 - 5,55)^2 \cdot 111,8 / 4 \cdot (4,9 + 2,0 \cdot (1 + 0,2247)^{1/2} \cdot 0,4619 + 0,91 \cdot 0,2247 \cdot 0,4619^2) = 1,009 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

$$\Phi_b = \left| \frac{M_b}{[M_b]} \right| = |1556 / 1,009 \cdot 10^4| = 0,1541$$

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

$0,1541 \leq 1,0$ . **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\max(|\Phi_p + \Phi_z|; |\Phi_z|; |\Phi_p - 0,2 \cdot \Phi_z|) + \Phi_b = \max(|0,7747 + 0,01711|; |0,01711|; |0,7747 - 0,2 \cdot 0,01711|) + 0,1541 = 0,9459$$

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

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

$0,9459 \leq 1,0$ . **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата
19663.4	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	



Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot M_b}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)}$$

$$= \frac{1,602 \cdot (97 + 12)}{(97 + 12)^2 \cdot (12 - 2,8)} + \frac{4 \cdot 1556}{(97 + 12) \cdot (12 - 2,8)} = 23,88 \text{ МПа}$$

Если F<sub>z</sub> создает сжимающее напряжение, ее следует принять равной нулю.

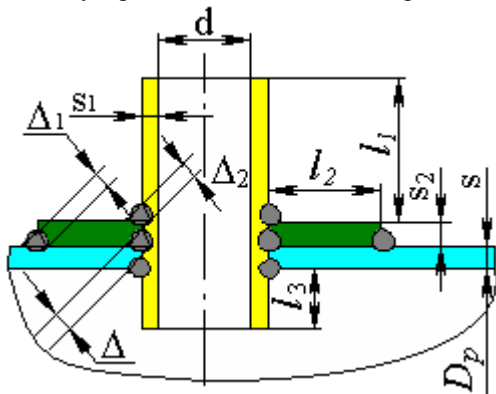
Условие прочности:  $\sigma_1 \leq [\sigma]_1$   
23,88 МПа ≤ 132,5 МПа. Условие прочности выполнено

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата		Инв. № дубл.		Подпись и дата	
	Взам. инв. №					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	
					Лист	89

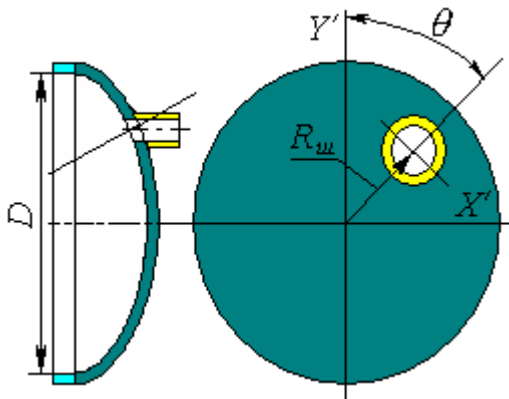
# Штуцер Е DN100

## Исходные данные

Элемент: Штуцер Е DN100  
 Условное обозначение (метка) Штуцер Е  
 Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (верхнее)  
 Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое  
 Тип штуцера: Проходящий с накладным кольцом



Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента, s: 25 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 5,55 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера, d: 97 мм  
 Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 12 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 2,8 мм  
 Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 165 мм



Смещение штуцера, R<sub>ш</sub>: 520 мм  
 Угол поворота штуцера, θ: 270 °  
 Полученный угол наклона штуцера, γ: (-10,44) °  
 Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
 Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
 Материал кольца: 12X18H10T

Исх. № подл.	19663.4	Взам. инв. №	Исх. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист 90



### Свойства материала кольца

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_2 = 160\text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E_2 = 1,97 \cdot 10^5\text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,602 \cdot (97 + 2 \cdot 2,8) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,602) = 0,6242\text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (12 - 2,8) / (97 + 12 + 2,8) = 21,81\text{ МПа}$$

$$21,81\text{ МПа} \geq 1,602\text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 520^2 / 3000^4)^{1/2} = 5723\text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 14,37\text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (97 + 2 \cdot 2,8) / [1 - (2 \cdot 520 / 5723)^2]^{1/2} = 104,3\text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((25 - 5,55) / 14,37 - 0,8) \cdot (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 369,7\text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 165; 1,25 \cdot ((97 + 2 \cdot 2,8) \cdot (12 - 2,8))^{1/2} \} = 38,4\text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 333,6\text{ мм}$$

Расчётная ширина кольца:

$$l_{2p} = \min \{ l_2; \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \} = \min \{ 100; (5723 \cdot (16 + 25 - 5,55))^{1/2} \} = 100\text{ мм}$$

Для накладного кольца:

$$\chi_2 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0, 160 / 160 \} = 1$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((97 + 2 \cdot 2,8) \cdot (12 - 2,8 - 0))^{1/2} \} = 0\text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 333,6\text{ мм}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 PP					Лист
										92
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

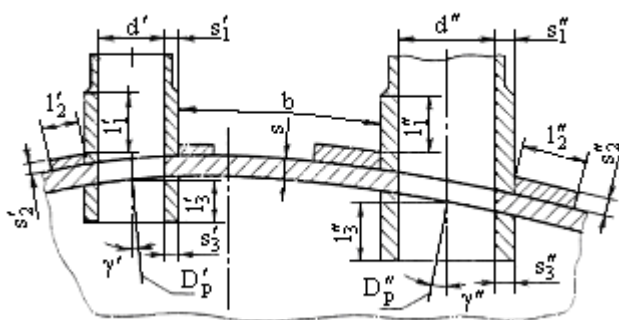
$$d_{op} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (5723 \cdot (25 - 5.55))^{1/2} = 133.5 \text{ мм}$$

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

$$= \min \{ 1; [1 + (38.4 \cdot (12 - 2.8) \cdot 0.8281 + 100 \cdot 16 \cdot 1 + 0 \cdot (12 - 2.8 - 0) \cdot 0.8281) / (333.6 \cdot (25 - 5.55))] / [1 + 0.5 \cdot (104.3 - 133.5) / 333.6 + 2 \cdot (97 + 2 \cdot 2.8) / 5723 \cdot 1 / 1 \cdot 38.4 / 333.6] \} = 1.345$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5.55) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [5723 + (25 - 5.55) \cdot 1] = 2.168 \text{ МПа}$$



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер В DN100 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (5723 \cdot (25 - 5.55))^{1/2} + (6000 \cdot (25 - 5.55))^{1/2} = 675.3 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l''_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l''_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l''_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0.8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi'_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c''_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi''_1} \cdot \frac{l''_{1p}}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(38.4 \cdot (12 - 2.8) \cdot 0.8281 + 100 \cdot 16 \cdot 1 + 0 \cdot (12 - 2.8 - 0) \cdot 0.8281 + 38.4 \cdot (12 - 2.8) \cdot 0.8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (12 - 2.8 - 0) \cdot 0.8281) / (400.9 \cdot (25 - 5.55))] / (1 \cdot (0.8 + (104.3 + 102.6) / (2 \cdot 400.9) + 2 \cdot [(97 + 2 \cdot 2.8) / 5723 \cdot 1 / 1 \cdot 38.4 / 400.9 + [(97 + 2 \cdot 2.8) / 6000 \cdot 1 / 1 \cdot 38.4 / 400.9]]) = 1.202 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_{\Sigma} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5.55) \cdot 1 \cdot 160 / [0.5 \cdot (5723 + 6000) + (25 - 5.55) \cdot 1] \cdot 1 = 2.117 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2.168; 2.117 \} \text{ МПа}$

2,117 МПа  $\geq$  1,602 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (104.3 - 133.5) \cdot 14.37 = (-0.2092 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Инов. № дубл.	
Подпись и дата		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			93

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

$$= 38,4 \cdot (12 - 0,6242 - 2,8) \cdot 0,8281 + 100 \cdot 16 \cdot 1 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281 + 333,6 \cdot (25 - 14,37 - 5,55)$$

$$= 0,003569 \text{ м}^2$$

$$A_r = (-0,2092 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,003569 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

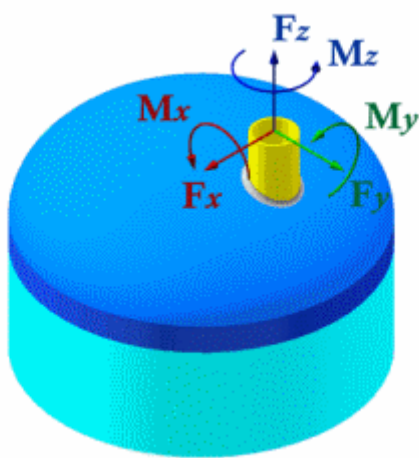
## Расчет на прочность по МКЭ в расчётных условиях

### Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 200 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,6 МПа

### Нагрузки на штуцер (в системе координат аппарата):



$F_x$ , Н	$F_y$ , Н	$F_z$ , Н	$M_x$ , Н м	$M_y$ , Н м	$M_z$ , Н м
2300	2300	3200	1100	1100	1500

### Допускаемые напряжения в соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007

Уровень разбивки - 1

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

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Номинальные допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре 200 °С:

$$[s] = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 160 / 1,3 = 123,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Свойства материала штуцера

Номинальные допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре 200 °С:

Изн.	№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19663.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Е-14.00.00.000 РР					Лист
					94



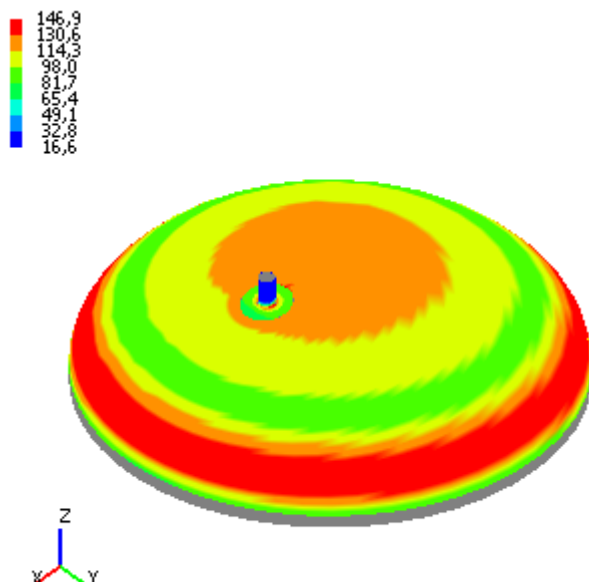


Рис. 2. Эквивалентные мембранные напряжения от совместного действия сил и давления, МПа.  
Заключение:

Для несущего элемента  $\sigma_{\text{нл max}} = 146,9 \text{ МПа} \leq 1,5[s] = 184,6 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера  $\sigma_{\text{нл макс}} = 146,5 \text{ МПа} \leq 1,5[s]_1 = 153,2 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

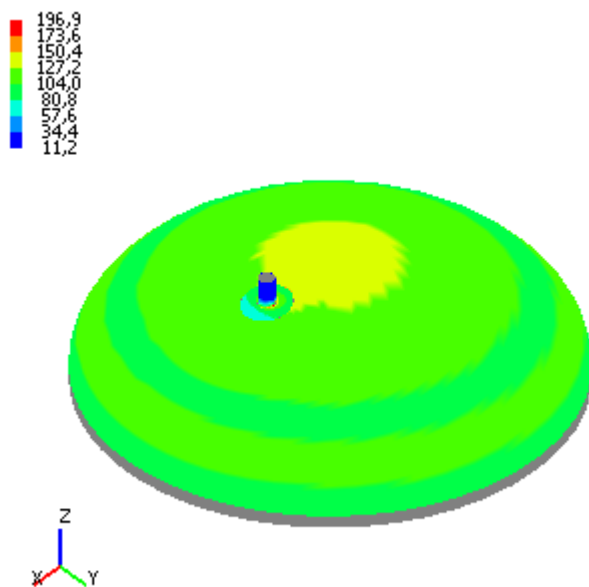


Рис. 3. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внешней поверхности, МПа.

**Заключение:**

Для несущего элемента  $\sigma_{mb \max} = 151 \text{ МПа} \leq 3[s] = 369,2 \text{ МПа}$ .



Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера  $\sigma_{\text{mb max}} = 196,9 \text{ МПа} \leq 3[s]_1 = 306,5 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

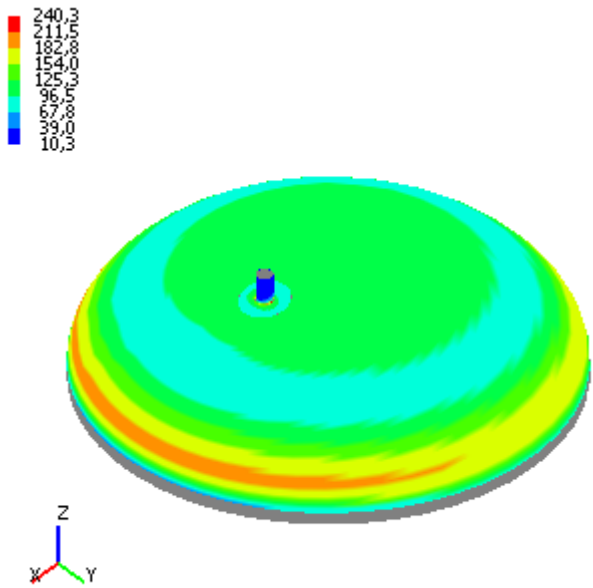


Рис. 4. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внутренней поверхности, МПа.  
Заключение:

Для несущего элемента  $\sigma_{\text{mb max}} = 187,8 \text{ МПа} \leq 3[s] = 369,2 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера  $\sigma_{\text{mb max}} = 240,3 \text{ МПа} \leq 3[s]_1 = 306,5 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

**Общее заключение:** Условия прочности выполнены.

**Допускаемые индивидуальные нагрузки на штуцер при отсутствии действия остальных, включая давление\***

$F_x, \text{ Н}$	$F_y, \text{ Н}$	$F_z, \text{ Н}$	$M_x, \text{ Н м}$	$M_y, \text{ Н м}$	$M_z, \text{ Н м}$	$p, \text{ МПа}$
$1,045 \cdot 10^5$	$1,731 \cdot 10^5$	$3,942 \cdot 10^4$	5454	2087	7358	1,813

\* При превышении любого компонента требуется усиление врезки, либо уменьшение нагрузки

**Допускаемые нагрузки на штуцер при расчетном давлении\*\***

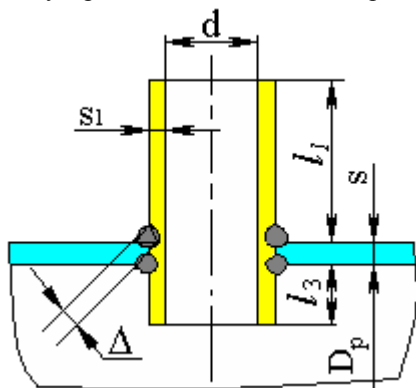
$F_x, \text{ Н}$	$F_y, \text{ Н}$	$F_z, \text{ Н}$	$M_x, \text{ Н м}$	$M_y, \text{ Н м}$	$M_z, \text{ Н м}$	$p, \text{ МПа}$
3066	5079	1157	160,1	61,24	215,9	1,6

\*\* При превышении одного или нескольких компонентов необходим дополнительный расчёт на прочность

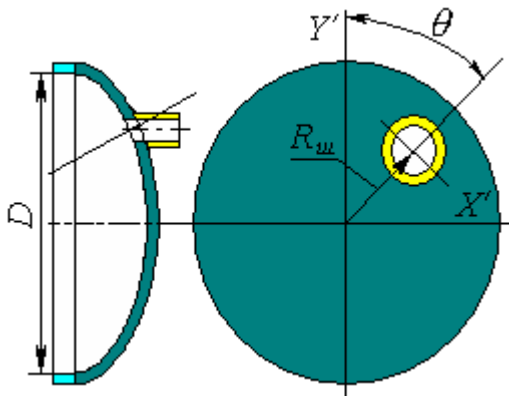
# Штуцер Л1 DN80

## Исходные данные

Элемент: Штуцер Л1 DN80  
Условное обозначение (метка) Штуцер Л1  
Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (верхнее)  
Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое  
Тип штуцера: Проходящий без укрепления



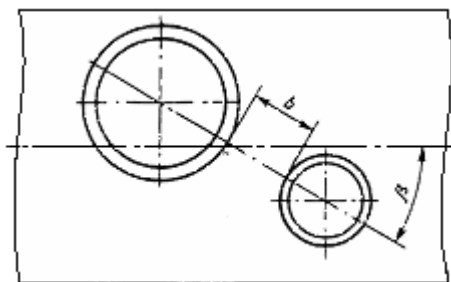
Материал несущего элемента: 12X18H10T  
Толщина стенки несущего элемента, s: 25 мм  
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 5,55 мм  
Материал штуцера: 12X18H10T  
Внутренний диаметр штуцера, d: 80 мм  
Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 16 мм  
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 1 мм  
Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 335 мм



Смещение штуцера, R<sub>ш</sub>: 1000 мм  
Угол поворота штуцера, θ: 330 °  
Полученный угол наклона штуцера, γ: (-23,82) °  
Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
Минимальный размер сварного шва, Δ: 1 мм

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	E-14.00.00.000 PP	Лист
19663.4						98
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Расчётные параметры размещения штуцера:  
Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер Е DN100

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 762,4 мм

Угол β: 70,64 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1000^2 / 3000^4)^{1/2} = 4899 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,604 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,604 \cdot (80 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,604) = 0,4992 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (16 - 1) / (80 + 16 + 1) = 40,98 \text{ МПа}$$

$$40,98 \text{ МПа} \geq 1,604 \text{ МПа}$$

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл. 19663.4

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

E-14.00.00.000 PP

Лист

99

Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1000^2 / 3000^4)^{1/2} = 4899 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 12,31 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (80 + 2 \cdot 1) / [1 - (2 \cdot 1000 / 4899)^2]^{1/2} = 89,83 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((25 - 5,55) / 12,31 - 0,8) \cdot (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 481,9 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 335; 1,25 \cdot ((80 + 2 \cdot 1) \cdot (16 - 1))^{1/2} \} = 43,84 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((80 + 2 \cdot 1) \cdot (16 - 1 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 308,7 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 308,7 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 123,5 \text{ мм}$$

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

$$= \min \{ 1; [1 + (43,84 \cdot (16 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (308,7 \cdot (25 - 5,55))] / [1 + 0,5 \cdot (89,83 - 123,5) / 308,7 + 2 \cdot (80 + 2 \cdot 1) / 4899 \cdot 1 / 1 \cdot 43,84 / 308,7] \} = 1,148$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [4899 + (25 - 5,55) \cdot 1] = 2,531 \text{ МПа}$$

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

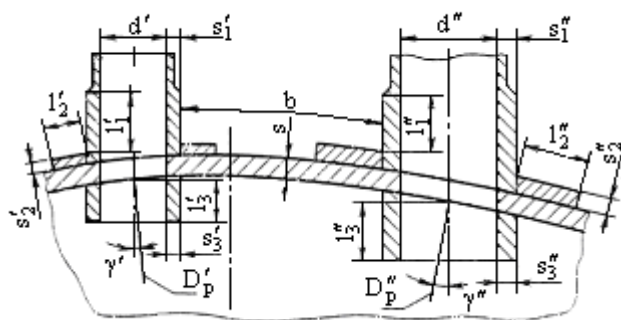
Инов. № подл. 19663.4

Е-14.00.00.000 РР

Лист

100

Изм. Лист № докум. Подп. Дата



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Е DN100 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} + (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 642,3 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 2,531 \text{ МПа}$

$2,531 \text{ МПа} \geq 1,604 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (89,83 - 123,5) \cdot 12,31 = (-0,207 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 43,84 \cdot (16 - 0,4992 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 308,7 \cdot (25 - 12,31 - 5,55)$$

$$= 0,002732 \text{ м}^2$$

$$A_r = (-0,207 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,002732 \text{ м}^2$$

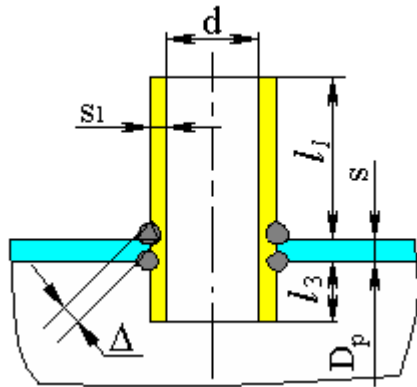
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				
Лист				
101				

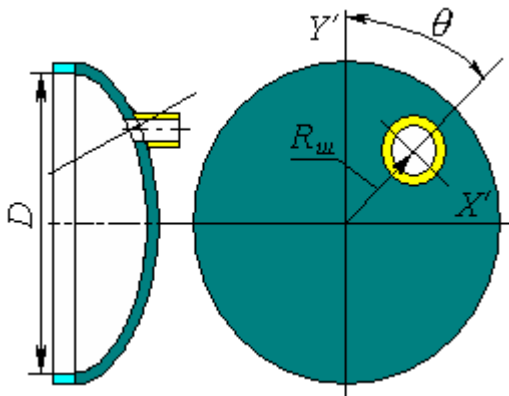
# Штуцер Л2 DN80

## Исходные данные

Элемент: Штуцер Л2 DN80  
Условное обозначение (метка) Штуцер Л2  
Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (верхнее)  
Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое  
Тип штуцера: Проходящий без укрепления



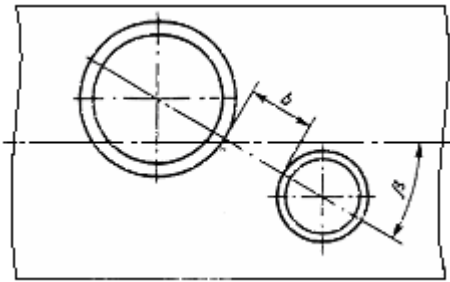
Материал несущего элемента: 12X18H10T  
Толщина стенки несущего элемента, s: 25 мм  
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 5,55 мм  
Материал штуцера: 12X18H10T  
Внутренний диаметр штуцера, d: 80 мм  
Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 16 мм  
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 1 мм  
Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 335 мм



Смещение штуцера, R<sub>ш</sub>: 1000 мм  
Угол поворота штуцера, θ: 225 °  
Полученный угол наклона штуцера, γ: (-23,82) °  
Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
Минимальный размер сварного шва, Δ: 1 мм

Исх. № подл.	Исх. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			Лист
			102

Расчётные параметры размещения штуцера:  
Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер Е DN100

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 628 мм

Угол  $\beta$ : 66,71 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1000^2 / 3000^4)^{1/2} = 4899 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,604 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,604 \cdot (80 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,604) = 0,4992 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (16 - 1) / (80 + 16 + 1) = 40,98 \text{ МПа}$$

$$40,98 \text{ МПа} \geq 1,604 \text{ МПа}$$

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.

19663.4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

E-14.00.00.000 PP

Лист

103

Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1000^2 / 3000^4)^{1/2} = 4899 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 12,31 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (80 + 2 \cdot 1) / [1 - (2 \cdot 1000 / 4899)^2]^{1/2} = 89,83 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((25 - 5,55) / 12,31 - 0,8) \cdot (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 481,9 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 335; 1,25 \cdot ((80 + 2 \cdot 1) \cdot (16 - 1))^{1/2} \} = 43,84 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((80 + 2 \cdot 1) \cdot (16 - 1 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 308,7 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 308,7 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 123,5 \text{ мм}$$

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

$$= \min \{ 1; [1 + (43,84 \cdot (16 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (308,7 \cdot (25 - 5,55))] / [1 + 0,5 \cdot (89,83 - 123,5) / 308,7 + 2 \cdot (80 + 2 \cdot 1) / 4899 \cdot 1 / 1 \cdot 43,84 / 308,7] \} = 1,148$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [4899 + (25 - 5,55) \cdot 1] = 2,531 \text{ МПа}$$

Подпись и дата

Инов. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инов. № подл.  
19663.4

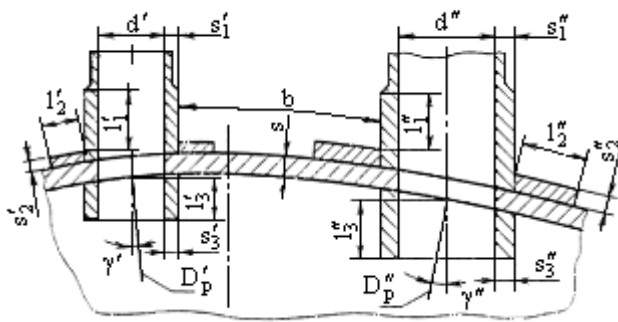
Е-14.00.00.000 РР

Лист

104

Изм. Лист № докум. Подп. Дата





Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Е DN100 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} + (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 642,3 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}' \cdot (s_1' - c_s') \cdot \chi_1' + l_{2p}' \cdot s_2' \cdot \chi_2' + l_{3p}' \cdot (s_3' - c_s' - c_{s1}') \cdot \chi_3' + l_{1p}'' \cdot (s_1'' - c_s) \cdot \chi_1'' + l_{2p}'' \cdot s_2'' \cdot \chi_2'' + l_{3p}'' \cdot (s_3'' - c_s'' - c_{s1}'') \cdot \chi_3''}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0,8 + \frac{d_p' + d_p''}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c_s'}{D_p'} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi_1'} \cdot \frac{l_{1p}'}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s''}{D_p''} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi_1''} \cdot \frac{l_{1p}''}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [ (43,84 \cdot (16 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 38,4 \cdot (12 - 2,8) \cdot 0,8281 + 100 \cdot 16 \cdot 1 + 0 \cdot (12 - 2,8 - 0) \cdot 0,8281) / (628 \cdot (25 - 5,55))] / (1 \cdot (0,8 + (89,83 + 104,3) / (2 \cdot 628)) + 2 \cdot [(80 + 2 \cdot 1) / 4899 \cdot 1 / 1 \cdot 43,84 / 628 + [(97 + 2 \cdot 2,8) / 5723 \cdot 1 / 1 \cdot 38,4 / 628] ] ) ) = 1,251 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_{\text{в}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D_p' + D_p'') + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 / [0,5 \cdot (4899 + 5723) + (25 - 5,55) \cdot 1] \cdot 1 = 2,335 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2,531; 2,335 \}$  МПа

2,335 МПа  $\geq$  1,604 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (89,83 - 123,5) \cdot 12,31 = (-0,207 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_{1p}' \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p}' \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p}' \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3 + l_{1p}'' \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p}'' \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p}'' \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3$$

$$= 43,84 \cdot (16 - 0,4992 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 16 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 308,7 \cdot (25 - 12,31 - 5,55)$$

$$= 0,002732 \text{ м}^2$$

$$A_r = (-0,207 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,002732 \text{ м}^2$$

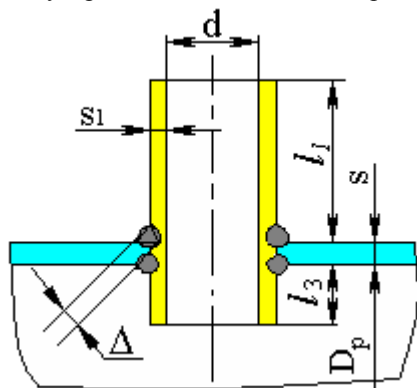
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Подпись и дата	
Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Инов. № подл.		Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 PP			
Лист 105			

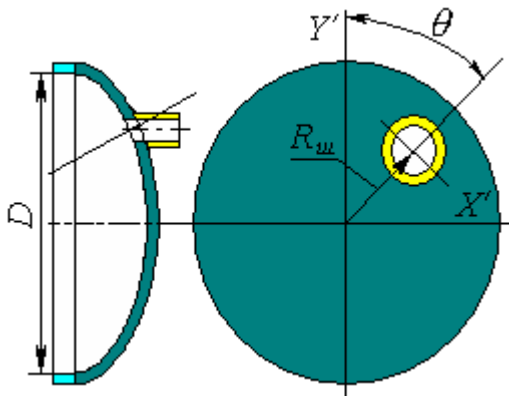
# Штуцер ЛЗ DN80

## Исходные данные

Элемент: Штуцер ЛЗ DN80  
Условное обозначение (метка) Штуцер ЛЗ  
Элемент, несущий штуцер: Днище эллиптическое (верхнее)  
Тип элемента, несущего штуцер: Днище эллиптическое  
Тип штуцера: Проходящий без укрепления



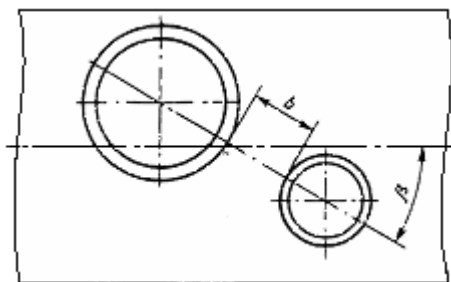
Материал несущего элемента: 12X18H10T  
Толщина стенки несущего элемента, s: 25 мм  
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 5,55 мм  
Материал штуцера: 12X18H10T  
Внутренний диаметр штуцера, d: 80 мм  
Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 16 мм  
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 1 мм  
Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 335 мм



Смещение штуцера, R<sub>ш</sub>: 1000 мм  
Угол поворота штуцера, θ: 135 °  
Полученный угол наклона штуцера, γ: (-23,82) °  
Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
Минимальный размер сварного шва, Δ: 1 мм

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				106

Расчётные параметры размещения штуцера:  
Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер М DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 650,5 мм

Угол  $\beta$ : 66,71 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1000^2 / 3000^4)^{1/2} = 4899 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,604 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,604 \cdot (80 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,604) = 0,4992 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (16 - 1) / (80 + 16 + 1) = 40,98 \text{ МПа}$$

$$40,98 \text{ МПа} \geq 1,604 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				107

Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 1000^2 / 3000^4)^{1/2} = 4899 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 12,31 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_{ш}}{D_p} \right)^2}} = (80 + 2 \cdot 1) / [1 - (2 \cdot 1000 / 4899)^2]^{1/2} = 89,83 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((25 - 5,55) / 12,31 - 0,8) \cdot (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 481,9 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 335; 1,25 \cdot ((80 + 2 \cdot 1) \cdot (16 - 1))^{1/2} \} = 43,84 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((80 + 2 \cdot 1) \cdot (16 - 1 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 308,7 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 308,7 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 123,5 \text{ мм}$$

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

$$= \min \{ 1; [1 + (43,84 \cdot (16 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (308,7 \cdot (25 - 5,55))] / [1 + 0,5 \cdot (89,83 - 123,5) / 308,7 + 2 \cdot (80 + 2 \cdot 1) / 4899 \cdot 1 / 1 \cdot 43,84 / 308,7] \} = 1,148$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [4899 + (25 - 5,55) \cdot 1] = 2,531 \text{ МПа}$$

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

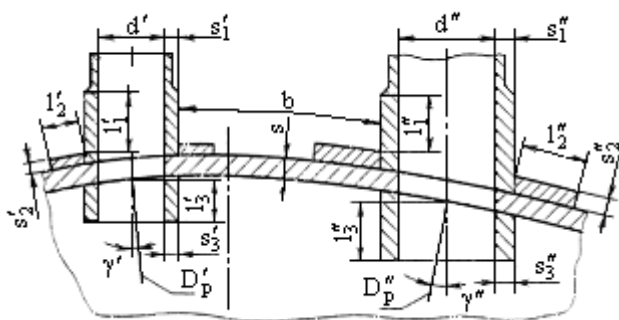
Инв. № подл.  
19663.4

Е-14.00.00.000 РР

Лист

108

Изм. Лист № докум. Подп. Дата



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

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (4899 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} + (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 642,3 \text{ мм}$$

Условие выполнено, дальнейших расчётов укреплений не требуется.

Допускаемое давление  $[p] = 2,531 \text{ МПа}$

$2,531 \text{ МПа} \geq 1,604 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (89,83 - 123,5) \cdot 12,31 = (-0,207 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 43,84 \cdot (16 - 0,4992 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (16 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 308,7 \cdot (25 - 12,31 - 5,55)$$

$$= 0,002732 \text{ м}^2$$

$$A_r = (-0,207 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,002732 \text{ м}^2$$

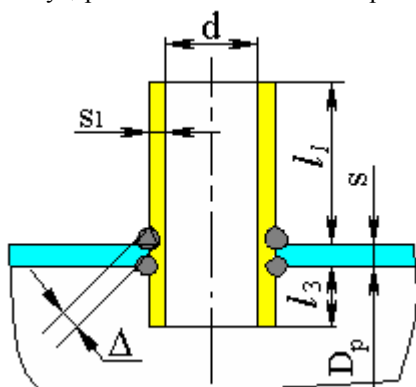
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				
				Лист
				109

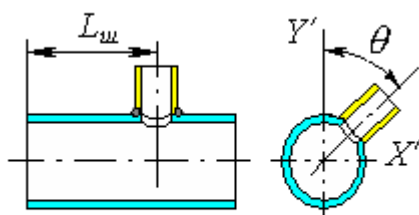
## Штуцер Д DN50

### Исходные данные

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

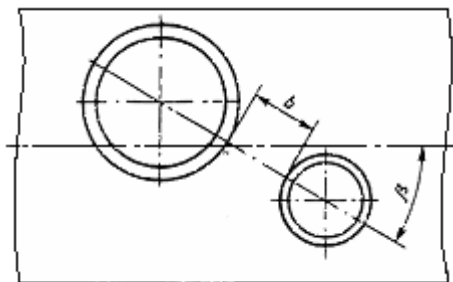


Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента,  $s$ : 22 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента,  $c$ : 1 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера,  $d$ : 48 мм  
 Толщина стенки штуцера,  $s_1$ : 14 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию),  $c_s$ : 1 мм  
 Длина штуцера,  $l_1$ : 160 мм



Смещение штуцера,  $L_{ш}$ : 220 мм  
 Угол поворота штуцера,  $\theta$ : 135 °  
 Длина внутр. части штуцера,  $l_3$ : 0 мм  
 Прибавка на коррозию,  $c_{s1}$ : 0 мм  
 Минимальный размер сварного шва,  $\Delta$ : 1 мм  
 Расчётные параметры размещения штуцера:  
 Ближайший штуцер

Исх. № подл.	Исх. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			Лист
			110



Название штуцера: Штуцер К DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера,  $b$ : 399,8 мм

Угол  $\beta$ :  $56,57^\circ$

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\wp = 1$$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 3000 \text{ mm}$$

## Расчёт в расчётных условиях

**Условия нагружения:**

Расчётная температура, Т: 200 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,679 МПа

## Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

*Свойства материала элемента, несущего штыцер*

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ MPa}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала штуцера*

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_1 \cdot \varphi_1 - p]} = 1,679 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,679) = 0,3187 \text{ mm}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 * 132,5 * 1 * (14 - 1) / (48 + 14 + 1) = 54,68 \text{ МПа}$$

$$54,68 \text{ МПа} \geq 1,679 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

19663.4

Расчёт внутреннего избыточного давления, р: 1,679 МПа

Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 200 °С (расчётные условия):  
[σ]= 160 МПа  
Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:  
Е= 1,97·10<sup>5</sup> МПа

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре Т = 200 °С (расчётные условия):  
[σ]<sub>1</sub>= 132,5 МПа  
Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:  
Е<sub>1</sub> = 1,97·10<sup>5</sup> МПа  
Расчётная толщина стенки штуцера:  

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,679 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,679) = 0,3187 \text{ мм}$$
Допускаемое давление для патрубка штуцера:  

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 1) / (48 + 14 + 1) = 54,68 \text{ МПа}$$
54,68 МПа ≥ 1,679 МПа  
Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**  
Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

Изм.

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

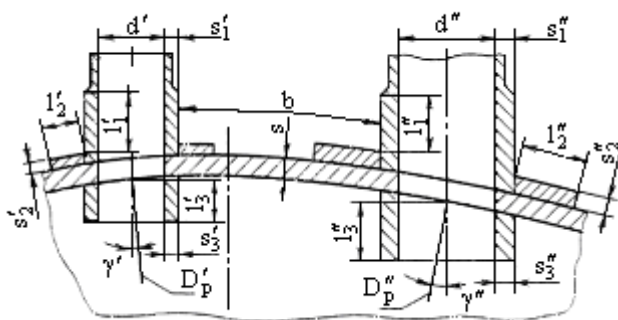
E-14.00.00.000 PP

Лист

111







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

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} + (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 502 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчет укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(56,57)] / 2 = 0,6517$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + l'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + l'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + l'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0,8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi'_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c''_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi''_1} \cdot \frac{l''_{1p}}{b} \right)} \right\}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (399,8 \cdot (22 - 1))] / (0,6517 \cdot (0,8 + (50 + 50) / (2 \cdot 399,8) + 1 \cdot [(48 + 2 \cdot 1) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 399,8 + [(48 + 2 \cdot 1) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 399,8] \cdot 1)) = 1,786 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_{\Sigma} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 1 \cdot (22 - 1) \cdot 1 \cdot 160 / [0,5 \cdot (3000 + 3000) + (22 - 1) \cdot 1] \cdot 1 = 2,224 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2,224; 2,224 \} \text{ МПа}$

$$2,224 \text{ МПа} \geq 1,679 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (50 - 100,4) \cdot 15,82 = (-0,3987 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 31,87 \cdot (14 - 0,3187 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 251 \cdot (22 - 15,82 - 1)$$

$$= 0,001635 \text{ м}^2$$

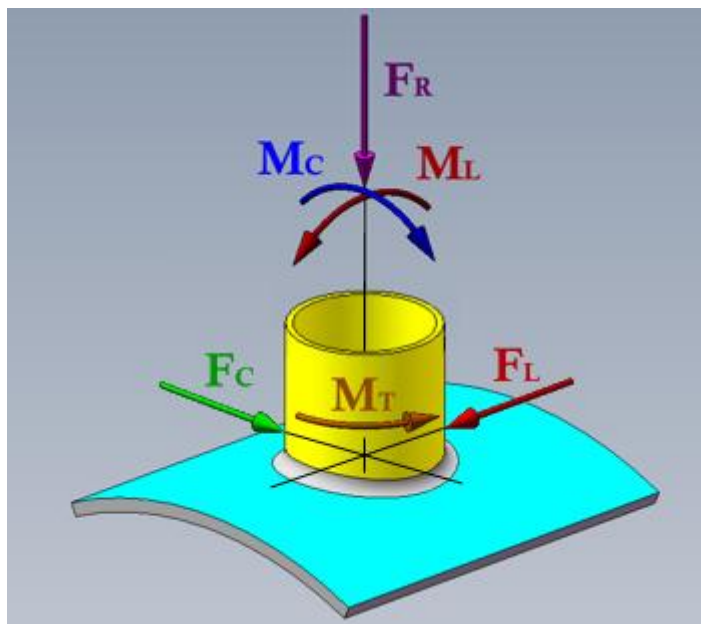
$$A_r = (-0,3987 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,001635 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	19663.4
Взам. инв. №	
Инов. № дубл.	
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP	Лист
						113

# Расчёт на прочность от воздействия внешних нагрузок по ГОСТ Р 52857.3-2007



Радиальная нагрузка,  $F_R$ : (-1200) Н

Окружной момент,  $M_C$ : 200 Н м

Продольный момент,  $M_L$ : 200 Н м

Крутящий момент,  $M_T$ : 300 Н м

Сдвиговая нагрузка,  $F_C$ : 900 Н

Сдвиговая нагрузка,  $F_L$ : 900 Н

Эквивалентная толщина обечайки около штуцера:

$$s_3 = s - c = 22 - 1 = 21 \text{ мм}$$

Средний диаметр обечайки у отверстия:

$$D_c = D_p + s + c = 3000 + 22 + 1 = 3023 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера:

$$d_c = d + s_1 + c_s = 48 + 14 + 1 = 63 \text{ мм}$$

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot s_3}} = 63 / (3023 \cdot 21)^{1/2} = 0,25$$

Расстояние от края штуцера до возможного концентратора напряжений:

$$b_p = 182 \text{ мм}$$

Средний радиус обечайки у отверстия:

$$R_c = \frac{D_c}{2} = 3023 / 2 = 1511 \text{ мм}$$

Прочность от действия давления:

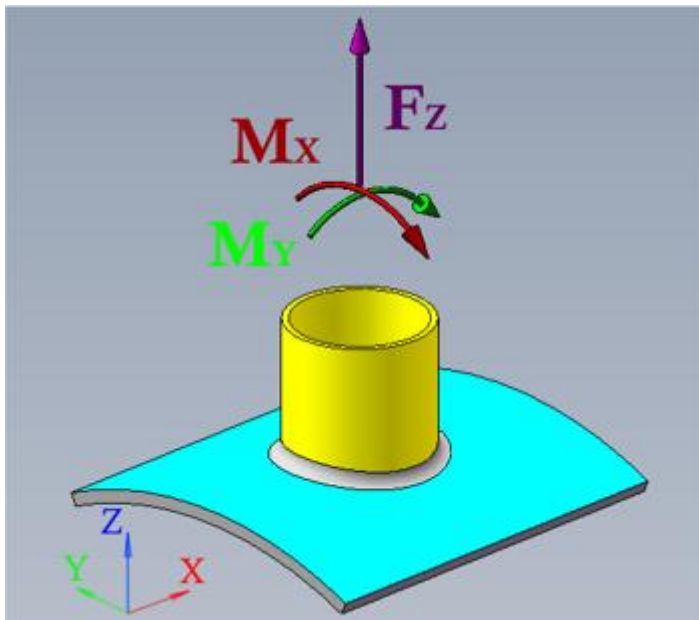
$$\Phi_p = \left| \frac{p}{[p]} \right| = |1,679 / 2,224| = 0,7546$$

Условие прочности:  $\Phi_p \leq 1$

$0,7546 \leq 1,0$ . Условие прочности выполнено

**Расчетная схема по ГОСТ Р 52857.3-2007**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
19663.4										114
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



Осевое растягивающее усилие, действующее на штуцер:

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

$$\lambda_c = \frac{d_c}{\sqrt{D_c \cdot (s - c)}} = 63 / (3023 \cdot (22 - 1)^{1/2}) = 0,25$$

$$C_1 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 0,6007 + 0,952 \cdot 0,25 + 0,005196 \cdot 0,25^2 + (-0,001406) \cdot 0,25^3 + 0 \cdot 0,25^4 = 0,8391$$

Допускаемое осевое усилие на штуцер при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,25$ ):

$$[F_z] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \max\{C_1; 1,81\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot \max\{0,8391; 1,81\} = 1,277 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Прочность от действия осевой нагрузки:

$$\Phi_z = \left| \frac{F_z}{[F_z]} \right| = |1200 / 1,277 \cdot 10^5| = 0,009396$$

Условие прочности:  $\Phi_z \leq 1$

$0,009396 \leq 1,0$ . **Условие прочности выполнено**

Окружной приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_x = M_c = 200 \text{ Н м}$$

Продольный приведенный момент, действующий на штуцер:

$$M_y = M_L = 200 \text{ Н м}$$

$$C_2 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 4,526 + 0,06402 \cdot 0,25 + 0,1589 \cdot 0,25^2 + (-0,02142) \cdot 0,25^3 + 0,001035 \cdot 0,25^4 = 4,552$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,25$ ):

$$[M_x] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_2; 4,9\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot 63 / 4 \cdot \max\{4,552; 4,9\} = 5445 \text{ Н м}$$

$$C_3 = a_0 + a_1 \cdot \lambda_c + a_2 \cdot \lambda_c^2 + a_3 \cdot \lambda_c^3 + a_4 \cdot \lambda_c^4 = 5,672$$

Допускаемый изгибающий момент, действующий на штуцер в плоскости, перпендикулярной к оси сосуда, при отсутствии накладного кольца ( $\lambda_c = 0,25$ ):

$$[M_y] = [\sigma] \cdot (s - c)^2 \cdot \frac{d_c}{4} \cdot \max\{C_3; 4,9\} = 160 \cdot (22 - 1)^2 \cdot 63 / 4 \cdot \max\{5,672; 4,9\} = 6303 \text{ Н м}$$

Прочность от действия изгибающих моментов:

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				115

$$\Phi_b = \sqrt{\left(\frac{M_x}{[M_x]}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{[M_y]}\right)^2} = ((200/5445)^2 + (200/6303)^2)^{1/2} = 0,04854$$

Условие прочности:  $\Phi_b \leq 1$

0,04854 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Прочность от совместного действия нагрузок:

$$\sqrt{\left[\max\left(\left|\frac{\Phi_p}{C_4} + \Phi_x\right|; |\Phi_x|; \left|\frac{\Phi_p}{C_4} - 0.2 \cdot \Phi_x\right|\right)\right]^2 + \Phi_b^2} = (\max(|0,7546/1 + 0,009396|; |0,009396|; |0,7546/1 - 0.2 \cdot 0,009396|)^2 + 0,04854^2)^{1/2} = 0,7656$$

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

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

0,7656 ≤ 1.0. **Условие прочности выполнено**

Максимальные продольные растягивающие напряжения в штуцере:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot (d + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{4 \cdot \sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi \cdot (d + s_1)^2 \cdot (s_1 - c_s)} + \frac{F_z}{\pi \cdot (d + s_1) \cdot (s_1 - c_s)} = 1,679 \cdot (48 + 14) / (4 \cdot (14 - 1)) + 4 \cdot (200^2 + 200^2)^{1/2} / (3,142 \cdot (48 + 14)^2 \cdot (14 - 1)) + 1200 / (3,142 \cdot (48 + 14) \cdot (14 - 1)) = 9,682 \text{ МПа}$$

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

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

9,682 МПа ≤ 132,5 МПа. **Условие прочности выполнено**

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{[M]} + \frac{|F_z|}{[F]} = 0/54,68 + (200^2 + 200^2)^{1/2}/3961 + |0|/3,301 \cdot 10^5 = 0,07140$$

Если  $F_z$  растягивающая продольная сила, а  $p$  – внутреннее избыточное давление, то  $F_z$  и  $p$  следует принять равными нулю.

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

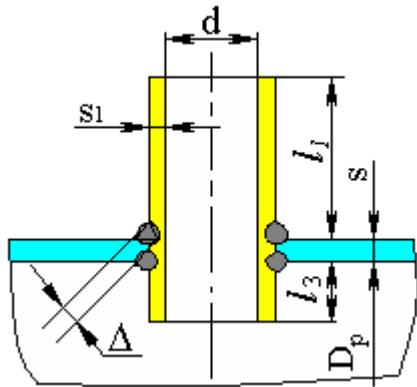
0,07140 ≤ 1.0. **Условие устойчивости выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	
					Лист	
					116	

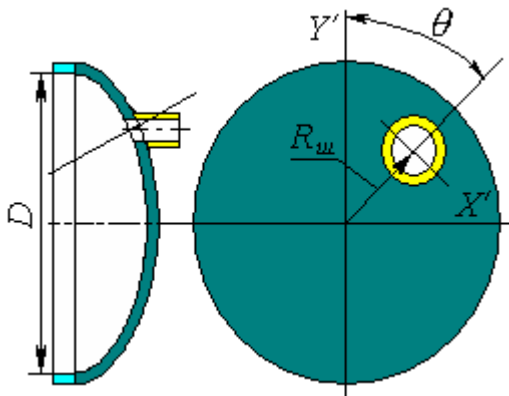
# Штуцер Ж DN50

## Исходные данные

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



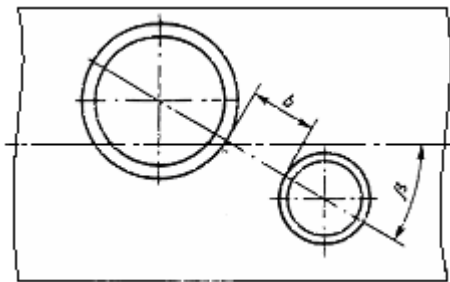
Материал несущего элемента: 12X18H10T  
 Толщина стенки несущего элемента, s: 25 мм  
 Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 5,55 мм  
 Материал штуцера: 12X18H10T  
 Внутренний диаметр штуцера, d: 48 мм  
 Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 14 мм  
 Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 1 мм  
 Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 187 мм



Смещение штуцера, R<sub>ш</sub>: 800 мм  
 Угол поворота штуцера, θ: 30 °  
 Полученный угол наклона штуцера, γ: (-17,39) °  
 Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
 Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
 Минимальный размер сварного шва, Δ: 1 мм

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			
Лист 117			

Расчётные параметры размещения штуцера:  
Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер М DN50

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 631,4 мм

Угол β: 80,44 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$$\varphi_1 = 1$$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$$\varphi = 1$$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 800^2 / 3000^4)^{1/2} = 5322 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,603 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

[σ] = 160 МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

[σ]<sub>1</sub> = 132,5 МПа

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,603 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,603) = 0,3043 \text{ мм}$$

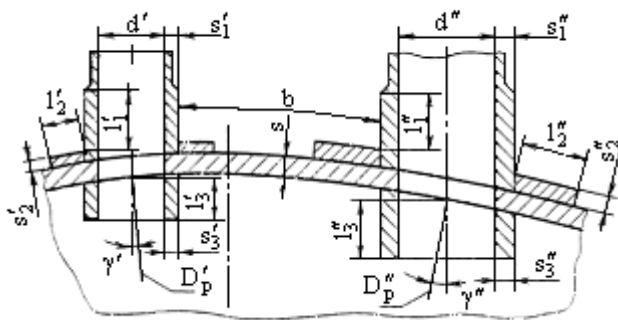
Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 1) / (48 + 14 + 1) = 54,68 \text{ МПа}$$

$$54,68 \text{ МПа} \geq 1,603 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
19663.4										118
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						





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

$$b > \sqrt{D'_p \cdot (s - c)} + \sqrt{D''_p \cdot (s - c)} = (5322 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} + (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 655,4 \text{ мм}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_{11} + l'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_{22} + l'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_{33} + l''_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_{11} + l''_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_{22} + l''_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi''_{33}}{b \cdot (s - c)}}{K_3 \left( 0,8 + \frac{d'_p + d''_p}{2 \cdot b} \right) + K_1 \left( \frac{d' + 2 \cdot c'_s}{D'_p} \cdot \frac{\varphi'}{\varphi'_1} \cdot \frac{l'_{1p}}{b} + \frac{d'' + 2 \cdot c_s}{D''_p} \cdot \frac{\varphi''}{\varphi''_1} \cdot \frac{l''_{1p}}{b} \right)}$$

$$= \min \{ 1; (1 + [(31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (631,4 \cdot (25 - 5,55))] / (1 \cdot (0,8 + (52,43 + 50,85) / (2 \cdot 631,4)) + 2 \cdot [(48 + 2 \cdot 1) / 5322 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 631,4 + [(48 + 2 \cdot 1) / 5723 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 631,4]]) = 1,195 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_B = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 / [0,5 \cdot (5322 + 5723) + (25 - 5,55) \cdot 1] \cdot 1 = 2,246 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min \{ 2,331; 2,246 \}$  МПа

$$2,246 \text{ МПа} \geq 1,603 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 \cdot (52,43 - 128,7) \cdot 13,36 = (-0,5095 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

$$A_a = l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c_s) \cdot \chi_{11} + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_{22} + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_{33} + l_{1p} \cdot (s - s_p - c)$$

$$= 31,87 \cdot (14 - 0,3043 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281 + 321,7 \cdot (25 - 13,36 - 5,55)$$

$$= 0,002294 \text{ м}^2$$

$$A_r = (-0,5095 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,002294 \text{ м}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

## Расчет на прочность по МКЭ в расчётных условиях

### Условия нагружения:

Расчётная температура, Т: 200 °С

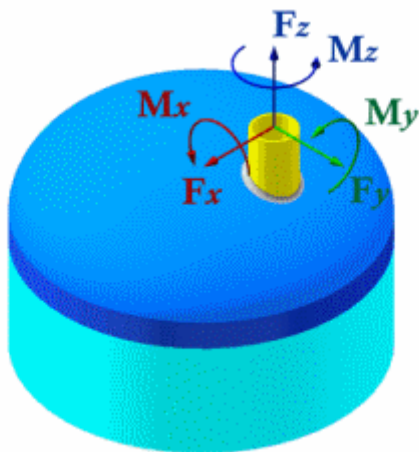
Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 1,6 МПа

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	Лист
						120



## Нагрузки на штуцер (в системе координат аппарата):



$F_x$ , Н	$F_y$ , Н	$F_z$ , Н	$M_x$ , Н м	$M_y$ , Н м	$M_z$ , Н м
900	900	1200	200	200	300

## Допускаемые напряжения в соответствии с ГОСТ Р 52857.1-2007

Уровень разбивки - 1

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

### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Номинальные допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре 200 °C:

$$[s] = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 160 / 1,3 = 123,1 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

### Свойства материала штуцера

Номинальные допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре 200 °C:

$$[s]_1 = \frac{[\sigma]_s}{K_m} = 132,5 / 1,3 = 101,9 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. №	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP	Лист
19663.4							121					

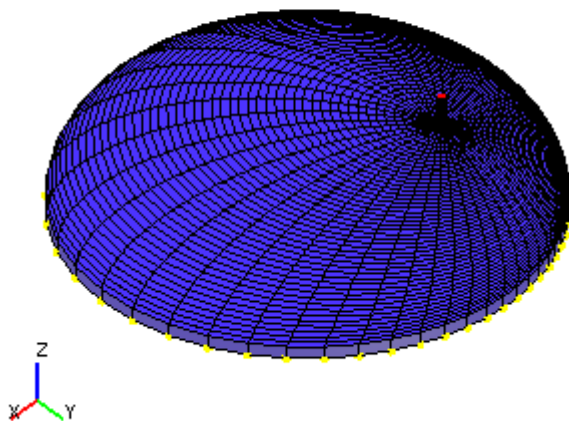


Рис. 1. Конечно-элементная модель узла врезки

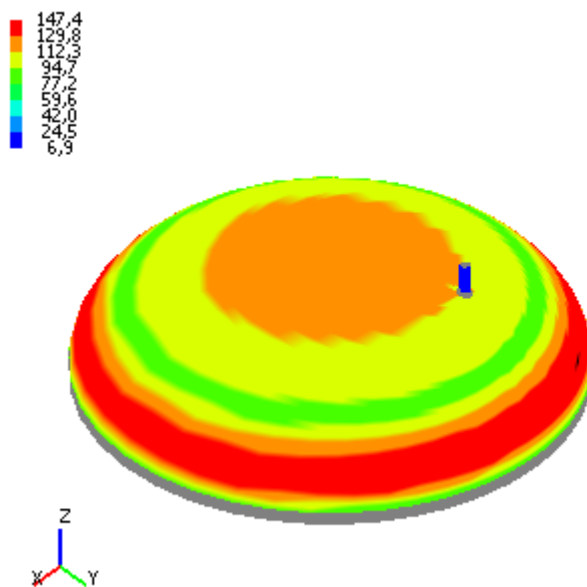


Рис. 2. Эквивалентные мембранные напряжения от совместного действия сил и давления, МПа.  
Заключение:

Для несущего элемента  $\sigma_{\text{мл max}} = 147,4 \text{ МПа} \leq 1,5[s] = 184,6 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера  $\sigma_{\text{мл max}} = 31,29 \text{ МПа} \leq 1,5[s]_1 = 153,2 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
										122
19663.4					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

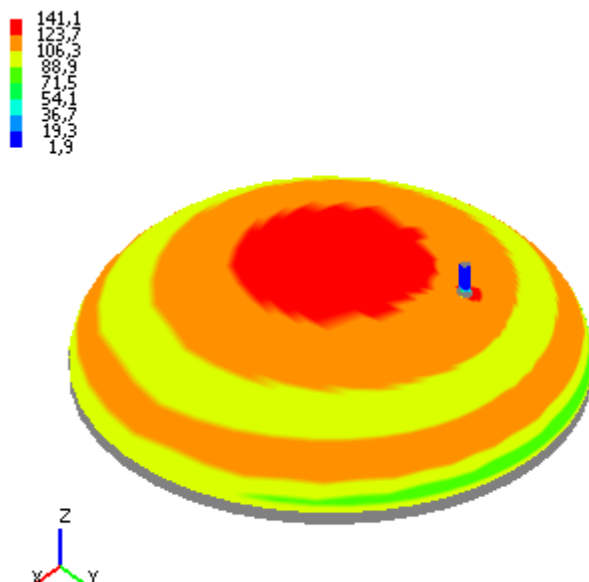


Рис. 3. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внешней поверхности, МПа.

Заключение:

Для несущего элемента  $\sigma_{mb \max} = 141,1 \text{ МПа} \leq 3[s] = 369,2 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

Для штуцера  $\sigma_{mb \max} = 60,62 \text{ МПа} \leq 3[s]_1 = 306,5 \text{ МПа}$ .

Условие прочности **ВЫПОЛНЕНО**.

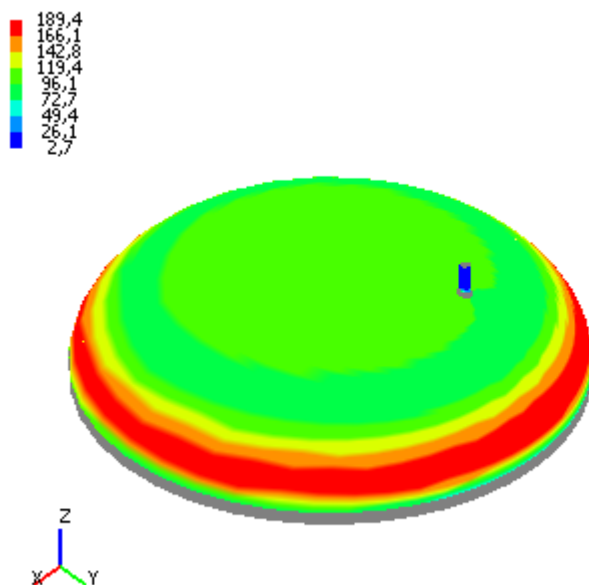


Рис. 4. Общие (мембранные и изгибные) напряжения на внутренней поверхности, МПа.

Заключение:

Для несущего элемента  $\sigma_{mb \max} = 189,4 \text{ МПа} \leq 3[s] = 369,2 \text{ МПа}$ .

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата				Лист 123
	Взам. инв. №				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР

Инов. № дубл.	Подпись и дата		

3 слово прочности **ВЫКОМПЕНО**.

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

Заключение:

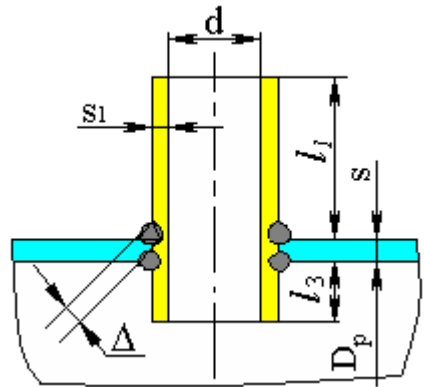
Для несущего элемента  $\sigma_{mb\ max} = 189,4\ \text{МПа} \leq 3[s] = 369,2\ \text{МПа}$ .

Инва. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				124

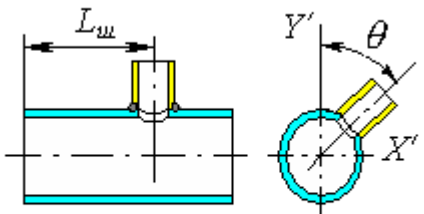
**Штуцер К DN50**

**Исходные данные**

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

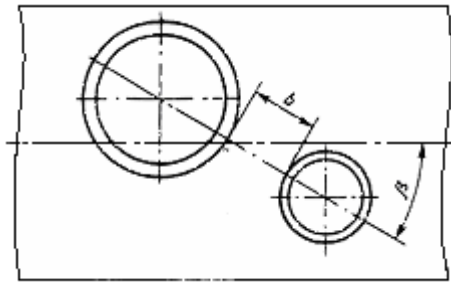


Материал несущего элемента: 12X18H10T  
Толщина стенки несущего элемента, s: 22 мм  
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c: 1 мм  
Материал штуцера: 12X18H10T  
Внутренний диаметр штуцера, d: 48 мм  
Толщина стенки штуцера, s<sub>1</sub>: 14 мм  
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c<sub>s</sub>: 1 мм  
Длина штуцера, l<sub>1</sub>: 160 мм



Смещение штуцера, L<sub>ш</sub>: 480 мм  
Угол поворота штуцера, θ: 150 °  
Длина внутр. части штуцера, l<sub>3</sub>: 0 мм  
Прибавка на коррозию, c<sub>s1</sub>: 0 мм  
Минимальный размер сварного шва, Δ: 1 мм  
Расчётные параметры размещения штуцера:  
Ближайший штуцер

Исх. № подл.	Исх. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-14.00.00.000 PP			Лист 125



Название штуцера: Штуцер Б DN200

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 379,2 мм

Угол  $\beta$ : 90 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\varphi_1 = 1$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\varphi = 1$

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

$D_p = D = 3000 \text{ мм}$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,677 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,677 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,677) = 0,3184 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 1) / (48 + 14 + 1) = 54,68 \text{ МПа}$$

54,68 МПа  $\geq$  1,677 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчёт укреплeния oтвeрстия по ГОСТ Р 52857.3-2007				
						Свойства материала элемента, несущего штуцер				
Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):										
[σ]= 160 МПа										
Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:										
E = 1,97·10 <sup>5</sup> МПа										
Свойства материала штуцера										
Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):										
[σ] <sub>1</sub> = 132,5 МПа										
Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:										
E <sub>1</sub> = 1,97·10 <sup>5</sup> МПа										
Расчётная толщина стенки штуцера:										
$s_{\text{ш}} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,677 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,677) = 0,3184 \text{ мм}$										
Допускаемое давление для патрубка штуцера:										
$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 1) / (48 + 14 + 1) = 54,68 \text{ МПа}$										
54,68 МПа ≥ 1,677 МПа										
Зaключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено</b>										
Расчётный диаметр цилиндрической обечайки:										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP		Лист			
							126			

$$D_p = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 15,8 \text{ мм}$$

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

$$d_p = d + 2 \cdot c_s = 48 + 2 \cdot 1 = 50 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((22 - 1) / 15,8 - 0,8) \cdot (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 265,5 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 160; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 1) \cdot (14 - 1))^{1/2} \} = 31,87 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{2p} = \min \left\{ l_2; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 1) \cdot (14 - 1 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 251 \text{ мм}$$

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

$$L_k = 522 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 251 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (3000 \cdot (22 - 1))^{1/2} = 100,4 \text{ мм}$$

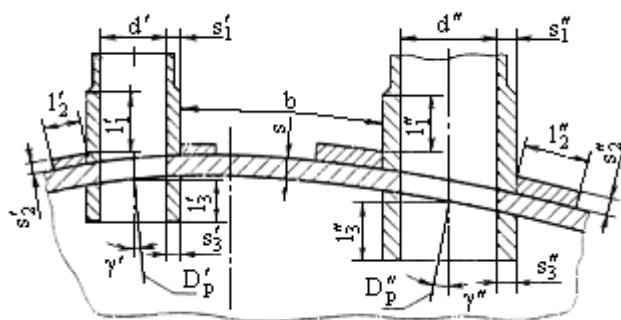
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}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

$$= \min \{ 1; [1 + (31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (251 \cdot (22 - 1))] / [1 + 0,5 \cdot (50 - 100,4) / 251 + 1 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / 3000 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 251] \} = 1,181 \}$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} \cdot V = 2 \cdot 1 \cdot (22 - 1) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [3000 + (22 - 1) \cdot 1] = 2,224 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Взам. инв. №		Подпись и дата	
Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			127



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер Б DN200 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s - c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s - c)} = (3000 * (22 - 1))^{1/2} + (3000 * (22 - 1))^{1/2} = 502 \text{ mm}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2 \beta}{2} = [1 + \cos^2(90)]/2 = 0,5$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1'_{1p} \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + 1'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + 1'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + 1'_{1p} \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + 1'_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + 1'_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c'_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)} \right.$$

$$= \min\{1; (1 + [(31,87 * (14 - 1) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (14 - 1 - 0) * 0,8281 + 59,26 * (14 - 3,1) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (14 - 3,1 - 0) * 0,8281) / (379,2 * (22 - 1))] / (0,5 * (0,8 + (50 + 206,2) / (2 * 379,2) + 1 * [(48 + 2 * 1) / 3000 * 1 / 1 * 31,87 / 379,2 + [(200 + 2 * 3,1) / 3000 * 1 / 1 * 59,26 / 379,2] - 1))\} = \mathbf{1,911}$$

$$= 1$$

$$[p]_{\text{н}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D'_n + D''_n) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 * 1 * (22 - 1) * 1 * 160 / [0.5 * (3000 + 3000) + (22 - 1) * 1] * 1 = 2,224 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min\{2,224; 2,224\}$  МПа

$$2.224 \text{ МПа} \geq 1.677 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_I = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 * (50 - 100,4) * 15,8 = (-0.3982 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 31,87 * (14 - 0,3184 - 1) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (14 - 1 - 0) * 0,8281 + 251 * (22 - 15,8 - 1)$$

$$= 0.001639 \text{ M}^2$$

$$A_r = (-0,3982 \cdot 10^{-3}) \text{ M}^2 \leq 0,001639 \text{ M}^2$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

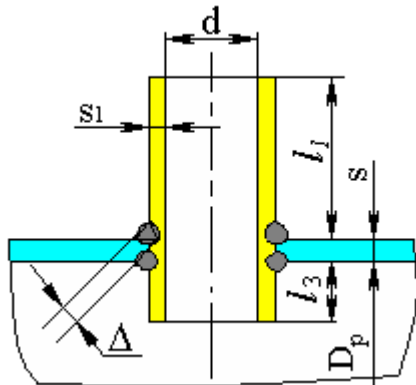
Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<p> <math display="block">0,8281) / (379,2 * (22 - 1)) / ( 0,5 * (0,8 + (50 + 206,2) / (2 * 379,2) + 1 * [(48 + 2 * 1) / 3000 * 1 / 1 * 31,87 / 379,2 + [(200 + 2 * 3,1) / 3000 * 1 / 1 * 59,26 / 379,2 ] ) ) = 1,911\}</math> </p> <p><b>= 1</b></p> <p> <math display="block">[p]_{\Sigma} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0,5 \cdot (D'_p + D''_p) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 * 1 * (22 - 1) * 1 * 160 / [0,5 * (3000 + 3000) + (22 - 1) * 1] * 1 = 2,224 \text{ МПа}</math> </p> <p>Допускаемое давление [p] = min{ 2,224; 2,224} МПа</p> <p>2,224 МПа ≥ 1,677 МПа</p> <p>Заключение: <b>Условие прочности и устойчивости выполнено</b></p> <p>Площадь, необходимая для укрепления отверстия:</p> <p> <math display="block">A_r = 0,5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0,5 * (50 - 100,4) * 15,8 = (-0,3982 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2</math> </p> <p>Располагаемая площадь укрепления отверстия:</p> <p> <math display="block">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)</math> </p> <p> <math display="block">= 31,87 * (14 - 0,3184 - 1) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (14 - 1 - 0) * 0,8281 + 251 * (22 - 15,8 - 1)</math> </p> <p>= 0,001639 м<sup>2</sup></p> <p> <math display="block">A_r = (-0,3982 \cdot 10^{-3}) \text{ м}^2 \leq 0,001639 \text{ м}^2</math> </p> <p>Заключение: <b>Условие прочности выполнено</b></p>				
E-14.00.00.000 PP					Лист				
					128				



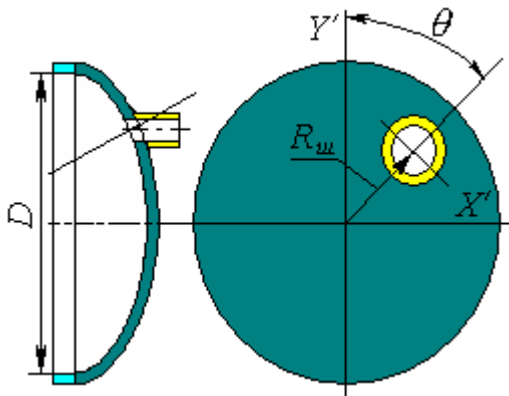
# Штуцер М DN50

## Исходные данные

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



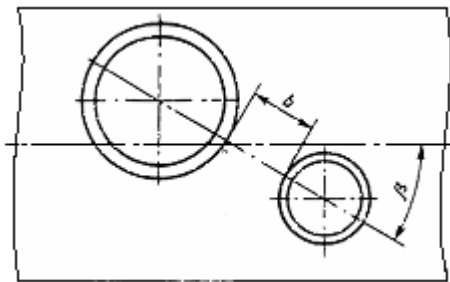
Материал несущего элемента:	12X18H10T
Толщина стенки несущего элемента, s:	25 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, с:	5,55 мм
Материал штуцера:	12X18H10T
Внутренний диаметр штуцера, d:	48 мм
Толщина стенки штуцера, s1:	14 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), сs:	1 мм
Длина штуцера, l1:	195 мм



Смещение штуцера, Rш:	520 мм
Угол поворота штуцера, θ:	90 °
Полученный угол наклона штуцера, γ:	(-10,44) °
Длина внутр. части штуцера, l3:	0 мм
Прибавка на коррозию, сs1:	0 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ:	1 мм

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
E-14.00.00.000 PP					Лист 129

Расчётные параметры размещения штуцера:  
Ближайший штуцер



Название штуцера: Штуцер В DN100

Расстояние до стенки ближайшего штуцера, b: 423,7 мм

Угол β: 0 °

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

$\varphi_1 = 1$

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

$\varphi = 1$

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{ш}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 520^2 / 3000^4)^{1/2} = 5723 \text{ мм}$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,602 МПа

### Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ Р 52857.3-2007

#### Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

#### Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$[\sigma]_1 = 132,5 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:

$E_1 = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{ш} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} = 1,602 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / (2 \cdot 132,5 \cdot 1 - 1,602) = 0,3042 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для патрубка штуцера:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma]_1 \cdot \varphi_1 \cdot (s_1 - c_s)}{d + s_1 + c_s} = 2 \cdot 132,5 \cdot 1 \cdot (14 - 1) / (48 + 14 + 1) = 54,68 \text{ МПа}$$

$54,68 \text{ МПа} \geq 1,602 \text{ МПа}$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
19663.4										130
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{\text{ш}}^2} = 3000^2 / (2 \cdot 750) \cdot (1 - 4 \cdot (3000^2 - 4 \cdot 750^2) \cdot 520^2 / 3000^4)^{1/2} = 5723 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки несущего элемента в месте расположения штуцера:

$$s_p = 14,37 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left( \frac{2 \cdot R_{\text{ш}}}{D_p} \right)^2}} = (48 + 2 \cdot 1) / [1 - (2 \cdot 520 / 5723)^2]^{1/2} = 50,85 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{s - c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((25 - 5,55) / 14,37 - 0,8) \cdot (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 369,7 \text{ мм}$$

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

Расчётная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \{ l_1; 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \} = \min \{ 195; 1,25 \cdot ((48 + 2 \cdot 1) \cdot (14 - 1))^{1/2} \} = 31,87 \text{ мм}$$

### Отношения допускаемых напряжений

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_h}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1,0; 132,5 / 160 \} = 0,8281$$

Расчётная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min \left\{ l_3; 0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - c_s - c_{s1})} \right\} = \min \{ 0; 0,5 \cdot ((48 + 2 \cdot 1) \cdot (14 - 1 - 0))^{1/2} \} = 0 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 333,6 \text{ мм}$$

Расчётная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 333,6 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0,4 \cdot (5723 \cdot (25 - 5,55))^{1/2} = 133,5 \text{ мм}$$

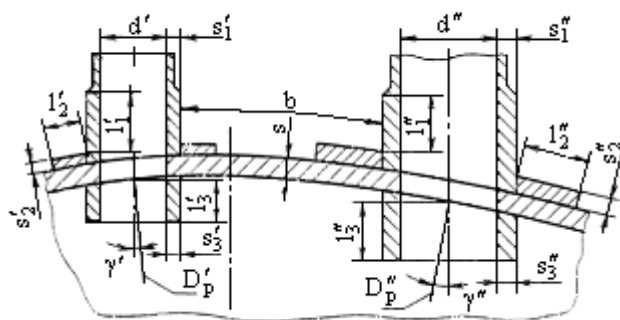
$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - c_s - c_{s1}) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0,5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}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

$$= \min \{ 1; [1 + (31,87 \cdot (14 - 1) \cdot 0,8281 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 0 \cdot (14 - 1 - 0) \cdot 0,8281) / (333,6 \cdot (25 - 5,55))] / [1 + 0,5 \cdot (50,85 - 133,5) / 333,6 + 2 \cdot (48 + 2 \cdot 1) / 5723 \cdot 1 / 1 \cdot 31,87 / 333,6] \} = 1,199$$

$$= 1$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 \cdot 1 / [5723 + (25 - 5,55) \cdot 1] = 2,168 \text{ МПа}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
										131
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие Штуцер В DN100 не оказывает на него влияния, т.е. расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b > \sqrt{D_p' \cdot (s-c)} + \sqrt{D_p'' \cdot (s-c)} = (5723 \cdot (25-5,55))^{1/2} + (6000 \cdot (25-5,55))^{1/2} = 675,3 \text{ mm}$$

Условие не выполнено, требуется дополнительный расчёт укреплений.

$$K_3 = 1$$

$$V_1 = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{1'_p \cdot (s'_1 - c'_s) \cdot \chi'_1 + 1'_{2p} \cdot s'_2 \cdot \chi'_2 + 1'_{3p} \cdot (s'_3 - c'_s - c'_{s1}) \cdot \chi'_3 + 1'_p \cdot (s''_1 - c_s) \cdot \chi''_1 + 1''_{2p} \cdot s''_2 \cdot \chi''_2 + 1''_{3p} \cdot (s''_3 - c_s - c'_{s1}) \cdot \chi''_3}{b \cdot (s - c)} \right.$$

$$= \min\{1; (1 + [(31,87 * (14 - 1) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (14 - 1 - 0) * 0,8281 + 38,4 * (12 - 2,8) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (12 - 2,8 - 0) * 0,8281) / (423,7 * (25 - 5,55))]) / (1 * (0,8 + (50,85 + 102,6) / (2 * 423,7)) + 2 * [(48 + 2 * 1) / 5723 * 1 / 1 * 31,87 / 423,7 + [(97 + 2 * 2,8) / 6000 * 1 / 1 * 38,4 / 423,7])]) = \mathbf{1,093}\}$$

$$= \mathbf{1}$$

$$[p]_{\text{B}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{0.5 \cdot (D_n^0 + D_n^c) + (s - c) \cdot V_1} \cdot V_1 = 2 \cdot 2 \cdot (25 - 5,55) \cdot 1 \cdot 160 / [0.5 \cdot (5723 + 6000) + (25 - 5,55) \cdot 1] \cdot 1 = 2,117 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление  $[p] = \min\{2,168; 2,117\}$  МПа

$$2,117 \text{ МПа} \geq 1,602 \text{ МПа}$$

**Заключение: Условие прочности и устойчивости выполнено**

Площадь, необходимая для укрепления отверстия:

$$A_r = 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = 0.5 \cdot (50,85 - 133,5) \cdot 14,37 = (-0,5934 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$$

Располагаемая площадь укрепления отверстия:

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

$$= 31,87 * (14 - 0,3042 - 1) * 0,8281 + 0 * 0 * 0 + 0 * (14 - 1 - 0) * 0,8281 + 333,6 * (25 - 14,37 - 5,55)$$

$$= 0,002032 \text{ M}^2$$

$$A_r = (-0,5934 \cdot 10^{-3}) \text{ M}^2 \leq 0,002032 \text{ M}^2$$

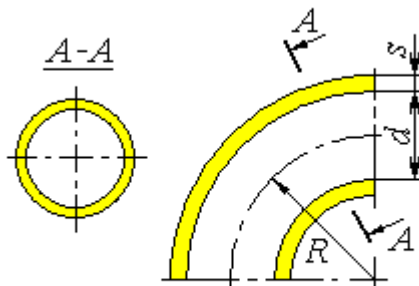
Заключение: **Условие прочности выполнено**

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div><div></div><div></div><div>&lt;/</div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div></div>
--------------	----------------	--------------	--------------	----------------	--

## Отвод DN150

### Расчёт прочности отвода по СА 03-003-07

#### Исходные данные



Элемент:	Отвод DN150
Тип отвода:	Гнутый или крутоизогнутый отвод
Материал отвода:	12X18H10T
Внутренний диаметр отвода, d:	144 мм
Толщина стенки отвода, s:	12 мм
Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, c <sub>1</sub> :	1 мм
Прибавка для компенсации минусового допуска, c <sub>2</sub> :	1,8 мм
Прибавка технологическая, c <sub>3</sub> :	0 мм
Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, c:	2,8 мм
Радиус отвода, R:	225 мм
Угол, γ:	270 °
Коэффициенты прочности сварных швов:	
Продольный шов:	

$$\varphi_y = 1$$

#### Расчёт в расчётных условиях

##### Условия нагружения:

Расчётная температура, T:	200 °C
Расчётное внутреннее избыточное давление, p:	1,69 МПа
Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):	

[σ] = 160 МПа

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C:

E = 1,97 · 10<sup>5</sup> МПа

k<sub>1</sub> = 1,167 для соотношения R / (d + s) = 1,442

Расчётная толщина стенки трубы (патрубка штуцера):

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_y - p} = (1,69 \cdot (144 + 2 \cdot 2,8)) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 1,69) = 0,7941 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки гнутых и крутоизогнутых отводов:

$$s_{p0} = k_1 \cdot s_p = 1,167 \cdot 0,7941 = 0,927 \text{ мм}$$

Расчётная толщина отвода с учетом прибавок:

Подпись и дата	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инов. № подл.	E-14.00.00.000 PP					Лист
				19663.4						133
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$s_p = s_{p0} + c = 0,927 + 2,8 = 3,727 \text{ мм}$$

Условие прочности:

$$s \geq s_{p0} + c$$

12 мм  $\geq$  0,927 + 2,8 = 3,727 мм. **Условие прочности выполнено**

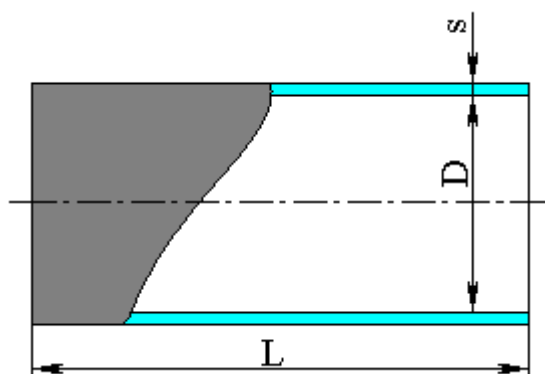
$$k_i = k_1 = 1,167$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_y \cdot (s - c)}{k_i \left[ d + \frac{s - c}{k_i} \right]} = 2 * 160 * 1 * (12 - 2,8) / (1,167 * [144 + (12 - 2,8) / 1,167]) = 16,61 \text{ МПа}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				
Лист				
134				

## Патрубок DN150



### Исходные данные

Материал: 12X18H10T  
 Внутр. диаметр, D: 144 мм  
 Толщина стенки, s: 12 мм  
 Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 1 мм  
 Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 1,8 мм  
 Прибавка технологическая,  $c_3$ : 0 мм  
 Сумма прибавок к расчётной толщине стенки,  $c$ : 2,8 мм  
 Длина обечайки, L: 1453 мм  
 Коэффициенты прочности сварных швов:  
 Продольный шов:

$$\varphi_p = 1$$

Окружной шов:

$$\varphi_T = 1$$

### Расчёт в расчётных условиях

#### Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C  
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,69 МПа  
 Расчётный изгибающий момент, M: 1023 Н м  
 Расчётное поперечное усилие, Q: 1079 Н  
 Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 0 Н

### Расчёт на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре T = 200 °C:

$$E = 1,97 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

#### *Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением (п. 5.3.1)*

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

Изн.	№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19663.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Е-14.00.00.000 РР					Лист
					135

$$s_p + c = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c = (1,69 \cdot 144) / (2 \cdot 160 \cdot 1 - 1,69) + 2,8 = 3,564 \text{ мм}$$

$$3,564 \text{ мм} \leq 12 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие работоспособности выполнено**

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = 2 \cdot 160 \cdot 1 \cdot (12 - 2,8) / (144 + 12 - 2,8) = 19,22 \text{ МПа}$$

$$19,22 \text{ МПа} \geq 1,69 \text{ МПа}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

Минимальное расстояние между "одиночными" штуцерами:

$$b_0 = 2 \cdot \sqrt{D \cdot (s - c)} = 2 \cdot (144 \cdot (12 - 2,8))^{1/2} = 72,8 \text{ мм}$$

### Обечайка, нагруженная изгибающим моментом (п. 5.3.5)

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$[F]_{\pi} = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 3,142 \cdot (144 + 12 - 2,8) \cdot (12 - 2,8) \cdot 160 = 7,085 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны сжатия:

$$[M]_{\pi} = \frac{D}{4} \cdot [F]_{\pi} = 144 / 4 \cdot 7,085 \cdot 10^5 = 2,55 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости:

$$[F]_{\text{Е1}} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s - c)}{D} \right]^{2,5} = 310 \cdot 10^{-6} \cdot 1,97 \cdot 10^5 \cdot 144^2 / (2,4) \cdot (100 \cdot (12 - 2,8) / 144)^{2,5} = 5,444 \cdot 10^7 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{D}{3,5} \cdot [F]_{\text{Е1}} = 144 / 3,5 \cdot 5,444 \cdot 10^7 = 2,24 \cdot 10^6 \text{ Н м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\pi}}{[M]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 2,55 \cdot 10^4 / (1 + (2,55 \cdot 10^4 / 2,24 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 2,55 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

$$2,55 \cdot 10^4 \text{ Н м} \geq 1023 \text{ Н м}$$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

### Обечайка, нагруженная поперечным усилием (п. 5.3.6)

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\pi} = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (s - c) \cdot [\sigma] = 0,25 \cdot 3,142 \cdot 144 \cdot (12 - 2,8) \cdot 160 = 1,665 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчётная длина для расчёта от действия давления:

$$l_p = 1678 \text{ мм}$$

Расчётная длина для расчёта от действия поперечной силы:

$$l_Q = 1678 \text{ мм}$$

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости:

$$[Q]_{\text{Е}} = \frac{2,4 \cdot E \cdot (s - c)^2}{n_y} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \cdot \frac{D(s - c)}{l^2} \right] = \frac{2,4 \cdot 1,97 \cdot 10^5 \cdot (12 - 2,8)^2}{1678^2} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \cdot \frac{144 \cdot (12 - 2,8)}{1678^2} \right] = 3,027 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое поперечное усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\pi}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_{\pi}}{[Q]_{\text{Е}}} \right)^2}} = 1,665 \cdot 10^5 / (1 + (1,665 \cdot 10^5 / 3,027 \cdot 10^6)^2)^{1/2} = 1,662 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$1,662 \cdot 10^5 \text{ Н} \geq 1079 \text{ Н}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 PP					Лист 136
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

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

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

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

$$\frac{p}{[p]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left( \frac{Q}{[Q]} \right)^2 = 0/0 + 0/0 + 1023/2,55 \cdot 10^4 + (1079/1,662 \cdot 10^5)^2 = 0,04016 \leq 1$$

Закключение: **Условие устойчивости выполнено**

**Обечайка, нагруженная осевым растягивающим усилием (п. 5.3.3)**

Допускаемое осевое растягивающее усилие:

$$[F] = \pi \cdot (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot [\sigma] \cdot \varphi_T = 3,142 \cdot (144 + 12 - 2,8) \cdot (12 - 2,8) \cdot 160 \cdot 1 = 7,085 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности со стороны растяжения:

$$[M]_{\text{пр}} = \frac{D}{4} \cdot [F] = 144/4 \cdot 7,085 \cdot 10^5 = 2,55 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

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

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

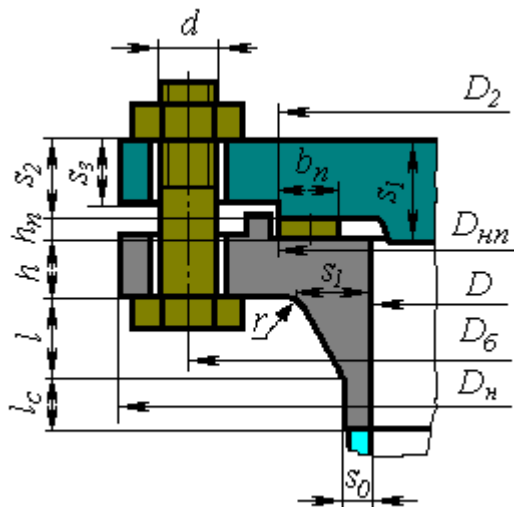
$$\frac{F + p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{[F]} + \frac{M}{[M]_{\text{пр}}} = (0 + 1,69 \cdot 3,142 \cdot 144^2 / 4) / 7,085 \cdot 10^5 + 1023 / 2,55 \cdot 10^4 = 0,07896 \leq 1$$

Закключение: **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				137

## Фланец DN600 с крышкой

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



## Исходные данные

### Параметры крышки:

Материал: 12X18H10T

Толщина стенки,  $s_1$ : 45 мм

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии,  $c_1$ : 1 мм

Прибавка для компенсации минусового допуска,  $c_2$ : 0 мм

Прибавка технологическая, с<sub>з</sub>: 0 мм

Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, с: 1 мм

Толщина в месте прокладки,  $s_2$ : 41 мм

Толщина вне уплотнения,  $s_3$ : 35 мм

Наименьший диаметр наружной утоненной части,  $D_2$ : 663 мм

Наружный диаметр крышки, D<sub>н</sub>: 740 мм

### Параметры фланца:

Тип фланца: Приварные встык

Исполнение фланца: Выступ-впадина

Диаметр болтовой окружности,  $D_6$ : 700 мм

Материал фланца: 12X18H10T

Смежный элемент: Штуцер П DN600

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Толщина стенки смежного элемента: 16 мм

Внутренний диаметр фланца, D: 600 мм

Наружный диаметр фланца, D<sub>н</sub>: 740 мм

Толщина фланца, h: 45 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Длина конической части втулки, l: 36 мм

Изн. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Прибавка для компенсации коррозии и эрозии, $c_1$ :	1 мм
					Прибавка для компенсации минусового допуска, $c_2$ :	0 мм
					Прибавка технологическая, $c_3$ :	0 мм
					Сумма прибавок к расчётной толщине стенки, $c$ :	1 мм
					Толщина в месте прокладки, $s_2$ :	41 мм
					Толщина вне уплотнения, $s_3$ :	35 мм
					Наименьший диаметр наружной утоненной части, $D_2$ :	663 мм
					Наружный диаметр крышки, $D_n$ :	740 мм
					<b>Параметры фланца:</b>	
					Тип фланца:	Приварные встык
Изн. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Исполнение фланца:	Выступ-впадина
					Диаметр болтовой окружности, $D_6$ :	700 мм
					Материал фланца:	12X18H10T
					Смежный элемент:	Штуцер П DN600
					Материал смежного элемента:	12X18H10T
					Толщина стенки смежного элемента:	16 мм
					Внутренний диаметр фланца, $D$ :	600 мм
					Наружный диаметр фланца, $D_n$ :	740 мм
					Толщина фланца, $h$ :	45 мм
					Сумма прибавок, $c$ :	1 мм
Изн. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Длина конической части втулки, $l$ :	36 мм
Е-14.00.00.000 РР						Лист
						138
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



$E_{\phi} = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$   
Коэффициент линейного расширения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :  
 $\alpha_{\phi} = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}$   
Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):  
 $[\sigma]_{\phi}^{20} = 152,5 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :  
 $E_{\phi}^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Характеристики прокладки:

Тип и материал прокладки	Коэффициент $m$	Удельное давление обжатия $q_{обж}$ , МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$ , МПа	Коэффициент обжатия $K$	Условный модуль сжатия $E_n$ , МПа
Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали	3	69	-	-	-

Эффективная ширина прокладки:  
 $b_0 = 12 \text{ мм}$

Примечание: 
$$\begin{cases} b_0 = b_{\text{пр}} & \text{при } b_{\text{пр}} \leq 15,0 \text{ мм} \\ b_0 = 3,8 \cdot \sqrt{b_{\text{пр}}} & \text{при } b_{\text{пр}} > 15,0 \text{ мм} \end{cases}$$

Рабочий наружный диаметр прокладки:

$D_{\text{пр}} = 663 \text{ мм}$   
Средний эффективный диаметр прокладки:  
 $D_{\text{ст}} = D_{\text{пр}} - b_0 = 663 - 12 = 651 \text{ мм}$

Для металлических и асбометаллических прокладок  $y_n = 0$ .

Расчётные параметры болтов (шпилек):

Рабочая длина болта (шпильки):  
 $L_{\phi 0} = h + s_2 + h_{\text{п}} = 41 + 45 + 4,5 = 90,5 \text{ мм}$   
Площадь сечения шпильки (по внутреннему диаметру резьбы):  
 $f_{\phi} = 0,3027 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$   
Эффективная длина шпильки:

$L_{\phi} = L_{\phi 0} + 0,56 \cdot d = 90,5 + 0,56 \cdot 23 = 103,4 \text{ мм}$

Податливость шпилек:

$$y_{\phi} = \frac{L_{\phi}}{E_{\phi}^{20} \cdot f_{\phi} \cdot n} = 103,4 / (2,05 \cdot 10^5 \cdot 0,3027 \cdot 10^{-3} \cdot 32) = 0,5205 \cdot 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчётные параметры крышки:

$$K_{\text{кр}} = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{ст}}} = 740 / 651 = 1,137$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	
						Лист
						140

$$x_{кр} = \frac{0.67 \cdot [K_{кр}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K_{кр}) - 1]}{(K_{кр} - 1) \cdot \left[ K_{кр}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{кр}^2 + 1) \cdot \left( \frac{s_1}{s_2} \right)^3 \right]} = \frac{0.67 \cdot (1.137^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg(1.137)) - 1)}{(1.137 - 1) \cdot [1.137^2 - 1 + (1.857 \cdot 1.137^2 + 1) \cdot (45/41)^3]} = 0.9285$$

Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ :

$$E_{кр}^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Угловая податливость крышки:

$$y_{кр} = \frac{x_{кр}}{E_{кр}^{20} \cdot s_2^3} = 0.9285 / (2 \cdot 10^5 \cdot 41^3) = 0.386 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н м}$$

### Расчётные параметры фланца:

$$l_0 = \sqrt{D \cdot s_0} = (600 \cdot 12)^{1/2} = 84.85 \text{ мм}$$

$$\beta_F = 0.8426$$

$$K = \frac{D_K}{D + 2 \cdot c} = 740 / (600 + 2 \cdot 0) = 1.233$$

$$\beta_T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1.233^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.233) - 1) / ((1.05 + 1.945 \cdot 1.233^2) \cdot (1.233 - 1)) = 1.824$$

$$\beta_V = 0.2506$$

$$\beta_U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg K) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1.233^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \lg 1.233) - 1) / (1.36 \cdot (1.233^2 - 1) \cdot (1.233 - 1)) = 10.31$$

$$\lambda = \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot s_0^2} = (0.8426 \cdot 45 + 84.85) / (1.824 \cdot 84.85) + 0.2506 \cdot 45^3 / (10.31 \cdot 84.85 \cdot 12^2) = 0.9746$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\Phi} = \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E^{20} \cdot \lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0} = 0.91 \cdot 0.2506 / (2 \cdot 10^5 \cdot 0.9746 \cdot 12^2 \cdot 84.85) = 0.5486 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ/\text{Н м}$$

Плечи моментов:

$$a = 0$$

$$b = 0.5 \cdot (D_B - D_{сп}) = 0.5 \cdot (700 - 651) = 24.5 \text{ мм}$$

$$\beta = \frac{s_1}{s_0} = 24 / 12 = 2$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{(D + 2c) \cdot (s_0 - c)}} = 36 / ((600 + 2 \cdot 0) \cdot (12 - 0))^{1/2} = 0.4243$$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			
Лист			
141			

$$\kappa = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1 + (2 - 1) * 0,4243 / (0,4243 + (1 + 2) / 4) = 1,361$$

Эквивалентная толщина втулки для фланца, приварного встык:

$$s_3 = \kappa \cdot (s_0 - c) = 1,361 * (12 - 0) = 16,34 \text{ мм}$$

$$e = 0,5 \cdot (D_{\text{сп}} - (D + 2 \cdot c) - s_3) = 0,5 * (651 - (600 + 2 * 0) - 16,34) = 17,33 \text{ мм}$$

### Расчёт нагрузок:

Равнодействующая давления:

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot D_{\text{ст}}^2 \cdot p = 0,785 * 651^2 * 1,679 = 5,585 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в расчётных условиях, необходимое для обеспечения герметичности:

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |p| = 3,142 * 651 * 12 * 3 * |1,679| = 1,236 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ст}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} = 0,5 * 3,142 * 651 * 12 * 69 = 8,467 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$\eta = y_{\text{п}} + y_{\text{е}} + y_{\text{ф}}' \cdot b'^2 + y_{\text{ф}}'' \cdot b''^2 = 0 + 0,5205 \cdot 10^{-7} + 0,386 \cdot 10^{-5} * 24,5^2 + 0,5486 \cdot 10^{-5} * 24,5^2 = 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Коэффициенты жёсткости для фланцевого соединения с крышкой, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\text{п}} - (y_{\text{ф}}' \cdot e + y_{\text{ф}}'' \cdot b) \cdot b}{\eta} = 1 - (0 - (0,5486 \cdot 10^{-5} * 17,33 + 0,386 \cdot 10^{-5} * 24,5) * 24,5) / 0,15 \cdot 10^{-6} = 1,541$$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в расчётных условиях:

$$P_{\text{б1}} = \alpha \cdot Q_{\text{д}} + R_{\text{п}} = 1,541 * 5,585 \cdot 10^5 + 1,236 \cdot 10^5 = 9,841 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или сечению наименьшего диаметра:

$$A_{\text{б}} = n \cdot f_{\text{б}} = 32 * 0,3027 \cdot 10^{-3} = 0,009688 \text{ м}^2$$

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{\text{б2}} = \max \{ P_{\text{обж}}; 0,4 \cdot A_{\text{б}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} \} = \max \{ 8,467 \cdot 10^5; 0,4 * 0,009688 * 230 = 8,913 \cdot 10^5 \} = 8,913 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

## Расчёт без учета стесненности температурных деформаций

### Расчёт болтов(шпилек):

Коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке:  $\xi = 1,2$

Коэффициент условий работы:  $K_{\text{уп}} = 1$

Коэффициент условий затяжки:  $K_{\text{уз}} = 1$

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при затяжке:

$$[\sigma]_{\text{б}}^{\text{м}} = \xi \cdot K_{\text{уп}} \cdot K_{\text{уз}} \cdot K_{\text{ут}} \cdot [\sigma]_{\text{б}}^{20} = 1,2 * 1 * 1 * 1 * 230 = 276 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:

$$P_{\text{б}}^{\text{м}} = \max \{ P_{\text{б1}}; P_{\text{б2}} \} = \max \{ 9,841 \cdot 10^5; 8,913 \cdot 10^5 \} = 9,841 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{м}}}{A_{\text{б}}} \leq [\sigma]_{\text{б}}^{\text{м}}$$

$$\sigma_{\text{б1}} = \frac{P_{\text{б}}^{\text{м}}}{A_{\text{б}}} = 9,841 \cdot 10^5 / 0,009688 = 101,6 \text{ МПа}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	<div>Е-14.00.00.000 РР</div> <div>Лист</div> <div>142</div>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки при  $\sigma_{61} < 120$  МПа:

$$M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 9,841 \cdot 10^5 \cdot 23 / 32 = 212,2 \text{ Н м}$$

При наличии смазки величина  $M_{кр}$  снижается на 25% и составляет  $0.75 \cdot M_{кр} = 159,1$  Н м  
 $101,6 \text{ МПа} \leq 276 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено**

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) при расчётных условиях:

$$[\sigma]_6^P = K_{уп} \cdot K_{уз} \cdot K_{ут} \cdot [\sigma]_6 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 226,5 = 226,5 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в расчётных условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot Q_{д} = 9,841 \cdot 10^5 + (1 - 1,541) \cdot 5,585 \cdot 10^5 = 6,821 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности в расчётных условиях:

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

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 6,821 \cdot 10^5 / 0,009688 = 70,41 \text{ МПа}$$

$70,41 \text{ МПа} \leq 226,5 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях затяжки:

$$P_6^M = \max\{P_{b1}; P_{b2}\} = \max\{9,841 \cdot 10^5; 8,913 \cdot 10^5\} = 9,841 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

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

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 9,841 \cdot 10^5 / 0,009688 = 101,6 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки при  $\sigma_{61} < 120$  МПа:

$$M_{кр} = 0.3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0.3 \cdot 9,841 \cdot 10^5 \cdot 23 / 32 = 212,2 \text{ Н м}$$

При наличии смазки величина  $M_{кр}$  снижается на 25% и составляет  $0.75 \cdot M_{кр} = 159,1$  Н м

### Расчёт ответного фланца:

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_6}{n}}{2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5}}} \right\} = \max\{1; (3,142 \cdot 700 / 32 / (2 \cdot 23 + 6 \cdot 45 / (3 + 0.5)))^{1/2}\} = 1$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 9,841 \cdot 10^5 \cdot 24,5 = 2,411 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

$$D^* = (D + 2 \cdot c) \text{ при } (D + 2 \cdot c) \geq 20 \cdot (s_1 - c) = 600 + 2 \cdot 0 \text{ при } (600 + 2 \cdot 0) \geq 20 \cdot (24 - 0) = 600 \text{ мм}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D^*} = 2,411 \cdot 10^4 / (0,9746 \cdot (24 - 1)^2 \cdot 600) = 77,94 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + 1.0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M^M = (1.33 \cdot 0,8426 \cdot 45 + 84,85) / (0,9746 \cdot 45^2 \cdot 84,85 \cdot 600) \cdot 2,411 \cdot 10^4 = 32,46 \text{ МПа}$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Подпись и дата	
Взам. инв. №		Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Инов. № подл.	19663.4	Взам. инв. №		Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Е-14.00.00.000 РР					Лист
					143

$$\beta_Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,69 + 5,72 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,233 - 1) * (0,69 + 5,72 * 1,233^2 * \lg 1,233 / (1,233^2 - 1)) = 9,475$$

$$\beta_Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,233^2 + 1) / (1,233^2 - 1) = 4,838$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 9,475 * 2,411 \cdot 10^4 / (45^2 * 600) - 4,838 * 32,46 = 30,96 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

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

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |77,94 + 32,46|; |77,94 + 30,96| \} = 110,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_F^{20} = 1,5 * 152,5 = 228,7 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1 * 228,7 = 228,7 \text{ МПа}$$

110,4 МПа ≤ 228,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при расчётных условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + Q_d^P \cdot e; |Q_d^P| \cdot e \right\} = 1 * \max \{ 6,821 \cdot 10^5 * 24,5 + 5,585 \cdot 10^5 * 17,33; |5,585 \cdot 10^5| * 17,33 \} = 2,639 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в расчётных условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^P = \frac{M^P}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 2,639 \cdot 10^4 / (0,9746 * (24 - 1)^2 * 600) = 85,31 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в расчётных условиях:

$$\sigma_R^P = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^P = (1,33 * 0,8426 * 45 + 84,85) / (0,9746 * 45^2 * 84,85 * 600) * 2,639 \cdot 10^4 = 35,53 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в расчётных условиях:

$$\sigma_T^P = \frac{\beta_Y \cdot M^P}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^P = 9,475 * 2,639 \cdot 10^4 / (45^2 * 600) - 4,838 * 35,53 = 33,89 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в расчётных условиях в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_{mm}^P = \frac{Q_d^P}{\pi \cdot (D + s_1) \cdot (s_1 - c)} = 5,585 \cdot 10^5 / (3,142 * (600 + 24) * (24 - 1)) = 12,39 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в расчётных условиях в сечении  $s_1$ :

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

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^P - \sigma_{mm}^P + \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_1^P - \sigma_{mm}^P + \sigma_T^P \right|; \left| \sigma_1^P + \sigma_{mm}^P \right| \right\} = \max \{ |85,31 - 12,39 + 35,53|; |85,31 - 12,39 + 33,89|; |85,31 + 12,39| \} = 108,5 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_M = 1,5 \cdot [\sigma]_F = 1,5 * 133,5 = 200,2 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_M = 1 * 200,2 = 200,2 \text{ МПа}$$

108,5 МПа ≤ 200,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$f = \max \left\{ \frac{C_{36}}{1 + A}; 1,0 \right\} = \max \{ 3,018 / (1 + 1); 1,0 \} = 1,509$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Подпись и дата	
Взам. инв. №		Инов. № дубл.			
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Е-14.00.00.000 РР					Лист
					144



Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^M = f \cdot \sigma_1^M = 1,509 \cdot 77,94 = 117,6 \text{ МПа}$$

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

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

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_R^{20} = 3 \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 3 \cdot 152,5 = 457,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R^{20} = 1,3 \cdot 457,5 = 594,7 \text{ МПа}$$

117,6 МПа  $\leq$  594,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в расчётных условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_0^P = f \cdot \sigma_1^P = 1,509 \cdot 85,31 = 128,7 \text{ МПа}$$

Меридиональное мембранное напряжение во втулке в расчётных условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mm}^P = \frac{Q_{\pi}}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 5,585 \cdot 10^5 / (3,142 \cdot (600 + 12) \cdot (12 - 1)) = 26,41 \text{ МПа}$$

Окружное мембранное напряжение от действия давления во втулке в расчётных условиях в сечении  $s_0$ :

$$\sigma_{0mo}^P = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s_0 - c)} = 1,679 \cdot 600 / (2 \cdot (12 - 1)) = 45,78 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности в расчётных условиях в сечении  $s_0$ :

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

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^P \pm \sigma_{0mm}^P \right|; \left| 0,3 \cdot \sigma_0^P \pm \sigma_{0mo}^P \right|; \left| 0,7 \cdot \sigma_0^P \pm (\sigma_{0mm}^P - \sigma_{0mo}^P) \right| \right\} = \max \{ |128,7 \pm 26,41|; |0,3 \cdot 128,7 \pm 45,78|; |0,7 \cdot 128,7 \pm (26,41 - 45,78)| \} = 155,2 \text{ МПа}$$

Допускаемые суммарные общие и местные условные упругие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_\Phi = 3 \cdot 133,5 = 400,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R = 1,3 \cdot 400,5 = 520,7 \text{ МПа}$$

155,2 МПа  $\leq$  520,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в расчётных условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} \leq [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_{0mo}^P \right|; \left| \sigma_{0mm}^P \right| \right\} = \max \{ |45,78|; |26,41| \} = 45,78 \text{ МПа}$$

45,78 МПа  $\leq$  133,5 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

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

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |32,46|; |30,96| \} = 32,46 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_\Phi^{20} = 1 \cdot 152,5 = 152,5 \text{ МПа}$$

32,46 МПа  $\leq$  152,5 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в расчётных условиях для тарелок:

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_\Phi$$

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = \max \{ |35,53|; |33,89| \} = 35,53 \text{ МПа}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
										145
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



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

$$\sigma_{62} = \frac{P_6^P}{A_6} = 8,58 \cdot 10^5 / 0,009688 = 88,57 \text{ МПа}$$

88,57 МПа ≤ 294,4 МПа, **Условие прочности выполнено**

Расчётная болтовая нагрузка при затяжке, необходимая для герметизации в расчётных условиях:

$$P_{61} = \max \left\{ \alpha \cdot Q_d + R_{\pi}, \alpha \cdot Q_d + R_{\pi} - Q_t \right\} = \max \left\{ 1,541 \cdot 5,585 \cdot 10^5 + 1,236 \cdot 10^5 = 9,841 \cdot 10^5; 1,541 \cdot 5,585 \cdot 10^5 + 1,236 \cdot 10^5 - 1,759 \cdot 10^5 = 8,082 \cdot 10^5 \right\} = 9,841 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Условие прочности при затяжке:

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

$$\sigma_{61} = \frac{P_6^M}{A_6} = 9,841 \cdot 10^5 / 0,009688 = 101,6 \text{ МПа}$$

Крутящий момент при затяжке болтов (шпилек) без смазки при  $\sigma_{61} < 120 \text{ МПа}$ :

$$M_{\text{кр}} = 0,3 \cdot \frac{P_6^M \cdot d}{n} = 0,3 \cdot 9,841 \cdot 10^5 \cdot 23 / 32 = 212,2 \text{ Н м}$$

При наличии смазки величина  $M_{\text{кр}}$  снижается на 25% и составляет  $0,75 \cdot M_{\text{кр}} = 159,1 \text{ Н м}$

### Расчёт ответного фланца:

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при затяжке:

$$M^M = C_F \cdot P_6^M \cdot b = 1 \cdot 9,841 \cdot 10^5 \cdot 24,5 = 2,411 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в условиях затяжки в сечении  $s_1$ :

$$\sigma_1^M = \frac{M^M}{\lambda \cdot (s_1 - c)^2 \cdot D} = 2,411 \cdot 10^4 / (0,9746 \cdot (24 - 1)^2 \cdot 600) = 77,94 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_R^M = \frac{1,33 \cdot \beta_F \cdot h + 1_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot 1_0 \cdot D} \cdot M^M = (1,33 \cdot 0,8426 \cdot 45 + 84,85) / (0,9746 \cdot 45^2 \cdot 84,85 \cdot 600) \cdot 2,411 \cdot 10^4 = 32,46 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке в условиях затяжки:

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y \cdot M^M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_R^M = 9,475 \cdot 2,411 \cdot 10^4 / (45^2 \cdot 600) - 4,838 \cdot 32,46 = 30,96 \text{ МПа}$$

Условие статической прочности при затяжке в сечении  $s_1$  (п. 8.5.1):

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

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = \max \{ |77,94 + 32,46|; |77,94 + 30,96| \} = 110,4 \text{ МПа}$$

Допускаемые общие мембранные и изгибные напряжения (п. 8.10 ГОСТ Р 52857.1):

$$[\sigma]_M^{20} = 1,5 \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1,5 \cdot 152,5 = 228,7 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_M^{20} = 1,3 \cdot 228,7 = 297,4 \text{ МПа}$$

110,4 МПа ≤ 297,4 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в расчётных условиях:

$$P_6^P = P_6^M + (1 - \alpha) \cdot Q_d + Q_t = 9,841 \cdot 10^5 + (1 - 1,541) \cdot 5,585 \cdot 10^5 + 1,759 \cdot 10^5 = 8,58 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Расчётный изгибающий момент, действующий на фланец при расчётных условиях:

$$M^P = C_F \cdot \max \left\{ P_6^P \cdot b + Q_d \cdot e; |Q_d| \cdot e \right\} = 1 \cdot \max \{ 8,58 \cdot 10^5 \cdot 24,5 + 5,585 \cdot 10^5 \cdot 17,33; |5,585 \cdot 10^5| \cdot 17,33 \} = 3,07 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Меридиональное изгибное напряжение во втулке в расчётных условиях в сечении  $s_1$ :

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 PP				Лист
				147



$$[\sigma]_R = 3 \cdot [\sigma]_{\Phi} = 3 \cdot 133,5 = 400,5 \text{ МПа}$$

$$1,3 \cdot [\sigma]_R = 1,3 \cdot 400,5 = 520,7 \text{ МПа}$$

176,2 МПа ≤ 520,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в расчётных условиях в сечении  $s_0$ :

$$\max \left\{ |\sigma_{0mo}^P|; |\sigma_{0mm}^P| \right\} \leq [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ |\sigma_{0mo}^P|; |\sigma_{0mm}^P| \right\} = \max\{45,78; 26,41\} = 45,78 \text{ МПа}$$

45,78 МПа ≤ 133,5 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности при затяжке для тарелок:

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

$$\max \left\{ |\sigma_R^M|; |\sigma_T^M| \right\} = \max\{32,46; 30,96\} = 32,46 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}^{20} = 1,3 \cdot 152,5 = 198,2 \text{ МПа}$$

32,46 МПа ≤ 198,2 МПа, **Условие прочности выполнено**

Условие статической прочности в расчётных условиях для тарелок:

$$\max \left\{ |\sigma_R^P|; |\sigma_T^P| \right\} \leq K_T \cdot [\sigma]_{\Phi}$$

$$\max \left\{ |\sigma_R^P|; |\sigma_T^P| \right\} = \max\{41,34; 39,43\} = 41,34 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot [\sigma]_{\Phi} = 1,3 \cdot 133,5 = 173,5 \text{ МПа}$$

41,34 МПа ≤ 173,5 МПа, **Условие прочности выполнено**

### **Жёсткость фланца:**

Угол поворота фланца в расчётных условиях:

$$\varpi = M^P \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E^{20}}{E} = 3,07 \cdot 10^4 \cdot 0,5486 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^5 / 1,973 \cdot 10^5 = 0,1707^{\circ}$$

Условие выполнения жесткости фланцев:

$$\varpi \leq K_{\varpi} \cdot [\varpi] = 1 \cdot 0,3939 = 0,3939^{\circ}$$

**Условие жёсткости выполнено**

### **Расчёт крышки на прочность и устойчивость по ГОСТ Р 52857.2-2007**

Коэффициент ослабления для днищ, не имеющих отверстий  $K_0 = 1,0$

Температура фланца (кольца),  $t_{\Phi}$ : 192 °С

### **Свойства материала крышки**

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_{кр} = 161 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192^{\circ}\text{C}$ :

$$E_{кр} = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_{кр} = 0,1697 \cdot 10^{-4}^{\circ}\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$[\sigma]_{кр}^{20} = 184 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20^{\circ}\text{C}$ :

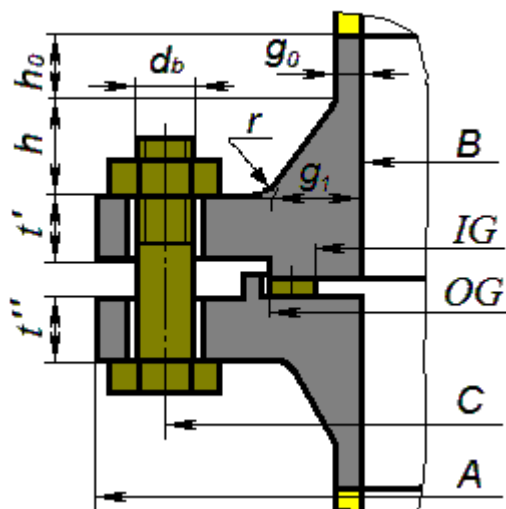
$$E_{кр}^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	Лист
19663.4						149



## Фланцевое соединение DN200

## 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: 310 мм

**Данные первого фланца (кольца):**

Смежный элемент: Штуцер А DN200

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 360 мм

Толщина фланца (кольца), t: 27 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Внешняя коррозия фланца,  $c_f$ : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 202 мм

Длина конической части втулки, h: 28,75 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 19,25 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 10 мм

Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 21,5 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 360 мм

Толщина фланца (кольца), t: 27 мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Свободный/интегральный:		
					-		
19663.4					Диаметр болтовой окружности, С: 310 мм		
					<b>Данные первого фланца (кольца):</b>		
					Смежный элемент:	Штуцер А DN200	
					Материал смежного элемента:	12Х18Н10Т	
					Материал фланца (кольца):	12Х18Н10Т	
					Наружный диаметр фланца (кольца), А:	360 мм	
					Толщина фланца (кольца), t:	27 мм	
					Сумма прибавок, с:	1 мм	
					Внешняя коррозия фланца, с <sub>г</sub> :	0 мм	
					Внутренний диаметр фланца, В:	202 мм	
						Длина конической части втулки, h:	28,75 мм
						Длина цилиндрической части втулки, h <sub>0</sub> :	19,25 мм
						Толщина цилиндрической части втулки, g <sub>0</sub> :	10 мм
						Толщина конической части втулки, g <sub>1</sub> :	21,5 мм
						Радиус перехода, г:	5 мм
						<b>Данные второго фланца (кольца):</b>	
						Смежный элемент:	
						Материал смежного элемента:	12Х18Н10Т
						Материал фланца (кольца):	12Х18Н10Т
					Наружный диаметр фланца (кольца), А:	360 мм	
					Толщина фланца (кольца), t:	27 мм	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР		Лист
							151

Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 202 мм  
Длина конической части втулки, h: 28,75 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 19,25 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 10 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 21,5 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12Н8Г8МФБ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 24 мм  
Количество, n: 12  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 259 мм  
Внутренний диаметр, IG: 239 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 6600 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 5940 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,661 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °C

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):

$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:

$E_6 = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коэффициент линейного расширения для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:

$\alpha_6 = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 20 °C:

$E^{20}_6 = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер А DN200**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):

$S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
										152
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						



**Свойства материала смежного элемента фланца 2**

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
S<sub>но2</sub>= 131,7 МПа  
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
S<sub>нг2</sub>= 150,3 МПа

**Свойства материала фланца (кольца) 1**

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
S<sub>fo1</sub>= 133,9 МПа  
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
E<sub>1</sub>= 1,973·10<sup>5</sup> МПа  
Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
α<sub>1</sub>= 0,1697·10<sup>-4</sup> °С  
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
S<sub>g1</sub>= 152,7 МПа  
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С:  
E<sup>20</sup><sub>1</sub>= 2·10<sup>5</sup> МПа

**Свойства материала фланца (кольца) 2**

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
S<sub>fo2</sub>= 133,9 МПа  
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
E<sub>2</sub>= 1,973·10<sup>5</sup> МПа  
Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
α<sub>2</sub>= 0,1697·10<sup>-4</sup> °С  
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
S<sub>g2</sub>= 152,7 МПа  
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С:  
E<sup>20</sup><sub>2</sub>= 2·10<sup>5</sup> МПа

**Расчётные параметры первого фланца:**

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):  
 $B = B + 2 \cdot c = 202 + 2 \cdot 2 = 204 \text{ мм}$   
Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):  
 $\xi_0 = \xi_0 - c = 10 - 1 = 9 \text{ мм}$   
Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:  
 $\xi_1 = \xi_1 - c = 21,5 - 1 = 20,5 \text{ мм}$   
Толщина фланца, с учетом коррозии:  
 $t = t - c_f = 27 - 0 = 27 \text{ мм}$

**Расчётные параметры второго фланца:**

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

**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 <sub>n</sub> , МПа
Спирально-навитая с	3	69	-	-	-

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата						Лист 153
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР					





$$K = \frac{A}{B} = 360 / 204 = 1,765$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{(1.0472 + 1.9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (1,765^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 1,765) - 1) / ((1.0472 + 1.9448 \cdot 1,765^2) \cdot (1,765 - 1)) = 1,599$$

$$U = \frac{K^2(1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{1.36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (1,765^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 1,765) - 1) / (1.36136 \cdot (1,765^2 - 1) \cdot (1,765 - 1)) = 3,946$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,1622$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 = 3,946 / 0,1622 \cdot 42,85 \cdot 9^2 = 0,8444 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (27 \cdot 0,01819 + 1) / 1,599 + 27^3 / 0,8444 \cdot 10^4 = 1,166$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,166 \cdot 9 \cdot 42,85 \cdot 204 / 0,1622 = 0,4449 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$G_{\text{avg}} = 0.5 \cdot (g_0 + g_1) = 0.5 \cdot (9 + 20,5) = 14,75 \text{ mm}$$

$$A_R = 0.5 \cdot (A - B) = 0.5 \cdot (360 - 204) = 78 \text{ mm}$$

Так как  $t \geq G_{\text{avg}}$ ,

$$A_A = A_B = 78 \text{ mm}$$

$$E_p = t = 27 \text{ mm}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (78 \cdot 27^3) \cdot [1/3 - 0.21 \cdot (27/78) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{27/78\}^4)] = 0,4003 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$C_F = h = 28,75 \text{ mm}$$

$$D_{\text{Df}} = G_{\text{max}} = 14,75 \text{ mm}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_c \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (28,75 \cdot 14,75^3) \cdot [1/3 - 1.05 \cdot (14,75 / 28,75) \cdot (1 - 1/192 \cdot \{14,75 / 28,75\}^4)] = (-0,1893 \cdot 10^{-7}) \text{ M}^4$$

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

$$I_D = K_{AB} + K_{CD} = 0,4003 \cdot 10^{-6} + (-0,1893 \cdot 10^{-7}) = 0,3814 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0.3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 * 5940 * [0,4449 \cdot 10^{-6} / (0,3846 * 0,3814 \cdot 10^{-6} + 0,4449 \cdot 10^{-6})] * [42,75 / (310 - 2 * 42,75)] + 6600 * 42,75 = 3685 \text{ H}_M$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(5,427 \cdot 10^4 * 42,75 + 2,658 \cdot 10^4 * 41,75 + 3,899 \cdot 10^4 * 30,5) * 1,04 + 3685] * 1 = 8489 \text{ H} \\ \text{M}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (78 \cdot 27^3) \cdot [1/3 - 0.21 \cdot (27/78) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{27/78\}^4)] = 0,4003 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$
					$C_c = h = 28,75 \text{ мм}$
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$D_{DG} = G_{\text{вг}} = 14,75 \text{ мм}$
					$K_{CD} = \left\{ C_c \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (28,75 \cdot 14,75^3) \cdot [1/3 - 1.05 \cdot (14,75/28,75) \cdot (1 - 1/192 \cdot \{14,75/28,75\}^4)] = (-0,1893 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^4$
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Полярный момент сечения фланца (интегральные фланцы, плоские фланцы с втулкой):</p> $I_p = K_{AB} + K_{CD} = 0,4003 \cdot 10^{-6} + (-0,1893 \cdot 10^{-7}) = 0,3814 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$
					<p>Компонент проектного момента на фланце, как результат действия внешнего изгибающего момента и/или осевой силы:</p> $M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0.3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 5940 \cdot [0,4449 \cdot 10^{-6} / (0.3846 \cdot 0,3814 \cdot 10^{-6} + 0,4449 \cdot 10^{-6})] \cdot [42,75 / (310 - 2 \cdot 42,75)] + 6600 \cdot 42,75 = 3685 \text{ Н м}$
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Коэффициент момента для расчета свободных колец:</p> $F_S = 1$
					<p>Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):</p> $M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(5,427 \cdot 10^4 \cdot 42,75 + 2,658 \cdot 10^4 \cdot 41,75 + 3,899 \cdot 10^4 \cdot 30,5) \cdot 1,04 + 3685] \cdot 1 = 8489 \text{ Н м}$
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):</p> $f = 1$
					<p>Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:</p>
19663.4					<div>E-14.00.00.000 PP</div> <div>Лист 156</div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 8489 / (1,166 \cdot 20,5^2 \cdot 204) = 84,94 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\} = \min\{1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 132,8\} = 200,8 \text{ МПа}$$

84,94 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 27 \cdot 0,01819 + 1) \cdot 8489 / (1,166 \cdot 27^2 \cdot 204) = 80,95 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{до}}$$

80,95 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (1,765 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 1,765^2 \cdot \lg 1,765 / (1,765^2 - 1)) = 3,59$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (1,765^2 + 1) / (1,765^2 - 1) = 1,946$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 3,59 \cdot 8489 / (27^2 \cdot 204) - 1,946 \cdot 80,95 = 47,44 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

47,44 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (84,94 + 80,95) / 2 = 82,94 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

82,94 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (84,94 + 47,44) / 2 = 66,19 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$$

66,19 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\text{г}} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{\text{бг}} = (0,001833 + 0,003888) / 2 \cdot 147,2 = 4,211 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\text{г}} = \frac{W_{\text{г}} \cdot (C - G) \cdot B_{\text{сг}} \cdot F_{\text{с}}}{2} = 4,211 \cdot 10^5 \cdot (310 - 249) \cdot 1,04 \cdot 1 / 2 = 1,336 \cdot 10^4 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 1,336 \cdot 10^4 / (1,166 \cdot 20,5^2 \cdot 204) = 133,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$$

133,7 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	$\frac{S_H + S_R}{2} = (84,94 + 80,95) / 2 = 82,94 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$ <p>82,94 МПа ≤ 133,9 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b></p> $\frac{S_H + S_T}{2} = (84,94 + 47,44) / 2 = 66,19 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$ <p>66,19 МПа ≤ 133,9 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b></p> <p>Болтовая нагрузка в условиях монтажа:</p> $W_{\text{г}} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{b\text{г}} = (0,001833 + 0,003888) / 2 \cdot 147,2 = 4,211 \cdot 10^5 \text{ Н}$ <p>Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):</p> $M_{\text{г}} = \frac{W_{\text{г}} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 4,211 \cdot 10^5 \cdot (310 - 249) \cdot 1,04 \cdot 1 / 2 = 1,336 \cdot 10^4 \text{ Н м}$ <p>Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:</p> $S_H = \frac{f \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 1,336 \cdot 10^4 / (1,166 \cdot 20,5^2 \cdot 204) = 133,7 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{г}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\}$ $\min\{1,5 \cdot S_{\text{г}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$ <p>133,7 МПа ≤ 229,1 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b></p>	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP	Лист
						157

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 27 \cdot 0,01819 + 1) \cdot 1,336 \cdot 10^4 / (1,166 \cdot 27^2 \cdot 204) = 127,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

127,4 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 3,59 \cdot 1,336 \cdot 10^4 / (27^2 \cdot 204) - 1,946 \cdot 127,4 = 74,66 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

74,66 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (133,7 + 127,4) / 2 = 130,5 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

130,5 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (133,7 + 74,66) / 2 = 104,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

104,2 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0,3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52,14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52,14 \cdot 0,1622 \cdot 8489) / (1,166 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 9^2 \cdot 0,3 \cdot 42,85) = 0,2997$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

$$0,2997 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52,14 \cdot V \cdot M_{\xi}}{L \cdot E_{y\xi} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52,14 \cdot 0,1622 \cdot 1,336 \cdot 10^4) / (1,166 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 9^2 \cdot 0,3 \cdot 42,85) = 0,4653$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

$$0,4653 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

### **Расчёт напряжений второго фланца:**

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

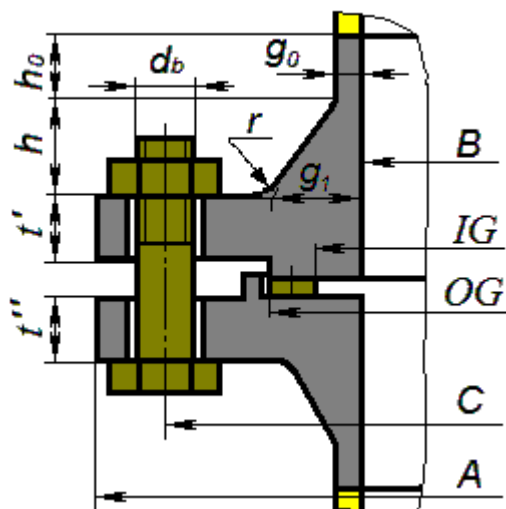
Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			158

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				
Лист				
159				

## Фланцевое соединение DN150

## 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: 250 мм

**Данные первого фланца (кольца):**

Смежный элемент: Патрубок DN150

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 300 мм

Толщина фланца (кольца), t: 25 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Внешняя коррозия фланца,  $c_f$ : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 146 мм

Длина конической части втулки, h: 31,25 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 11,75 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 7,5 мм

Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 20 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 300 мм

Толщина фланца (кольца), t: 25 мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Свободный/интегральный: -														
					Диаметр болтовой окружности, С: 250 мм														
19663.4					<b>Данные первого фланца (кольца):</b>														
					Смежный элемент: Патрубок DN150														
					Материал смежного элемента: 12X18Н10Т														
					Материал фланца (кольца): 12X18Н10Т														
					Наружный диаметр фланца (кольца), А: 300 мм														
					Толщина фланца (кольца), t: 25 мм														
					Сумма прибавок, с: 1 мм														
					Внешняя коррозия фланца, с <sub>г</sub> : 0 мм														
					Внутренний диаметр фланца, В: 146 мм														
						Длина конической части втулки, h: 31,25 мм													
						Длина цилиндрической части втулки, h <sub>0</sub> : 11,75 мм													
						Толщина цилиндрической части втулки, g <sub>0</sub> : 7,5 мм													
						Толщина конической части втулки, g <sub>1</sub> : 20 мм													
						Радиус перехода, г: 5 мм													
						<b>Данные второго фланца (кольца):</b>													
						Смежный элемент:													
						Материал смежного элемента: 12X18Н10Т													
						Материал фланца (кольца): 12X18Н10Т													
					Наружный диаметр фланца (кольца), А: 300 мм														
					Толщина фланца (кольца), t: 25 мм														
<table><tr><td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум.</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						<table><tr><td>E-14.00.00.000 PP</td><td>Лист</td></tr><tr><td></td><td>160</td></tr></table>	E-14.00.00.000 PP	Лист		160
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата															
E-14.00.00.000 PP	Лист																		
	160																		



Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 146 мм  
Длина конической части втулки, h: 31,25 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 11,75 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 7,5 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 20 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12Н8Г8МБФ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 24 мм  
Количество, n: 8  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 203 мм  
Внутренний диаметр, IG: 183 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 4800 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 3394 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,69 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °C

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):

$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °C:

$E_6 = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коэффициент линейного расширения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °C:

$\alpha_6 = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 20 °C:

$E^{20}_6 = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Патрубок DN150**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$S_{n01} = 160 \text{ МПа}$

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):

$S_{ng1} = 184 \text{ МПа}$

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата							
19663.4										
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						Лист
					E-14.00.00.000 PP					161

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
 $S_{no2} = 131,7 \text{ МПа}$   
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{ng2} = 150,3 \text{ МПа}$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
 $S_{fo1} = 133,9 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $E_1 = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$   
Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $\alpha_1 = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$   
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{g1} = 152,7 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
 $S_{fo2} = 133,9 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $E_2 = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$   
Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $\alpha_2 = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$   
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{g2} = 152,7 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):  
 $B = B + 2 \cdot c = 146 + 2 \cdot 2 = 148 \text{ мм}$   
Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):  
 $\xi_0 = \xi_0 - c = 7,5 - 1 = 6,5 \text{ мм}$   
Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:  
 $\xi_1 = \xi_1 - c = 20 - 1 = 19 \text{ мм}$   
Толщина фланца, с учетом коррозии:  
 $t = t - c_f = 25 - 0 = 25 \text{ мм}$

Расчётные параметры второго фланца:

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

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	3	69	-	-	-

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	Лист
														162

лентой из нержавеющей стали				
-----------------------------	--	--	--	--

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

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (203 - 183) / 2 = 10 \text{ мм}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 10 / 2 = 5 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если  $b_0 \leq 6$  мм,  $G$  равно среднему диаметру контактирующей поверхности прокладки.

$$G = \frac{OG + \max\{B', B'', IG\}}{2} = (203 + \max\{146; 146; 183\}) / 2 = 193 \text{ мм}$$

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

$$N = \frac{OG - IG}{2} = (203 - 183) / 2 = 10 \text{ мм}$$

Базовая контактная ширина прокладки:

$$b_0 = \frac{N}{2} = 10 / 2 = 5 \text{ мм}$$

Диаметр окружности приложения реакции со стороны прокладки:

Если  $b_0 \leq 6$  мм,  $G$  равно среднему диаметру контактирующей поверхности прокладки.

$$G = \frac{OG + \max\{B', B'', IG\}}{2} = (203 + \max\{146; 146; 183\}) / 2 = 193 \text{ мм}$$

Эффективная контактная ширина прокладки:

$$b = \begin{cases} b_0 & \text{если } b_0 \leq 6 \text{ мм} \\ 2.5 \cdot \sqrt{b_0} & \text{если } b_0 > 6 \text{ мм} \end{cases} = 5 \text{ мм}$$

### Расчёт нагрузок

Проектная болтовая нагрузка для расчётных условий (для несамонуплотняющихся прокладок):

$$W_0 = 0.785 \cdot G^2 \cdot p + 2 \cdot b \cdot \pi \cdot G \cdot m \cdot p = 0.785 \cdot 193^2 \cdot 1.69 + 2 \cdot 5 \cdot 3.142 \cdot 193 \cdot 3 \cdot 1.69 = 8,014 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Величина растягивающей внешней силы:

$$F_A = 4800 \text{ Н}$$

Сжимающими нагрузками пренебрегают, и в этом случае  $F_A$  приравнивается нулю.

Внешний изгибающий момент:

$$M_E = 3394 \text{ Н м}$$

$$W_{\text{ср}} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y = 3.142 \cdot 5 \cdot 193 \cdot 69 = 2,092 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Общая расчетная площадь сечения болтов:

$$A_m = \max \left[ \frac{W_0 + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{b0}}; \frac{W_{\text{ср}}}{S_{b\text{ср}}} \right] = \max[ (8,014 \cdot 10^4 + 4800 + 4 \cdot 3394 / 193) / 147.2; 2,092 \cdot 10^5 / 147.2 ] = 0,001421 \text{ м}^2$$

Диаметр сечения болта (шпильки) с учетом коррозии:

$$d_{\text{ср}} = 24 \text{ мм}$$

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

$$f_0 = 0,324 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

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

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				163

$$A_b = n \cdot f_b = 8 * 0,324 \cdot 10^{-3} = 0,002592 \text{ m}^2$$

**Расчёт болтов(шпилек):**

Условие прочности болтов:

$$A_{m-} \leq A_b$$

$$0,001421 \text{ m}^2 \leq 0,002592 \text{ m}^2$$

**Условие прочности выполнено**

**Расчёт напряжений первого фланца:**

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 \cdot 148^2 \cdot 1,69 = 2,905 \cdot 10^4 \text{ H}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (250 - 148 - 19) / 2 = 41,5 \text{ mm}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0.785 \cdot G^2 \cdot p = 0.785 \cdot 193^2 \cdot 1,69 = 4,941 \cdot 10^4 \text{ H}$$

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

$$H_T = H - H_D = 4,941 \cdot 10^4 - 2,905 \cdot 10^4 = 2,035 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C-G}{2} = (250-193)/2 = 28,5 \text{ mm}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C-B}{2} + h_G \right] = 1/2 * [(250 - 148) / 2 + 28,5] = 39,75 \text{ mm}$$

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

$$H_{\text{G}} = W_0 - H = 8,014 \cdot 10^4 - 4,941 \cdot 10^4 = 3,073 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Болтовой интервал:

$$B_s = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 \cdot 250 / 8 = 98,17 \text{ mm}$$

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_h = 24 \text{ mm}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_s}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 24 + 25))^{1/2} \} = 1,16$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 19/6,5 = 2,923$$

Коэффициент

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (148 \cdot 6,5)^{1/2} = 31,02 \text{ mm}$$

$$X_h = \frac{h}{h_0} = 31,25 / 31,02 = 1,008$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,6977$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_{\alpha}} = 0,6977 / 31,02 = 0,02249 \text{ 1/MM}$$

Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Нагрузка на прокладку (разница между проектной нагрузкой и равнодействующей давления), в расчётах:
							$N_{\text{Г}} = W_0 - N = 8,014 \cdot 10^4 - 4,941 \cdot 10^4 = 3,073 \cdot 10^4 \text{ Н}$ <p>Болтовой интервал:</p> $B_{\text{Г}} = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 \cdot 250 / 8 = 98,17 \text{ мм}$ <p>Номинальный диаметр болта:</p> $a = d_b = 24 \text{ мм}$ <p>Коэффициент болтового интервала:</p> $B_{\text{GC}} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_{\text{Г}}}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 24 + 25))^{1/2} \} = 1,16$ $X_{\text{Г}} = \frac{g_1}{g_0} = 19 / 6,5 = 2,923$ <p>Коэффициент</p> $h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (148 \cdot 6,5)^{1/2} = 31,02 \text{ мм}$ $X_h = \frac{h}{h_o} = 31,25 / 31,02 = 1,008$ <p>Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):</p> $F = 0,6977$ <p>Расчетные коэффициенты:</p> $e = \frac{F}{h_o} = 0,6977 / 31,02 = 0,02249 \text{ 1/мм}$
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP		Лист 164

$$K = \frac{A}{B} = 300 / 148 = 2,027$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,027^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,027) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 2,027^2) \cdot (2,027 - 1)) = 1,497$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,027^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,027) - 1) / (1,36136 \cdot (2,027^2 - 1) \cdot (2,027 - 1)) = 3,196$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,08420$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 = 3,196 / 0,08420 \cdot 31,02 \cdot 6,5^2 = 0,4974 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (25 \cdot 0,02249 + 1) / 1,497 + 25^3 / 0,4974 \cdot 10^{-4} = 1,358$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,358 \cdot 6,5^2 \cdot 31,02 \cdot 148 / 0,08420 = 0,2734 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{wg}} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (6,5 + 19) = 12,75 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (300 - 148) = 76 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{\text{wg}}$ ,

$$A_A = A_R = 76 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 25 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (76 \cdot 25^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (25/76) \cdot (1 - 1/12 \cdot (25/76)^4)] = 0,3139 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 31,25 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{wg}} = 12,75 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_C \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (31,25 \cdot 12,75^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (12,75/31,25) \cdot (1 - 1/192 \cdot (12,75/31,25)^4)] = (-0,6154 \cdot 10^{-8}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,3139 \cdot 10^{-6} + (-0,6154 \cdot 10^{-8}) = 0,3077 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 3394 \cdot [0,2734 \cdot 10^{-6} / (0,3846 \cdot 0,3077 \cdot 10^{-6} + 0,2734 \cdot 10^{-6})] \cdot [41,5 / (250 - 2 \cdot 41,5)] + 4800 \cdot 41,5 = 2554 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(2,905 \cdot 10^4 \cdot 41,5 + 2,035 \cdot 10^4 \cdot 39,75 + 3,073 \cdot 10^4 \cdot 28,5) \cdot 1,16 + 2554] \cdot 1 = 5906 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	19663.4
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	Дата
Е-14.00.00.000 PP	
Лист	
165	

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 * 5906 / (1,358 * 19^2 * 148) = 81,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1.5 \cdot S_{fo}; 2.5 \cdot S_{no}\}$$

$$\min \{1.5 \cdot S_{f0}; 2.5 \cdot S_{p0}\} = \min \{1.5 \cdot 133,9; 2.5 \cdot 160\} = 200,8 \text{ МПа}$$

$81,4 \text{ МПа} \leq 200,8 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 25 \cdot 0.02249 + 1) \cdot 5906 / (1.358 \cdot 25^2 \cdot 148) = 82,18 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \preceq S_{f_0}$$

$$82,18 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,027 - 1) * (0.66845 + 5.7169 * 2,027^2 * \lg 2,027 / (2,027^2 - 1)) = 2,908$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,027^2 + 1) / (2,027^2 - 1) = 1,643$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,908 \cdot 5906 / (25^2 \cdot 148) - 1,643 \cdot 82,18 = 50,65 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \preceq S_{f_0}$$

$$50,65 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (81,4 + 82,18) / 2 = 81,79 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$81,79 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (81,4 + 50,65) / 2 = 66,02 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$66,02 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_g = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,001421 + 0,002592) / 2 \cdot 147,2 = 2,954 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\varepsilon} = \frac{W_{\varepsilon} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 2,954 \cdot 10^5 \cdot (250 - 193) \cdot 1,16 \cdot 1/2 = 9762 \text{ H M}$$

### Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 9762 / (1,358 \cdot 19^2 \cdot 148) = 134,5 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1.5 \cdot S_{fg}; 2.5 \cdot S_{ng}\}$$

$$\min\{1.5 \cdot S_{\text{г}}; 2.5 \cdot S_{\text{нз}}\} = \min\{1.5 \cdot 152,7; 2.5 \cdot 184\} = 229,1 \text{ МПа}$$

$$134,5 \text{ МПа} \leq 229,1 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$\frac{S_H + S_R}{2} = (81,4 + 82,18) / 2 = 81,79 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$ <p>81,79 МПа ≤ 133,9 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b></p> $\frac{S_H + S_T}{2} = (81,4 + 50,65) / 2 = 66,02 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$ <p>66,02 МПа ≤ 133,9 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b></p> <p>Болтовая нагрузка в условиях монтажа:</p> $W_{\text{г}} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{\text{бг}} = (0,001421 + 0,002592) / 2 \cdot 147,2 = 2,954 \cdot 10^5 \text{ Н}$ <p>Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):</p> $M_{\text{г}} = \frac{W_{\text{г}} \cdot (C - G) \cdot B_{\text{сг}} \cdot F_{\text{с}}}{2} = 2,954 \cdot 10^5 \cdot (250 - 193) \cdot 1,16 \cdot 1 / 2 = 9762 \text{ Н м}$ <p>Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:</p> $S_H = \frac{f \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 9762 / (1,358 \cdot 19^2 \cdot 148) = 134,5 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\}$ $\min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 184\} = 229,1 \text{ МПа}$ <p>134,5 МПа ≤ 229,1 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b></p>
					<div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div> <div>19663.4</div> <div>Е-14.00.00.000 РР</div> <div>Лист 166</div> </div> </div>

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 25 \cdot 0.02249 + 1) \cdot 9762 / (1.358 \cdot 25^2 \cdot 148) = 135,8 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

135,8 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,908 \cdot 9762 / (25^2 \cdot 148) - 1,643 \cdot 135,8 = 83,72 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

83,72 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (134,5 + 135,8) / 2 = 135,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

135,2 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (134,5 + 83,72) / 2 = 109,1 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

109,1 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0.3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0.08420 \cdot 5906) / (1.358 \cdot 1.973 \cdot 10^5 \cdot 6.5^2 \cdot 0.3 \cdot 31.02) = 0.2461$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0.2461 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\xi}}{L \cdot E_{y\xi} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0.08420 \cdot 9762) / (1.358 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 6.5^2 \cdot 0.3 \cdot 31.02) = 0.4014$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0.4014 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

### **Расчёт напряжений второго фланца:**

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				167

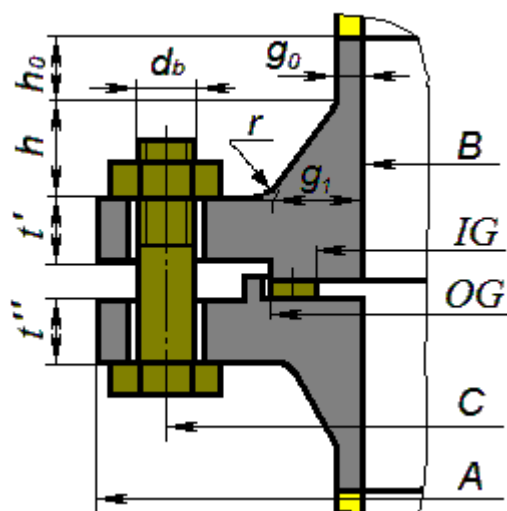
Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP				Лист
									168



## Фланцевое соединение DN100

## 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: 190 мм

**Данные первого фланца (кольца):**

Смежный элемент: Штуцер В DN100

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 230 мм

Толщина фланца (кольца), t: 23 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Внешняя коррозия фланца,  $c_f$ : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 96 мм

Длина конической части втулки, h: 27,5 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 9,5 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 7 мм

Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 18 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 230 мм

Толщина фланца (кольца), t: 23 мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Свободный/интегральный: -
					Диаметр болтовой окружности, С: 190 мм <b>Данные первого фланца (кольца):</b> Смежный элемент: Штуцер В DN100 Материал смежного элемента: 12X18Н10Т Материал фланца (кольца): 12X18Н10Т Наружный диаметр фланца (кольца), А: 230 мм Толщина фланца (кольца), t: 23 мм Сумма прибавок, с: 1 мм Внешняя коррозия фланца, с <sub>г</sub> : 0 мм Внутренний диаметр фланца, В: 96 мм Длина конической части втулки, h: 27,5 мм Длина цилиндрической части втулки, h <sub>0</sub> : 9,5 мм Толщина цилиндрической части втулки, g <sub>0</sub> : 7 мм Толщина конической части втулки, g <sub>1</sub> : 18 мм Радиус перехода, г: 5 мм <b>Данные второго фланца (кольца):</b> Смежный элемент: Материал смежного элемента: 12X18Н10Т Материал фланца (кольца): 12X18Н10Т Наружный диаметр фланца (кольца), А: 230 мм Толщина фланца (кольца), t: 23 мм
19663.4					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
					Е-14.00.00.000 РР
					Лист 169

Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 96 мм  
Длина конической части втулки, h: 27,5 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 9,5 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 7 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 18 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12H8Г8МФБ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 20 мм  
Количество, n: 8  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 149 мм  
Внутренний диаметр, IG: 129 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 3200 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 1556 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,601 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °C

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):

$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:

$E_6 = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коэффициент линейного расширения для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:

$\alpha_6 = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 20 °C:

$E^{20}_6 = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер В DN100**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):

$S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	E-14.00.00.000 PP					Лист
										170
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
 $S_{no2} = 131,7 \text{ МПа}$   
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{ng2} = 150,3 \text{ МПа}$

Свойства материала фланца (кольца) 1

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
 $S_{fo1} = 133,9 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $E_1 = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$   
Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $\alpha_1 = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$   
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{g1} = 152,7 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С (расчётные условия):  
 $S_{fo2} = 133,9 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $E_2 = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$   
Коэффициент линейного расширения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 192 °С:  
 $\alpha_2 = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$   
Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{g2} = 152,7 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_2 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Расчётные параметры первого фланца:

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):  
 $B = B + 2 \cdot c = 96 + 2 \cdot 2 = 98 \text{ мм}$   
Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):  
 $\xi_0 = \xi_0 - c = 7 - 1 = 6 \text{ мм}$   
Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:  
 $\xi_1 = \xi_1 - c = 18 - 1 = 17 \text{ мм}$   
Толщина фланца, с учетом коррозии:  
 $t = t - c_f = 23 - 0 = 23 \text{ мм}$

Расчётные параметры второго фланца:

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

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	3	69	-	-	-

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата						Лист 171
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР					



$$A_b = n \cdot f_b = 8 * 0,225 \cdot 10^{-3} = 0,001800 \text{ m}^2$$

**Расчёт болтов(шпилек):**

Условие прочности болтов:

$$A_{m-} \leq A_b$$

$$0,001023 \text{ M}^2 \leq 0,001800 \text{ M}^2$$

**Условие прочности выполнено**

**Расчёт напряжений первого фланца:**

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 \cdot 98^2 \cdot 1,601 = 1,207 \cdot 10^4 \text{ H}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (190 - 98 - 17) / 2 = 37,5 \text{ mm}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0.785 \cdot G^2 \cdot p = 0.785 * 139^2 * 1,601 = 2,428 \cdot 10^4 \text{ H}$$

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

$$H_T = H - H_D = 2,428 \cdot 10^4 - 1,207 \cdot 10^4 = 1,221 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C-G}{2} = (190-139)/2 = 25,5 \text{ mm}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C-B}{2} + h_G \right] = 1/2 * [(190-98)/2 + 25,5] = 35,75 \text{ mm}$$

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

$$H_G = W_G - H = 4,526 \cdot 10^4 - 2,428 \cdot 10^4 = 2,097 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Болтовой интервал:

$$B_s = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 \cdot 190 / 8 = 74,61 \text{ mm}$$

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_h = 20 \text{ mm}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_s}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (74,61 / (2 \cdot 20 + 23))^{1/2} \} = 1,088$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 17/6 = 2,833$$

Коэффициент

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (98 \cdot 6)^{1/2} = 24,25 \text{ mm}$$

$$X_h = \frac{h}{h_0} = 27,5 / 24,25 = 1,134$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0.6814$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_\alpha} = 0,6814 / 24,25 = 0,02810 \text{ 1/MM}$$

Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Нагрузка на прокладку (разница между проектной нагрузкой и равнодействующей давления), в расчётах:</p> $N_{\text{Г}} = W_0 - N = 4,526 \cdot 10^4 - 2,428 \cdot 10^4 = 2,097 \cdot 10^4 \text{ Н}$ <p>Болтовой интервал:</p> $B_{\text{Г}} = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 \cdot 190 / 8 = 74,61 \text{ мм}$ <p>Номинальный диаметр болта:</p> $a = d_b = 20 \text{ мм}$ <p>Коэффициент болтового интервала:</p> $B_{\text{ГС}} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_{\text{Г}}}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (74,61 / (2 \cdot 20 + 23))^{1/2} \} = 1,088$ $X_{\text{Г}} = \frac{g_1}{g_0} = 17 / 6 = 2,833$ <p>Коэффициент</p> $h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (98 \cdot 6)^{1/2} = 24,25 \text{ мм}$ $X_h = \frac{h}{h_0} = 27,5 / 24,25 = 1,134$ <p>Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):</p> $F = 0,6814$ <p>Расчетные коэффициенты:</p> $e = \frac{F}{h_0} = 0,6814 / 24,25 = 0,02810 \text{ 1/мм}$
						<div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div> <div>E-14.00.00.000 PP</div> <div>Лист</div> <div>173</div> </div> </div>

$$K = \frac{A}{B} = 230 / 98 = 2,347$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{(1.0472 + 1.9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,347^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 2,347) - 1) / ((1.0472 + 1.9448 \cdot 2,347^2) \cdot (2,347 - 1)) = 1,387$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{1.36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,347^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 2,347) - 1) / (1.36136 \cdot (2,347^2 - 1) \cdot (2,347 - 1)) = 2,657$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,08034$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 = 2,657 / 0,08034 \cdot 24,25 \cdot 6^2 = 0,2887 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (23 \cdot 0,02810 + 1) / 1,387 + 23^3 / 0,2887 \cdot 10^{-4} = 1,609$$

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

$$I = \frac{0.0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0.0874 \cdot 1,609 \cdot 6 \cdot 24,25 \cdot 98 / 0,08034 = 0,1497 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{шг}} = 0.5 \cdot (g_0 + g_1) = 0.5 \cdot (6 + 17) = 11,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0.5 \cdot (A - B) = 0.5 \cdot (230 - 98) = 66 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{\text{шг}}$ ,

$$A_A = A_R = 66 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 23 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left( A_A \cdot B_B^3 \right) \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (66 \cdot 23^3) \cdot [1/3 - 0.21 \cdot (23/66) \cdot (1 - 1/12 \cdot (23/66)^4)] = 0,209 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 27,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{шг}} = 11,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left( C_C \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (27,5 \cdot 11,5^3) \cdot [1/3 - 1.05 \cdot (11,5/27,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot (11,5/27,5)^4)] = (-0,442 \cdot 10^{-8}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,209 \cdot 10^{-6} + (-0,442 \cdot 10^{-8}) = 0,2046 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0.3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 1556 \cdot [0,1497 \cdot 10^{-6} / (0.3846 \cdot 0,2046 \cdot 10^{-6} + 0,1497 \cdot 10^{-6})] \cdot [37,5 / (190 - 2 \cdot 37,5)] + 3200 \cdot 37,5 = 1450 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(1,207 \cdot 10^4 \cdot 37,5 + 1,221 \cdot 10^4 \cdot 35,75 + 2,097 \cdot 10^4 \cdot 25,5) \cdot 1,088 + 1450] \cdot 1 = 3000 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

Изнв. № подл.	Подпись и дата	Изнв. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изнв. №	Взам. инв. №	Подпись и дата	Изнв. № подл.	19663.4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР				Лист
					174				

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 3000 / (1,609 \cdot 17^2 \cdot 98) = 65,84 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\} = \min\{1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 132,8\} = 200,8 \text{ МПа}$$

65,84 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 23 \cdot 0,02810 + 1) \cdot 3000 / (1,609 \cdot 23^2 \cdot 98) = 66,89 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{до}}$$

66,89 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,347 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 2,347^2 \cdot \lg 2,347 / (2,347^2 - 1)) = 2,418$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,347^2 + 1) / (2,347^2 - 1) = 1,444$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,418 \cdot 3000 / (23^2 \cdot 98) - 1,444 \cdot 66,89 = 43,34 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

43,34 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (65,84 + 66,89) / 2 = 66,36 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

66,36 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (65,84 + 43,34) / 2 = 54,59 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$$

54,59 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\text{г}} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{\text{бг}} = (0,001023 + 0,001800) / 2 \cdot 147,2 = 2,078 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\text{г}} = \frac{W_{\text{г}} \cdot (C - G) \cdot B_{\text{сг}} \cdot F_{\text{с}}}{2} = 2,078 \cdot 10^5 \cdot (190 - 139) \cdot 1,088 \cdot 1 / 2 = 5767 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 5767 / (1,609 \cdot 17^2 \cdot 98) = 126,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$$

126,6 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата				
	Взам. инв. №				
	Инв. № дубл.				
	Подпись и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР
					Лист 175

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 23 \cdot 0.02810 + 1) \cdot 5767 / (1.609 \cdot 23^2 \cdot 98) = 128,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

128,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2.418 \cdot 5767 / (23^2 \cdot 98) - 1.444 \cdot 128,6 = 83,32 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

83,32 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (126,6 + 128,6) / 2 = 127,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

127,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (126,6 + 83,32) / 2 = 104,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

104,9 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0.3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0.08034 \cdot 3000) / (1.609 \cdot 1.973 \cdot 10^5 \cdot 6^2 \cdot 0.3 \cdot 24.25) = 0,1512$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,1512 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\xi}}{L \cdot E_{y\xi} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0.08034 \cdot 5767) / (1.609 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 6^2 \cdot 0.3 \cdot 24.25) = 0,2867$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,2867 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

### **Расчёт напряжений второго фланца:**

Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				176

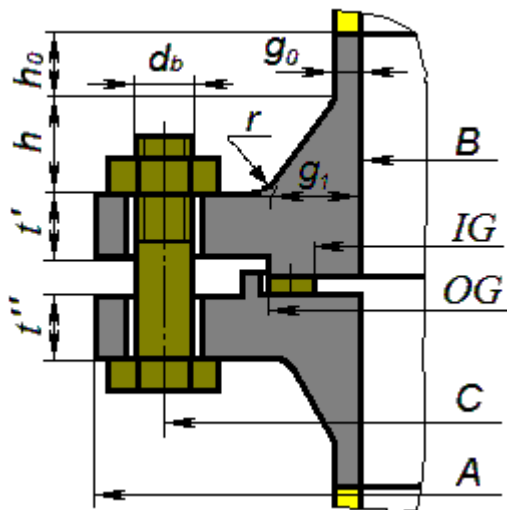


Параметры первого и второго фланцев полностью совпадают, расчёт второго фланца не проводится

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				
Лист				
177				

## Фланцевое соединение DN80

## 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: 160 мм

**Данные первого фланца (кольца):**

Смежный элемент: Штуцер Л1 DN80

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 195 мм

Толщина фланца (кольца), t: 21 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Внешняя коррозия фланца,  $c_f$ : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 80 мм

Длина конической части втулки, h: 20 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 0 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 16 мм

Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 16 мм

Радиус перехода, r: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 195 мм

Толщина фланца (кольца), t: 21 мм

Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Свободный/интегральный: -
					Диаметр болтовой окружности, С: 160 мм <b>Данные первого фланца (кольца):</b> Смежный элемент: Штуцер Л1 DN80 Материал смежного элемента: 12X18Н10Т Материал фланца (кольца): 12X18Н10Т Наружный диаметр фланца (кольца), А: 195 мм Толщина фланца (кольца), t: 21 мм Сумма прибавок, с: 1 мм Внешняя коррозия фланца, с <sub>г</sub> : 0 мм Внутренний диаметр фланца, В: 80 мм Длина конической части втулки, h: 20 мм Длина цилиндрической части втулки, h <sub>0</sub> : 0 мм Толщина цилиндрической части втулки, g <sub>0</sub> : 16 мм Толщина конической части втулки, g <sub>1</sub> : 16 мм Радиус перехода, r: 5 мм <b>Данные второго фланца (кольца):</b> Смежный элемент: Материал смежного элемента: 12X18Н10Т Материал фланца (кольца): 12X18Н10Т Наружный диаметр фланца (кольца), А: 195 мм Толщина фланца (кольца), t: 21 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Изм. Лист № докум. Подп. Дата
19663.4					Е-14.00.00.000 РР
					178

Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 78 мм  
Длина конической части втулки, h: 27,5 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 6,5 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 6 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 17 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12Н8Г8МФБ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 16 мм  
Количество, n: 8  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 120 мм  
Внутренний диаметр, IG: 106 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 2400 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 848,5 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,601 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °C

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):

$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:

$E_6 = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коэффициент линейного расширения для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:

$\alpha_6 = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12Н8Г8МФБ при температуре T = 20 °C:

$E^{20}_6 = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер Л1 DN80**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):

$S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,601 МПа
					Расчётная температура элементов соединения:
					Температура фланца (кольца), t <sub>ф</sub> : 192 °C
					Температура фланца (кольца), t <sub>ф</sub> : 192 °C
					Температура болтов (шпилек), t <sub>б</sub> : 170 °C
<b>Свойства материала болтов (шпилек)</b>					
Допускаемые напряжения для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):					
$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$					
Модуль продольной упругости для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:					
$E_b = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$					
Коэффициент линейного расширения для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 170 °C:					
$\alpha_b = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$					
Допускаемые напряжения для материала 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12H8Г8МФБ при температуре T = 20 °C:					
$E_b^{20} = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$					
<b>Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер Л1 DN80</b>					
Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):					
$S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$					
Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):					
$S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$					
					E-14.00.00.000 PP
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					179

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

t = t - c\_f = 21 - 0 = 21 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 = (120 - 106) / 2 = 7 мм

Базовая контактная ширина прокладки:

b\_0 = N / 2 = 7 / 2 = 3,5 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 = (120 + max{80; 78; 106}) / 2 = 113 мм

Ширина, используемая для определения базовой контактной ширины прокладки через b\_0, на основании возможной контактной ширины прокладки:

N = (OG - IG) / 2 = (120 - 106) / 2 = 7 мм

Базовая контактная ширина прокладки:

b\_0 = N / 2 = 7 / 2 = 3,5 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 = (120 + max{80; 78; 106}) / 2 = 113 мм

Эффективная контактная ширина прокладки:

b = { b\_0 если b\_0 ≤ 6 мм; 2.5 \* sqrt(b\_0) если b\_0 > 6 мм } = 3,5 мм

Расчёт нагрузок

Проектная болтовая нагрузка для расчётных условий (для несамонуплотняющихся прокладок):

W\_0 = 0.785 \* G^2 \* p + 2 \* b \* pi \* G \* m \* p = 0.785 \* 113^2 \* 1,601 + 2 \* 3,5 \* 3,142 \* 113 \* 3 \* 1,601 = 2,798 \* 10^4 Н

Величина растягивающей внешней силы:

F\_A = 2400 Н

Сжимающими нагрузками пренебрегают, и в этом случае F\_A приравнивается нулю.

Внешний изгибающий момент:

M\_E = 848,5 Н м

W\_с = pi \* b \* G \* y = 3,142 \* 3,5 \* 113 \* 69 = 8,573 \* 10^4 Н

Общая расчетная площадь сечения болтов:

Подпись и дата		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР	Лист
Изнв. № дубл.								181
Взам. инв. №								
Подпись и дата								
Изнв. № подл.	19663.4							

$$A_m = \max \left[ \frac{W_o + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{bo}}; \frac{W_{gs}}{S_{bg}} \right] = \max[ (2,798 \cdot 10^4 + 2400 + 4 \cdot 848,5 / 113) / 147,2; 8,573 \cdot 10^4 / 147,2 ] = 0,5824 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

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:

$$A_b = n \cdot f_0 = 8 \cdot 0,144 \cdot 10^{-3} = 0,001152 \text{ м}^2$$

### Расчёт болтов(шпилек):

Условие прочности болтов:

$$A_m \leq A_b$$

$$0,5824 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,001152 \text{ м}^2$$

**Условие прочности выполнено**

### Расчёт напряжений первого фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p = 0,785 \cdot 82^2 \cdot 1,601 = 8449 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (160 - 82 - 15) / 2 = 31,5 \text{ мм}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot p = 0,785 \cdot 113^2 \cdot 1,601 = 1,605 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

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

$$H_T = H - H_D = 1,605 \cdot 10^4 - 8449 = 7596 \text{ Н}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C - G}{2} = (160 - 113) / 2 = 23,5 \text{ мм}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(160 - 82) / 2 + 23,5] = 31,25 \text{ мм}$$

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

$$H_G = W_o - H = 2,798 \cdot 10^4 - 1,605 \cdot 10^4 = 1,193 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

Болтовой интервал:

$$B_S = \frac{\pi \cdot C}{n} = 3,142 \cdot 160 / 8 = 62,83 \text{ мм}$$

Номинальный диаметр болта:

$$a = d_b = 16 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (62,83 / (2 \cdot 16 + 21))^{1/2} \} = 1,089$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 15 / 15 = 1$$

Коэффициент

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 PP					Лист
										182
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (82 \cdot 15)^{1/2} = 35,07 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 20 / 35,07 = 0,5703$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,9014$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,9014 / 35,07 = 0,02570 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 195 / 82 = 2,378$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2,378^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,378) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 2,378^2) \cdot (2,378 - 1)) = 1,377$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2,378^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 2,378) - 1) / (1,36136 \cdot (2,378^2 - 1) \cdot (2,378 - 1)) = 2,617$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,551$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2,617 / 0,551 \cdot 35,07 \cdot 15^2 = 0,3747 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (21 \cdot 0,02570 + 1) / 1,377 + 21^3 / 0,3747 \cdot 10^{-4} = 1,366$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,366 \cdot 15 \cdot 35,07 \cdot 82 / 0,551 = 0,1402 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$G_{wg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (15 + 15) = 15 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (195 - 82) = 56,5 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{wg}$ ,

$$A_A = A_R = 56,5 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 21 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (56,5 \cdot 21^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (21 / 56,5) \cdot (1 - 1/12 \cdot (21 / 56,5)^4)] = 0,1336 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_c = h = 20 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{wg} = 15 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_c \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (20 \cdot 15^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (15 / 20) \cdot (1 - 1/192 \cdot (15 / 20)^4)] = (-0,3057 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^4$$

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

$$I_p = K_{AB} + K_{CD} = 0,1336 \cdot 10^{-6} + (-0,3057 \cdot 10^{-7}) = 0,1031 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

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

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист 183

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_n + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 848,5 \cdot [0,1402 \cdot 10^{-6} / (0,3846 \cdot 0,1031 \cdot 10^{-6} + 0,1402 \cdot 10^{-6})] \cdot [31,5 / (160 - 2 \cdot 31,5)] + 2400 \cdot 31,5 = 934,8 \text{ H}_M$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_c = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(8449 \cdot 31,5 + 7596 \cdot 31,25 + 1,193 \cdot 10^4 \cdot 23,5) \cdot 1,089 + 934,8] \cdot 1 = 1788 \text{ H} \\ \text{M}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 1788 / (1,366 \cdot 15^2 \cdot 82) = 70,98 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1.5 \cdot S_{f_0}; 2.5 \cdot S_{n_0}\}$$

$$\min\{1.5 \cdot S_{f_0}; 2.5 \cdot S_{n_0}\} = \min\{1.5 \cdot 133,9; 2.5 \cdot 132,8\} = 200,8 \text{ МПа}$$

$$70,98 \text{ МПа} \leq 200,8 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 21 \cdot 0.02570 + 1) \cdot 1788 / (1.366 \cdot 21^2 \cdot 82) = 62,21 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \preceq S_{fb}$$

$$62,21 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,378 - 1) * (0.66845 + 5.7169 * 2,378^2 * \lg 2,378 / (2,378^2 - 1)) = 2,381$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,378^2 + 1) / (2,378^2 - 1) = 1,43$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 1788 / (21^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 62,21 = 28,82 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{fo}$$

$$28,82 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (70,98 + 62,21) / 2 = 66,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$66,6 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (70,98 + 28,82) / 2 = 49,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{f_0}$$

$49,9 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}$ . **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\varepsilon} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{b\varepsilon} = (0,5824 \cdot 10^{-3} + 0,001152) / 2 \cdot 147,2 = 1,277 \cdot 10^5 \text{ H}$$

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,378^2 + 1) / (2,378^2 - 1) = 1,43$ <p>Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:</p> $S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 1788 / (21^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 62,21 = 28,82 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $S_T \leq S_{\text{до}}$ $28,82 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$ $\frac{S_H + S_R}{2} = (70,98 + 62,21) / 2 = 66,6 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$ $66,6 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$ $\frac{S_H + S_T}{2} = (70,98 + 28,82) / 2 = 49,9 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$ $49,9 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$ <p>Болтовая нагрузка в условиях монтажа:</p> $W_{\text{г}} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{\text{бг}} = (0,5824 \cdot 10^{-3} + 0,001152) / 2 \cdot 147,2 = 1,277 \cdot 10^5 \text{ Н}$
					<div> <div>19663.4</div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> </div> <div> <div>E-14.00.00.000 PP</div> <div>Лист 184</div> </div>



Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 1,277 \cdot 10^5 \cdot (160 - 113) \cdot 1,089 \cdot 1 / 2 = 3266 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 3266 / (1,366 \cdot 15^2 \cdot 82) = 129,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$$

129,6 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 21 \cdot 0,02570 + 1) \cdot 3266 / (1,366 \cdot 21^2 \cdot 82) = 113,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

113,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,381 \cdot 3266 / (21^2 \cdot 82) - 1,43 \cdot 113,6 = 52,63 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

52,63 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (129,6 + 113,6) / 2 = 121,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

121,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (129,6 + 52,63) / 2 = 91,14 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

91,14 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### Жесткость фланца

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0,3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52,14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52,14 \cdot 0,551 \cdot 1788) / (1,366 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 15^2 \cdot 0,3 \cdot 35,07) = 0,08055$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

$$0,08055 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

Изн. № подл. 19663.4	Подпись и дата				
	Изн. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подпись и дата				
	Изн. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР
					Лист
					185

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\varepsilon}}{L \cdot E_{y\varepsilon} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0.551 \cdot 3266) / (1.366 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 15^2 \cdot 0.3 \cdot 35.07) = 0.1451$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0.1451 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

### **Расчёт напряжений второго фланца:**

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 \cdot 80^2 \cdot 1.601 = 8042 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (160 - 80 - 16) / 2 = 32 \text{ мм}$$

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

$$H_T = H - H_D = 1.605 \cdot 10^4 - 8042 = 8003 \text{ Н}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(160 - 80) / 2 + 23.5] = 31.75 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (62.83 / (2 \cdot 16 + 21))^{1/2} \} = 1.089$$

$$X_{\varepsilon} = \frac{g_1}{g_0} = 16 / 5 = 3.2$$

Коэффициент

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (80 \cdot 5)^{1/2} = 20 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 27.5 / 20 = 1.375$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0.6333$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0.6333 / 20 = 0.03167 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 195 / 80 = 2.437$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{(1.0472 + 1.9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (2.437^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 2.437) - 1) / ((1.0472 + 1.9448 \cdot 2.437^2) \cdot (2.437 - 1)) = 1.358$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{1.36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (2.437^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 2.437) - 1) / (1.36136 \cdot (2.437^2 - 1) \cdot (2.437 - 1)) = 2.544$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0.05680$$

Коэффициент  $d$  для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 2.544 / 0.05680 \cdot 20 \cdot 5^2 = 0.224 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div>Е-14.00.00.000 PP</div> <div>Лист 186</div>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (21 \cdot 0,03167 + 1) / 1,358 + 21^3 / 0,224 \cdot 10^{-4} = 1,639$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,639 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 80 / 0,05680 = 0,1009 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{вг}} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (5 + 16) = 10,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (195 - 80) = 57,5 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{\text{вг}}$ ,

$$A_A = A_R = 57,5 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 21 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (57,5 \cdot 21^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (21/57,5) \cdot (1 - 1/12 \cdot (21/57,5)^4)] = 0,1367 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 27,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{вг}} = 10,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_C \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (27,5 \cdot 10,5^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (10,5/27,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot (10,5/27,5)^4)] = (-0,215 \cdot 10^{-8}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,1367 \cdot 10^{-6} + (-0,215 \cdot 10^{-8}) = 0,1346 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 848,5 \cdot [0,1009 \cdot 10^{-6} / (0,3846 \cdot 0,1346 \cdot 10^{-6} + 0,1009 \cdot 10^{-6})] \cdot [32 / (160 - 2 \cdot 32)] + 2400 \cdot 32 = 824,6 \text{ Н м}$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(8042 \cdot 32 + 8003 \cdot 31,75 + 1,193 \cdot 10^4 \cdot 23,5) \cdot 1,089 + 824,6] \cdot 1 = 1687 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 1687 / (1,639 \cdot 16^2 \cdot 80) = 50,24 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1,5 \cdot S_{\text{ф}}; 2,5 \cdot S_{\text{н0}} \}$$

$$\min \{ 1,5 \cdot S_{\text{ф}}; 2,5 \cdot S_{\text{н0}} \} = \min \{ 1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 131,7 \} = 200,8 \text{ МПа}$$

50,24 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 21 \cdot 0,03167 + 1) \cdot 1687 / (1,639 \cdot 21^2 \cdot 80) = 54,96 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{ф}}$$

54,96 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (2,437 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 2,437^2 \cdot \lg 2,437 / (2,437^2 - 1)) = 2,315$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Подпись и дата	
Взам. инв. №		Инов. № дубл.			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист 187

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (2,437^2 + 1) / (2,437^2 - 1) = 1,405$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,315 \cdot 1687 / (21^2 \cdot 80) - 1,405 \cdot 54,96 = 33,5 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

$$33,5 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (50,24 + 54,96) / 2 = 52,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

$$52,6 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (50,24 + 33,5) / 2 = 41,87 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$$

$$41,87 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 1,277 \cdot 10^5 \cdot (160 - 113) \cdot 1,089 \cdot 1 / 2 = 3266 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 3266 / (1,639 \cdot 16^2 \cdot 80) = 97,28 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 150,3\} = 229,1 \text{ МПа}$$

$$97,28 \text{ МПа} \leq 229,1 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 21 \cdot 0,03167 + 1) \cdot 3266 / (1,639 \cdot 21^2 \cdot 80) = 106,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{до}}$$

$$106,4 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,315 \cdot 3266 / (21^2 \cdot 80) - 1,405 \cdot 106,4 = 64,86 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

$$64,86 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (97,28 + 106,4) / 2 = 101,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

$$101,9 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	$S_H = \frac{\sigma}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 3266 / (1,639 \cdot 16^2 \cdot 80) = 97,28 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности: <math>S_H \leq \min\{1.5 \cdot S_{fg}; 2.5 \cdot S_{ng}\}</math> <math>\min\{1.5 \cdot S_{fg}; 2.5 \cdot S_{ng}\} = \min\{1.5 \cdot 152,7; 2.5 \cdot 150,3\} = 229,1 \text{ МПа}</math> <math>97,28 \text{ МПа} \leq 229,1 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено</b> Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:</p> $S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 21 \cdot 0,03167 + 1) \cdot 3266 / (1,639 \cdot 21^2 \cdot 80) = 106,4 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности: <math>S_R \leq S_{fg}</math> <math>106,4 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено</b> Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:</p> $S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 2,315 \cdot 3266 / (21^2 \cdot 80) - 1,405 \cdot 106,4 = 64,86 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности: <math>S_T \leq S_{fg}</math> <math>64,86 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено</b> <math display="block">\frac{S_H + S_R}{2} = (97,28 + 106,4) / 2 = 101,9 \text{ МПа}</math><p>Условие прочности: <math display="block">\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{fg}</math> <math>101,9 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа}</math>, <b>Условие прочности выполнено</b></p></p>	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP	Лист
						188

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (97,28 + 64,86) / 2 = 81,07 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{г}}$$

81,07 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{y0} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0,05680 \cdot 1687) / (1,639 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 5^2 \cdot 0,3 \cdot 20) = 0,103$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,103 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_g}{L \cdot E_{yг} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0,05680 \cdot 3266) / (1,639 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 5^2 \cdot 0,3 \cdot 20) = 0,1967$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

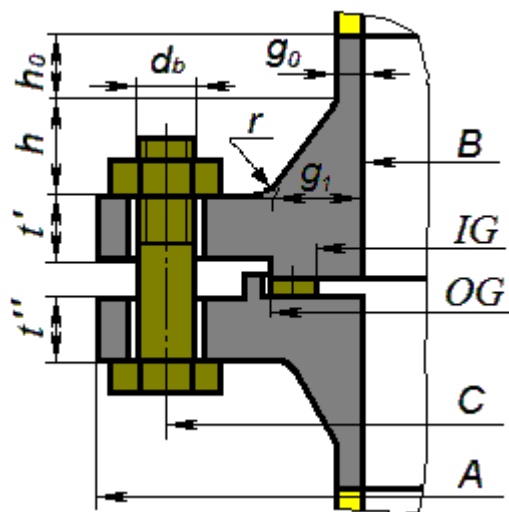
$$0,1967 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				189

**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, C: 125 мм

**Данные первого фланца (кольца):**

Смежный элемент: Штуцер Ж DN50  
Материал смежного элемента: 12X18H10T  
Материал фланца (кольца): 12X18H10T  
Наружный диаметр фланца (кольца), A: 160 мм  
Толщина фланца (кольца), t: 19 мм  
Сумма прибавок, c: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца,  $c_f$ : 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, B: 48 мм  
Длина конической части втулки, h: 18 мм  
Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 0 мм  
Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 14 мм  
Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 14 мм  
Радиус перехода, r: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:  
Материал смежного элемента: 12X18H10T  
Материал фланца (кольца): 12X18H10T  
Наружный диаметр фланца (кольца), A: 160 мм  
Толщина фланца (кольца), t: 17 мм

Исх. № подл. 19663.4

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подпись и дата

Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм  
Длина конической части втулки, h: 22,5 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 5,5 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 5 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 14 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12H8Г8МБФ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 16 мм  
Количество, n: 4  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 87 мм  
Внутренний диаметр, IG: 74 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое растягивающее усилие, F: 1200 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 282,8 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,601 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °C

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12H8Г8МБФ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):

$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 37X12H8Г8МБФ при температуре T = 170 °C:

$E_6 = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коэффициент линейного расширения для материала 37X12H8Г8МБФ при температуре T = 170 °C:

$\alpha_6 = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 37X12H8Г8МБФ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12H8Г8МБФ при температуре T = 20 °C:

$E^{20}_6 = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер Ж DN50**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):

$S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	E-14.00.00.000 PP					Лист
										191
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

$$S_{ng2} = 150,3 \text{ МПа}$$
$$E_{10}^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$
$$E_{20}^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$
$$t = t - c_f = 19 - 0 = 19 \text{ mm}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:





$$A_m = \max \left[ \frac{W_o + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{bo}}; \frac{W_{gs}}{S_{bg}} \right] = \max[(1,604 \cdot 10^4 + 1200 + 4 \cdot 282,8 / 80,5) / 147,2; 5,671 \cdot 10^4 / 147,2] = 0,3853 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

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:

$$A_b = n \cdot f_0 = 4 \cdot 0,144 \cdot 10^{-3} = 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

### Расчёт болтов(шпилек):

Условие прочности болтов:

$$A_m \leq A_b$$

$$0,3853 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

**Условие прочности выполнено**

### Расчёт напряжений первого фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p = 0,785 \cdot 50^2 \cdot 1,601 = 3143 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 50 - 13) / 2 = 31 \text{ мм}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot p = 0,785 \cdot 80,5^2 \cdot 1,601 = 8146 \text{ Н}$$

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

$$H_T = H - H_D = 8146 - 3143 = 5003 \text{ Н}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C - G}{2} = (125 - 80,5) / 2 = 22,25 \text{ мм}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(125 - 50) / 2 + 22,25] = 29,87 \text{ мм}$$

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

$$H_G = W_o - H = 1,604 \cdot 10^4 - 8146 = 7897 \text{ Н}$$

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:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 19))^{1/2} \} = 1,387$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 13 / 13 = 1$$

Коэффициент

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	<div>Е-14.00.00.000 РР</div> <div>Лист 194</div>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (50 \cdot 13)^{1/2} = 25,5 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 18 / 25,5 = 0,706$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,8982$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,8982 / 25,5 = 0,03523 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 50 = 3,2$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 3,2^2) \cdot (3,2 - 1)) = 1,16$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / (1,36136 \cdot (3,2^2 - 1) \cdot (3,2 - 1)) = 1,933$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,5529$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 1,933 / 0,5529 \cdot 25,5 \cdot 13^2 = 0,1506 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (19 \cdot 0,03523 + 1) / 1,16 + 19^3 / 0,1506 \cdot 10^{-4} = 1,895$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,895 \cdot 13 \cdot 25,5 \cdot 50 / 0,5529 = 0,6453 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{wg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (13 + 13) = 13 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 50) = 55 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{wg}$ ,

$$A_A = A_R = 55 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 19 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (55 \cdot 19^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (19/55) \cdot (1 - 1/12 \cdot (19/55)^4)] = 0,9841 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_c = h = 18 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{wg} = 13 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_c \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (18 \cdot 13^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (13/18) \cdot (1 - 1/192 \cdot (13/18)^4)] = (-0,1676 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,9841 \cdot 10^{-7} + (-0,1676 \cdot 10^{-7}) = 0,8165 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

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

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата			
		Инов. № дубл.			
		Взам. инв. №			
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата			
		Инов. № дубл.			
		Взам. инв. №			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист 195

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 282,8 \cdot [0,6453 \cdot 10^{-7} / (0,3846 \cdot 0,8165 \cdot 10^{-7} + 0,6453 \cdot 10^{-7})] \cdot [31 / (125 - 2 \cdot 31)] + 1200 \cdot 31 = 411,7 \text{ Н}_\text{м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(3143 \cdot 31 + 5003 \cdot 29,87 + 7897 \cdot 22,25) \cdot 1,387 + 411,7] \cdot 1 = 998 \text{ Н}_\text{м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 998 / (1,895 \cdot 13^2 \cdot 50) = 62,33 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1,5 \cdot S_{\text{нб}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\}$$

$$\min \{1,5 \cdot S_{\text{нб}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\} = \min \{1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 132,8\} = 200,8 \text{ МПа}$$

62,33 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03523 + 1) \cdot 998 / (1,895 \cdot 19^2 \cdot 50) = 55,16 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{нб}}$$

55,16 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,2 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 3,2^2 \cdot \lg 3,2 / (3,2^2 - 1)) = 1,759$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,2^2 + 1) / (3,2^2 - 1) = 1,216$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 998 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 55,16 = 30,14 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{нб}}$$

30,14 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (62,33 + 55,16) / 2 = 58,74 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{нб}}$$

58,74 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (62,33 + 30,14) / 2 = 46,24 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{нб}}$$

46,24 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_g = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,3853 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 7,075 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Взам. инв. №				Инов. №			
Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата		Инов. №			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР		
					Лист		
					196		

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 7,075 \cdot 10^4 \cdot (125 - 80,5) \cdot 1,387 \cdot 1 / 2 = 2184 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2184 / (1,895 \cdot 13^2 \cdot 50) = 136,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$$

136,4 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03523 + 1) \cdot 2184 / (1,895 \cdot 19^2 \cdot 50) = 120,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

120,7 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 2184 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 120,7 = 65,97 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

65,97 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (136,4 + 120,7) / 2 = 128,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

128,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (136,4 + 65,97) / 2 = 101,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

101,2 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### Жесткость фланца

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0,3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52,14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52,14 \cdot 0,5529 \cdot 998) / (1,895 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 13^2 \cdot 0,3 \cdot 25,5) = 0,05953$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

$$0,05953 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

Изн. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				197

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\varepsilon}}{L \cdot E_{\varepsilon} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_0} = (52.14 \cdot 0.5529 \cdot 2184) / (1.895 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 13^2 \cdot 0.3 \cdot 25.5) = 0,1285$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,1285 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

### Расчёт напряжений второго фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 \cdot 50^2 \cdot 1.601 = 3143 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 50 - 13) / 2 = 31 \text{ мм}$$

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

$$H_T = H - H_D = 8146 - 3143 = 5003 \text{ Н}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(125 - 50) / 2 + 22,25] = 29,87 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

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

$$X_{\varepsilon} = \frac{g_1}{g_0} = 13 / 4 = 3,25$$

Коэффициент

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (50 \cdot 4)^{1/2} = 14,14 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_0} = 22,5 / 14,14 = 1,591$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,6047$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_0} = 0,6047 / 14,14 = 0,04276 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 50 = 3,2$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{(1.0472 + 1.9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / ((1.0472 + 1.9448 \cdot 3,2^2) \cdot (3,2 - 1)) = 1,16$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{1.36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / (1.36136 \cdot (3,2^2 - 1) \cdot (3,2 - 1)) = 1,933$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,04974$$

Коэффициент  $d$  для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 = 1,933 / 0,04974 \cdot 14,14 \cdot 4^2 = 0,879 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div>Е-14.00.00.000 РР</div> <div>Лист 198</div>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (17 \cdot 0,04276 + 1) / 1,16 + 17^3 / 0,879 \cdot 10^{-5} = 2,048$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,048 \cdot 4 \cdot 14,14 \cdot 50 / 0,04974 = 0,4071 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{вг}} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (4 + 13) = 8,5 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 50) = 55 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{\text{вг}}$ ,

$$A_A = A_R = 55 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 17 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (55 \cdot 17^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (17/55) \cdot (1 - 1/12 \cdot (17/55)^4)] = 0,7255 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 22,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{вг}} = 8,5 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_C \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 \cdot 8,5^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (8,5/22,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot (8,5/22,5)^4)] = (-0,8745 \cdot 10^{-9}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,7255 \cdot 10^{-7} + (-0,8745 \cdot 10^{-9}) = 0,7167 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 282,8 \cdot [0,4071 \cdot 10^{-7} / (0,3846 \cdot 0,7167 \cdot 10^{-7} + 0,4071 \cdot 10^{-7})] \cdot [31 / (125 - 2 \cdot 31)] + 1200 \cdot 31 = 369,2 \text{ Н м}$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{sc} + M_{oe}] \cdot F_S / l = [(3143 \cdot 31 + 5003 \cdot 29,87 + 7897 \cdot 22,25) \cdot 1,415 + 369,2] \cdot 1 = 967,4 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 967,4 / (2,048 \cdot 13^2 \cdot 50) = 55,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{ 1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}} \}$$

$$\min \{ 1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}} \} = \min \{ 1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 131,7 \} = 200,8 \text{ МПа}$$

55,9 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04276 + 1) \cdot 967,4 / (2,048 \cdot 17^2 \cdot 50) = 64,29 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{до}}$$

64,29 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K - 1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,2 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 3,2^2 \cdot \lg 3,2 / (3,2^2 - 1)) = 1,759$$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Е-14.00.00.000 РР					Лист 199

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,2^2 + 1) / (3,2^2 - 1) = 1,216$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 967,4 / (17^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 64,29 = 39,52 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

39,52 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (55,9 + 64,29) / 2 = 60,09 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

60,09 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (55,9 + 39,52) / 2 = 47,71 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$$

47,71 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\text{г}} = \frac{W_{\text{г}} \cdot (C - G) \cdot B_{\text{sc}} \cdot F_s}{2} = 7,075 \cdot 10^4 \cdot (125 - 80,5) \cdot 1,415 \cdot 1 / 2 = 2228 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2228 / (2,048 \cdot 13^2 \cdot 50) = 128,8 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\}$$

$$\min\{1,5 \cdot S_{\text{гг}}; 2,5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 150,3\} = 229,1 \text{ МПа}$$

128,8 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 17 \cdot 0,04276 + 1) \cdot 2228 / (2,048 \cdot 17^2 \cdot 50) = 148,1 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{гг}}$$

148,1 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\text{г}}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 2228 / (17^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 148,1 = 91,04 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{гг}}$$

91,04 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (128,8 + 148,1) / 2 = 138,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{гг}}$$

138,4 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

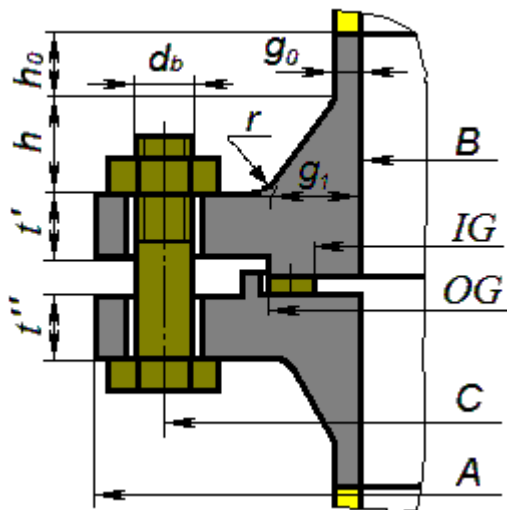
Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	<div>Е-14.00.00.000 РР</div> <div>Лист</div> <div>200</div>
19663.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	



$$\frac{S_H + S_T}{2} = (128,8 + 91,04) / 2 = 109,9 \text{ МПа}$$

## Фланцевое соединение DN50-M33x2

## 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 К DN50

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 19 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Внешняя коррозия фланца,  $c_f$ : 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм

Длина конической части втулки, h: 18 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 0 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 14 мм

Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 14 мм

Радиус перехода, r: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 21 мм

Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Свободный/интегральный: -
					Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<b>Данные первого фланца (кольца):</b>
					Смежный элемент: Штуцер К DN50
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Материал смежного элемента: 12X18H10T
					Материал фланца (кольца): 12X18H10T
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм
					Толщина фланца (кольца), t: 19 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Сумма прибавок, с: 1 мм
					Внешняя коррозия фланца, с <sub>г</sub> : 0 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм
					Длина конической части втулки, h: 18 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Длина цилиндрической части втулки, h <sub>0</sub> : 0 мм
					Толщина цилиндрической части втулки, g <sub>0</sub> : 14 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Толщина конической части втулки, g <sub>1</sub> : 14 мм
					Радиус перехода, r: 5 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<b>Данные второго фланца (кольца):</b>
					Смежный элемент:
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Материал смежного элемента: 12X18H10T
					Материал фланца (кольца): 12X18H10T
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм
					Толщина фланца (кольца), t: 21 мм
Ив. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	E-14.00.00.000 PP
19663.4					Лист
					202

Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 33 мм  
Длина конической части втулки, h: 22,5 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 1,5 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 12,5 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 21,5 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12Н8Г8МБФ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 16 мм  
Количество, n: 4  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 87 мм  
Внутренний диаметр, IG: 74 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,677 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °С  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °С  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °С

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °С (расчётные условия):  
 $S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$   
Модуль продольной упругости для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °С:  
 $E_b = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$   
Коэффициент линейного расширения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °С:  
 $\alpha_b = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$   
Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 20 °С (расчётные 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 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 20 °С:  
 $E^{20}_b = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер К DN50**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °С (расчётные условия):  
 $S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$   
Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °С (расчётные условия):  
 $S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист
										203
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

### Свойства материала смежного элемента фланца 2

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$S_{n02} = 131,7 \text{ МПа}$$

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$S_{ng2} = 150,3 \text{ МПа}$$

### *Свойства материала фланца (кольца) 1*

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$S_{f01} = 133,9 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E_1 = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_1 = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$  (расчётные условия):

$$S_{\sigma 1} = 152,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ :

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

### Свойства материала фланца (кольца) 2

Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$S_{fO_2} = 133,9 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$E_0 = 1,973 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 192\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$\alpha_2 = 0,1697 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемые напряжения для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчётные условия):

$$S_{\sigma 2} = 152,7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости для материала 12X18H10T при температуре  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

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

**Расчётные параметры первого фланца:**

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 1 = 50 \text{ mm}$$

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

$$g_0 = g_0 - c = 14 - 1 = 13 \text{ mm}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$g_1 = g_1 - c = 14 - 1 = 13 \text{ mm}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

$$t = t - c_f = 19 - 0 = 19 \text{ mm}$$

**Расчётные параметры второго фланца:**

Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):

$$B = B + 2 \cdot c = 33 + 2 \cdot 1 = 35 \text{ mm}$$

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

$$g_0 = g_0 - c = 12,5 - 1 = 11,5 \text{ mm}$$

Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:

$$g_1 = g_1 - c = 21,5 - 1 = 20,5 \text{ мм}$$

Толщина фланца, с учетом коррозии:

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Допускаемые напряжения для материала 12Х18Н10Т при температуре <math>t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}</math> (расчетные условия):</p> <p><math>S_{\sigma 2} = 152,7\text{ МПа}</math></p> <p>Модуль продольной упругости для материала 12Х18Н10Т при температуре <math>T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}</math>:</p> <p><math>E_{20} = 2 \cdot 10^5\text{ МПа}</math></p> <p><b>Расчётные параметры первого фланца:</b></p> <p>Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):</p> <p><math>B = B + 2 \cdot c = 48 + 2 \cdot 1 = 50\text{ мм}</math></p> <p>Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):</p> <p><math>\xi_0 = \xi_0 - c = 14 - 1 = 13\text{ мм}</math></p> <p>Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:</p> <p><math>\xi_1 = \xi_1 - c = 14 - 1 = 13\text{ мм}</math></p> <p>Толщина фланца, с учетом коррозии:</p> <p><math>t = t - c_f = 19 - 0 = 19\text{ мм}</math></p> <p><b>Расчётные параметры второго фланца:</b></p> <p>Внутренний диаметр фланца (с учетом коррозии):</p> <p><math>B = B + 2 \cdot c = 33 + 2 \cdot 1 = 35\text{ мм}</math></p> <p>Диаметр втулки с учетом коррозии (для фланцев, приварных встык):</p> <p><math>\xi_0 = \xi_0 - c = 12,5 - 1 = 11,5\text{ мм}</math></p> <p>Больший диаметр конической втулки с учетом коррозии:</p> <p><math>\xi_1 = \xi_1 - c = 21,5 - 1 = 20,5\text{ мм}</math></p> <p>Толщина фланца, с учетом коррозии:</p>
					<div> <div>19663.4</div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> </div> <div> <div>E-14.00.00.000 PP</div> <div>Лист 204</div> </div>



$$A_m = \max \left[ \frac{W_o + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{bo}}; \frac{W_{gs}}{S_{bg}} \right] = \max[(1,68 \cdot 10^4 + 0 + 4 \cdot 0 / 80,5) / 147,2; 5,671 \cdot 10^4 / 147,2] = 0,3853 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

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:

$$A_b = n \cdot f_0 = 4 \cdot 0,144 \cdot 10^{-3} = 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

### Расчёт болтов(шпилек):

Условие прочности болтов:

$$A_m \leq A_b$$

$$0,3853 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

**Условие прочности выполнено**

### Расчёт напряжений первого фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p = 0,785 \cdot 50^2 \cdot 1,677 = 3291 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 50 - 13) / 2 = 31 \text{ мм}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot p = 0,785 \cdot 80,5^2 \cdot 1,677 = 8529 \text{ Н}$$

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

$$H_T = H - H_D = 8529 - 3291 = 5239 \text{ Н}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C - G}{2} = (125 - 80,5) / 2 = 22,25 \text{ мм}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(125 - 50) / 2 + 22,25] = 29,87 \text{ мм}$$

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

$$H_G = W_o - H = 1,68 \cdot 10^4 - 8529 = 8269 \text{ Н}$$

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:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 19))^{1/2} \} = 1,387$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 13 / 13 = 1$$

Коэффициент

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Разница между общей равнодействующей давления и равнодействующей на внутренней поверхности фланца: $H_T = H - H_D = 8529 - 3291 = 5239 \text{ Н}$ Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности: $h_G = \frac{C - G}{2} = (125 - 80,5) / 2 = 22,25 \text{ мм}$ Плечо для нагрузки $H_T$ (интегральные фланцы, а также иные, рассчитываемые аналогично): $h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 * [(125 - 50) / 2 + 22,25] = 29,87 \text{ мм}$ Нагрузка на прокладку (разница между проектной болтовой нагрузкой и равнодействующей давления), в расчётах: $H_G = W_o - H = 1,68 \cdot 10^4 - 8529 = 8269 \text{ Н}$ 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: $B_{sc} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_s}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 19))^{1/2} \} = 1,387$ $X_g = \frac{\xi_1}{\xi_0} = 13 / 13 = 1$ Коэффициент					
19663.4									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 РР				Лист 206

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (50 \cdot 13)^{1/2} = 25,5 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 18 / 25,5 = 0,706$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,8982$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,8982 / 25,5 = 0,03523 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 50 = 3,2$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 3,2^2) \cdot (3,2 - 1)) = 1,16$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / (1,36136 \cdot (3,2^2 - 1) \cdot (3,2 - 1)) = 1,933$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,5529$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 1,933 / 0,5529 \cdot 25,5 \cdot 13^2 = 0,1506 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (19 \cdot 0,03523 + 1) / 1,16 + 19^3 / 0,1506 \cdot 10^{-4} = 1,895$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,895 \cdot 13 \cdot 25,5 \cdot 50 / 0,5529 = 0,6453 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{wg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (13 + 13) = 13 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 50) = 55 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{wg}$ ,

$$A_A = A_R = 55 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 19 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (55 \cdot 19^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (19/55) \cdot (1 - 1/12 \cdot (19/55)^4)] = 0,9841 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_c = h = 18 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{wg} = 13 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_c \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (18 \cdot 13^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (13/18) \cdot (1 - 1/192 \cdot (13/18)^4)] = (-0,1676 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,9841 \cdot 10^{-7} + (-0,1676 \cdot 10^{-7}) = 0,8165 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

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

Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата			
		Инв. № дубл.			
		Взам. инв. №			
Инв. № подл.	19663.4	Подпись и дата			
		Инв. № дубл.			
		Взам. инв. №			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист 207

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0.3846 \cdot I + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_e} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 0 \cdot [0,6453 \cdot 10^{-7} / (0.3846 \cdot 0,8165 \cdot 10^{-7} + 0,6453 \cdot 10^{-7})] \cdot [31 / (125 - 2 \cdot 31)] + 0 \cdot 31 = 0 \text{ H}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = |(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}) \cdot F_S| = |(3291 \cdot 31 + 5239 \cdot 29,87 + 8269 \cdot 22,25) \cdot 1,387 + 0) \cdot 1| = 613,9 \text{ H M}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 * 613,9 / (1,895 * 13^2 * 50) = 38,34 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1.5 \cdot S_{f_0}; 2.5 \cdot S_{n_0}\}$$

$$\min \{1.5 \cdot S_{\text{н}}; 2.5 \cdot S_{\text{в}}\} = \min \{1.5 * 133,9; 2.5 * 132,8\} = 200,8 \text{ МПа}$$

$$38,34 \text{ МПа} \leq 200,8 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{I \cdot t^2 \cdot E} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03523 + 1) \cdot 613,9 / (1,895 \cdot 19^2 \cdot 50) = 33,93 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{fb}}$$

$$33,93 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,2 - 1) * (0.66845 + 5.7169 * 3,2^2 * \lg 3,2 / (3,2^2 - 1)) = 1,759$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3, 2^2 + 1) / (3, 2^2 - 1) = 1, 216$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 613,9 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 33,93 = 18,54 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{f_0}$$

$$18,54 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (38,34 + 33,93) / 2 = 36,14 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{f_0}$$

$$36,14 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (38,34 + 18,54) / 2 = 28,44 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$28.44 \text{ МПа} \leq 133.9 \text{ МПа. Условие прочности выполнено}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_{\xi} = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,3853 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 * 147,2 = 7,075 \cdot 10^4 \text{ H}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,2^2 + 1) / (3,2^2 - 1) = 1,216$ <p>Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:</p> $S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 613,9 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 33,93 = 18,54 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $S_T \leq S_{\text{до}}$ $18,54 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$ $\frac{S_H + S_R}{2} = (38,34 + 33,93) / 2 = 36,14 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$ $36,14 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$ $\frac{S_H + S_T}{2} = (38,34 + 18,54) / 2 = 28,44 \text{ МПа}$ <p>Условие прочности:</p> $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$ $28,44 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$ <p>Болтовая нагрузка в условиях монтажа:</p> $W_g = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,3853 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 7,075 \cdot 10^4 \text{ Н}$ <p>Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):</p>
					<div> <div>19663.4</div> <div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> </div> <div> <div>E-14.00.00.000 PP</div> <div>208</div> </div>



$$M_{\varepsilon} = \frac{W_{\varepsilon} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 7,075 \cdot 10^4 \cdot (125 - 80,5) \cdot 1,387 \cdot 1/2 = 2184 \text{ H M}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2184 / (1,895^2 \cdot 50) = 136,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1.5 \cdot S_{lg}; 2.5 \cdot S_{ng}\}$$

$$\min\{1.5 \cdot S_{\text{г}}; 2.5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1.5 \cdot 152,7; 2.5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$$

$$136,4 \text{ МПа} \leq 229,1 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\Sigma}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03523 + 1) \cdot 2184 / (1,895 \cdot 19^2 \cdot 50) = 120,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_E$$

$$120,7 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 2184 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 120,7 = 65,97 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\mathbb{K}}$$

$$65,97 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (136,4 + 120,7) / 2 = 128,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$128,6 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (136,4 + 65,97) / 2 = 101,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$101,2 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

**Условие прочности выполнено**

### *Жесткость фланца*

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0.3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 * 0.5529 * 613,9) / (1,895 * 1,973 \cdot 10^5 * 13^2 * 0,3 * 25,5) = 0,03662$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0.03662 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Условие прочности: $\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{г}}$ 128,6 МПа ≤ 152,7 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b> $\frac{S_H + S_T}{2} = (136,4 + 65,97) / 2 = 101,2 \text{ МПа}$ Условие прочности: $\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{г}}$ 101,2 МПа ≤ 152,7 МПа, <b>Условие прочности выполнено</b> <b>Условие прочности выполнено</b>
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<b>Жесткость фланца</b> - для расчётных условий: Коэффициент жесткости для интегральных фланцев: K <sub>R</sub> = 0.3 Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия): $J = \frac{52 \cdot 14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52 \cdot 14 \cdot 0,5529 \cdot 613,9) / (1,895 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 13^2 \cdot 0,3 \cdot 25,5) = 0,03662$ Условие жесткости: J ≤ 1.0 0,03662 ≤ 1.0 <b>Условие жёсткости выполнено</b> - для условий монтажа: Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	
19663.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

E-14.00.00.000 PP

Лист
209

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_{\varepsilon}}{L \cdot E_{\varepsilon} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_0} = (52.14 * 0.5529 * 2184) / (1.895 * 2 \cdot 10^5 * 13^2 * 0.3 * 25.5) = 0,1285$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,1285 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

### Расчёт напряжений второго фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0.785 \cdot B^2 \cdot p = 0.785 * 35^2 * 1.677 = 1612 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 35 - 20.5) / 2 = 34,75 \text{ мм}$$

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

$$H_T = H - H_D = 8529 - 1612 = 6917 \text{ Н}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 * [(125 - 35) / 2 + 22,25] = 33,62 \text{ мм}$$

Коэффициент болтового интервала:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 * 16 + 21))^{1/2} \} = 1,361$$

$$X_{\varepsilon} = \frac{g_1}{g_0} = 20,5 / 11,5 = 1,783$$

Коэффициент

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = (35 * 11,5)^{1/2} = 20,06 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_0} = 22,5 / 20,06 = 1,122$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,7533$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_0} = 0,7533 / 20,06 = 0,03755 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 35 = 4,571$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{(1.0472 + 1.9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (4,571^2 * (1 + 8.55246 * \lg 4,571) - 1) / ((1.0472 + 1.9448 * 4,571^2) * (4,571 - 1)) = 0,926$$

$$U = \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55246 \cdot \lg K) - 1}{1.36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (4,571^2 * (1 + 8.55246 * \lg 4,571) - 1) / (1.36136 * (4,571^2 - 1) * (4,571 - 1)) = 1,425$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,1786$$

Коэффициент  $d$  для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_0 \cdot g_0^2 = 1,425 / 0,1786 * 20,06 * 11,5^2 = 0,2117 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист 210

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (21 \cdot 0,03755 + 1) / 0,926 + 21^3 / 0,2117 \cdot 10^{-4} = 2,369$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,369 \cdot 11,5 \cdot 20,06 \cdot 35 / 0,1786 = 0,1077 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$G_{\text{вг}} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (11,5 + 20,5) = 16 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 35) = 62,5 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{\text{вг}}$ ,

$$A_A = A_R = 62,5 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 21 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (62,5 \cdot 21^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (21/62,5) \cdot (1 - 1/12 \cdot (21/62,5)^4)] = 0,1521 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$C_C = h = 22,5 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{\text{вг}} = 16 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left\{ C_C \cdot D_{DG}^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_C} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_C} \right\}^4 \right) \right] = (22,5 \cdot 16^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (16/22,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot (16/22,5)^4)] = (-0,38 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,1521 \cdot 10^{-6} + (-0,38 \cdot 10^{-7}) = 0,1141 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_P + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 0 \cdot [0,1077 \cdot 10^{-6} / (0,3846 \cdot 0,1141 \cdot 10^{-6} + 0,1077 \cdot 10^{-6})] \cdot [34,75 / (125 - 2 \cdot 34,75)] + 0 \cdot 34,75 = 0 \text{ Н м}$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(1612 \cdot 34,75 + 6917 \cdot 33,62 + 8269 \cdot 22,25) \cdot 1,361 + 0] \cdot 1 = 643,2 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 643,2 / (2,369 \cdot 20,5^2 \cdot 35) = 18,46 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$\min \{ 1,5 \cdot S_{fo}; 2,5 \cdot S_{no} \} = \min \{ 1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 131,7 \} = 200,8 \text{ МПа}$$

18,46 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 21 \cdot 0,03755 + 1) \cdot 643,2 / (2,369 \cdot 21^2 \cdot 35) = 36,04 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{fo}$$

36,04 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (4,571 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 4,571^2 \cdot \lg 4,571 / (4,571^2 - 1)) = 1,297$$

Изн. № подл.	Подпись и дата	Изн. № дубл.	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 PP			
Лист 211			

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (4,571^2 + 1) / (4,571^2 - 1) = 1,101$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,297 \cdot 643,2 / (21^2 \cdot 35) - 1,101 \cdot 36,04 = 14,38 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{fo}$$

$$14,38 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (18,46 + 36,04) / 2 = 27,25 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{f_0}$$

$$27,25 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (18,46 + 14,38) / 2 = 16,42 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$16,42 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_g = \frac{W_g \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 7,075 \cdot 10^4 \cdot (125 - 80,5) \cdot 1,361 \cdot 1/2 = 2142 \text{ H M}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2142 / (2,369 \cdot 20,5^2 \cdot 35) = 61,49 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1.5 \cdot S_{lg}; 2.5 \cdot S_{ng}\}$$

$$\min\{1.5 \cdot S_{\text{из}}; 2.5 \cdot S_{\text{из}}\} = \min\{1.5 \cdot 152,7; 2.5 \cdot 150,3\} = 229,1 \text{ МПа}$$

$$61,49 \text{ МПа} \leq 229,1 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\Sigma}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 21 \cdot 0,03755 + 1) \cdot 2142 / (2,369 \cdot 21^2 \cdot 35) = 120 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_F$$

$$120 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,297 \cdot 2142 / (21^2 \cdot 35) - 1,101 \cdot 120 = 47,9 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_K$$

$$47,9 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа}, \text{ Условие прочности выполнено}$$

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (61,49 + 120) / 2 = 90,77 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$90,77 \text{ МПа} \leq 152,7 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
					E-14.00.00.000 PP	212

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
					E-14.00.00.000 PP	212

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
					E-14.00.00.000 PP	212

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
					E-14.00.00.000 PP	212

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (61,49 + 47,9) / 2 = 54,69 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{г}}$$

54,69 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52 \cdot 14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{y0} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52 \cdot 14 \cdot 0,1786 \cdot 643,2) / (2,369 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 11,5^2 \cdot 0,3 \cdot 20,06) = 0,01610$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

$$0,01610 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52 \cdot 14 \cdot V \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot E_{y\text{г}} \cdot g_0^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52 \cdot 14 \cdot 0,1786 \cdot 2142) / (2,369 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 11,5^2 \cdot 0,3 \cdot 20,06) = 0,05290$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

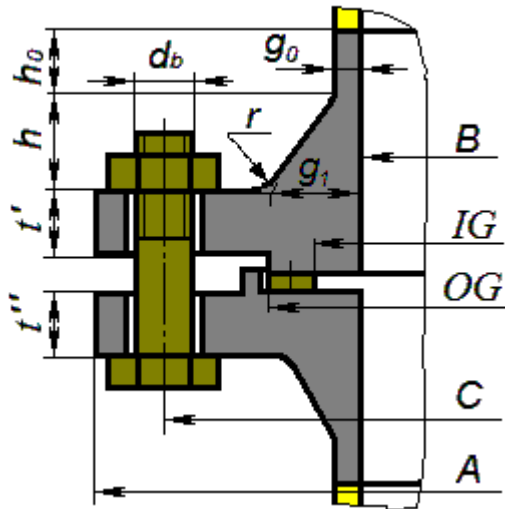
$$0,05290 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				213

## **Фланцевое соединение DN50-Rc1/2**

## 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: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 19 мм

Сумма прибавок, с: 1 мм

Внешняя коррозия фланца, с<sub>ф</sub>: 0 мм

Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм

Длина конической части втулки, h: 18 мм

Длина цилиндрической части втулки,  $h_0$ : 0 мм

Толщина цилиндрической части втулки,  $g_0$ : 14 мм

Толщина конической части втулки,  $g_1$ : 14 мм

Радиус перехода, г: 5 мм

**Данные второго фланца (кольца):**

Смежный элемент:

Материал смежного элемента: 12X18H10T

Материал фланца (кольца): 12X18H10T

Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм

Толщина фланца (кольца), t: 21 мм

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Своободный/интегральный: -
					Диаметр болтовой окружности, С: 125 мм <b>Данные первого фланца (кольца):</b> Смежный элемент: Штуцер М DN50 Материал смежного элемента: 12X18H10T Материал фланца (кольца): 12X18H10T Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм Толщина фланца (кольца), t: 19 мм Сумма прибавок, с: 1 мм Внешняя коррозия фланца, с <sub>г</sub> : 0 мм Внутренний диаметр фланца, В: 48 мм Длина конической части втулки, h: 18 мм Длина цилиндрической части втулки, h <sub>0</sub> : 0 мм Толщина цилиндрической части втулки, g <sub>0</sub> : 14 мм Толщина конической части втулки, g <sub>1</sub> : 14 мм Радиус перехода, r: 5 мм <b>Данные второго фланца (кольца):</b> Смежный элемент: Материал смежного элемента: 12X18H10T Материал фланца (кольца): 12X18H10T Наружный диаметр фланца (кольца), А: 160 мм Толщина фланца (кольца), t: 21 мм
19663.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

E-14.00.00.000 PP

Лист  
214

Сумма прибавок, с: 1 мм  
Внешняя коррозия фланца, с<sub>г</sub>: 0 мм  
Внутренний диаметр фланца, В: 21 мм  
Длина конической части втулки, h: 22,5 мм  
Длина цилиндрической части втулки, h<sub>0</sub>: 1,5 мм  
Толщина цилиндрической части втулки, g<sub>0</sub>: 18,5 мм  
Толщина конической части втулки, g<sub>1</sub>: 27,5 мм  
Радиус перехода, г: 5 мм

**Шпильки:**

Материал: 37X12Н8Г8МБФ  
Наружный диаметр, d<sub>б</sub>: 16 мм  
Количество, n: 4  
Радиальная коррозия крепежа, с<sub>б</sub>: 0 мм

**Прокладка:**

Материал прокладки: Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали  
Толщина, h<sub>п</sub>: 3,2 мм  
Наружный диаметр, OG: 87 мм  
Внутренний диаметр, IG: 74 мм

**Расчёт в расчётных условиях**

**Условия нагружения:**

Расчётное осевое сжимающее усилие, F: 0 Н  
Расчётный изгибающий момент, M: 0 Н м  
Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 1,601 МПа  
Расчётная температура элементов соединения:  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура фланца (кольца), t<sub>ф</sub>: 192 °C  
Температура болтов (шпилек), t<sub>б</sub>: 170 °C

**Свойства материала болтов (шпилек)**

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °C (расчётные условия):

$S_b = \min\{R_e^{20} / n_{T20}; R_m^{20} / n_{B20}; R_e / n_T; R_m / n_B\} = \min(590 / 4; 736 / 5; 537,4 / 1,5; 706 / 4) = 147,2 \text{ МПа}$

Модуль продольной упругости для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °C:

$E_6 = 2,062 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коэффициент линейного расширения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 170 °C:

$\alpha_6 = 0,1737 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$

Допускаемые напряжения для материала 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 20 °C (расчётные 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 37X12Н8Г8МБФ при температуре T = 20 °C:

$E^{20}_6 = 2,15 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

**Свойства материала смежного элемента фланца 1 Штуцер М DN50**

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 200 °C (расчётные условия):

$S_{n01} = 132,8 \text{ МПа}$

Допускаемые напряжения для материала 12X18Н10Т при температуре T = 20 °C (расчётные условия):

$S_{ng1} = 152,7 \text{ МПа}$

Инов. № подл. 19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Е-14.00.00.000 РР					Лист 215
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата





$$A_m = \max \left[ \frac{W_o + F_A + \frac{4 \cdot M_E}{G}}{S_{bo}}; \frac{W_{gs}}{S_{bg}} \right] = \max[(1,604 \cdot 10^4 + 0 + 4 \cdot 0 / 80,5) / 147,2; 5,671 \cdot 10^4 / 147,2] = 0,3853 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

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:

$$A_b = n \cdot f_0 = 4 \cdot 0,144 \cdot 10^{-3} = 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

### Расчёт болтов(шпилек):

Условие прочности болтов:

$$A_m \leq A_b$$

$$0,3853 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \leq 0,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

**Условие прочности выполнено**

### Расчёт напряжений первого фланца:

Равнодействующая давления на внутренней поверхности фланца:

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p = 0,785 \cdot 50^2 \cdot 1,601 = 3142 \text{ Н}$$

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

$$h_D = \frac{C - B - g_1}{2} = (125 - 50 - 13) / 2 = 31 \text{ мм}$$

Равнодействующая давления:

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot p = 0,785 \cdot 80,5^2 \cdot 1,601 = 8143 \text{ Н}$$

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

$$H_T = H - H_D = 8143 - 3142 = 5002 \text{ Н}$$

Радиальное расстояние от реакции прокладки до болтовой окружности:

$$h_G = \frac{C - G}{2} = (125 - 80,5) / 2 = 22,25 \text{ мм}$$

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

$$h_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{C - B}{2} + h_G \right] = 1/2 \cdot [(125 - 50) / 2 + 22,25] = 29,87 \text{ мм}$$

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

$$H_G = W_o - H = 1,604 \cdot 10^4 - 8143 = 7895 \text{ Н}$$

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:

$$B_{SC} = \max \left\{ 1; \sqrt{\frac{B_S}{2 \cdot a + t}} \right\} = \max \{ 1; (98,17 / (2 \cdot 16 + 19))^{1/2} \} = 1,387$$

$$X_g = \frac{g_1}{g_0} = 13 / 13 = 1$$

Коэффициент

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19663.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Е-14.00.00.000 РР			Лист
			218

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0} = (50 \cdot 13)^{1/2} = 25,5 \text{ мм}$$

$$X_h = \frac{h}{h_o} = 18 / 25,5 = 0,706$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$F = 0,8982$$

Расчетные коэффициенты:

$$e = \frac{F}{h_o} = 0,8982 / 25,5 = 0,03523 \text{ 1/мм}$$

$$K = \frac{A}{B} = 160 / 50 = 3,2$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{(1,0472 + 1,9448 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / ((1,0472 + 1,9448 \cdot 3,2^2) \cdot (3,2 - 1)) = 1,16$$

$$U = \frac{K^2 (1 + 8,55246 \cdot \lg K) - 1}{1,36136 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = (3,2^2 \cdot (1 + 8,55246 \cdot \lg 3,2) - 1) / (1,36136 \cdot (3,2^2 - 1) \cdot (3,2 - 1)) = 1,933$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$V = 0,5529$$

Коэффициент d для интегральных фланцев:

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2 = 1,933 / 0,5529 \cdot 25,5 \cdot 13^2 = 0,1506 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (19 \cdot 0,03523 + 1) / 1,16 + 19^3 / 0,1506 \cdot 10^{-4} = 1,895$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g_0^2 \cdot h_o \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 1,895 \cdot 13 \cdot 25,5 \cdot 50 / 0,5529 = 0,6453 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$G_{wg} = 0,5 \cdot (g_0 + g_1) = 0,5 \cdot (13 + 13) = 13 \text{ мм}$$

$$A_R = 0,5 \cdot (A - B) = 0,5 \cdot (160 - 50) = 55 \text{ мм}$$

Так как  $t \geq G_{wg}$ ,

$$A_A = A_R = 55 \text{ мм}$$

$$B_B = t = 19 \text{ мм}$$

$$K_{AB} = \left( A_A \cdot B_B^3 \right) \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0,21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (55 \cdot 19^3) \cdot [1/3 - 0,21 \cdot (19/55) \cdot (1 - 1/12 \cdot (19/55)^4)] = 0,9841 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$C_c = h = 18 \text{ мм}$$

$$D_{DG} = G_{wg} = 13 \text{ мм}$$

$$K_{CD} = \left( C_c \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1,05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (18 \cdot 13^3) \cdot [1/3 - 1,05 \cdot (13/18) \cdot (1 - 1/192 \cdot (13/18)^4)] = (-0,1676 \cdot 10^{-7}) \text{ м}^4$$

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

$$I_P = K_{AB} + K_{CD} = 0,9841 \cdot 10^{-7} + (-0,1676 \cdot 10^{-7}) = 0,8165 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

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

Инов. № подл.	19663.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист 219

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0,3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 0 \cdot [0,6453 \cdot 10^{-7} / (0,3846 \cdot 0,8165 \cdot 10^{-7} + 0,6453 \cdot 10^{-7})] \cdot [31 / (125 - 2 \cdot 31)] + 0 \cdot 31 = 0 \text{ Н м}$$

Коэффициент момента для расчета свободных колец:

$$F_S = 1$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe}] \cdot F_S = [(3142 \cdot 31 + 5002 \cdot 29,87 + 7895 \cdot 22,25) \cdot 1,387 + 0] \cdot 1 = 586,2 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 586,2 / (1,895 \cdot 13^2 \cdot 50) = 36,61 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\}$$

$$\min \{1,5 \cdot S_{\text{до}}; 2,5 \cdot S_{\text{но}}\} = \min \{1,5 \cdot 133,9; 2,5 \cdot 132,8\} = 200,8 \text{ МПа}$$

36,61 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03523 + 1) \cdot 586,2 / (1,895 \cdot 19^2 \cdot 50) = 32,39 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{до}}$$

32,39 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0,66845 + 5,7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (3,2 - 1) \cdot (0,66845 + 5,7169 \cdot 3,2^2 \cdot \lg 3,2 / (3,2^2 - 1)) = 1,759$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (3,2^2 + 1) / (3,2^2 - 1) = 1,216$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 586,2 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 32,39 = 17,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

17,7 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (36,61 + 32,39) / 2 = 34,5 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

34,5 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (36,61 + 17,7) / 2 = 27,16 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$$

27,16 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$W_g = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) \cdot S_{bg} = (0,3853 \cdot 10^{-3} + 0,576 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 147,2 = 7,075 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Е-14.00.00.000 РР				Лист
				220

$$M_{\xi} = \frac{W_{\xi} \cdot (C - G) \cdot B_{sc} \cdot F_s}{2} = 7,075 \cdot 10^4 \cdot (125 - 80,5) \cdot 1,387 \cdot 1/2 = 2184 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\xi}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 2184 / (1,895 \cdot 13^2 \cdot 50) = 136,4 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

$$\min\{1,5 \cdot S_{\xi g}; 2,5 \cdot S_{\xi g}\} = \min\{1,5 \cdot 152,7; 2,5 \cdot 152,7\} = 229,1 \text{ МПа}$$

136,4 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\xi}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1,33 \cdot 19 \cdot 0,03523 + 1) \cdot 2184 / (1,895 \cdot 19^2 \cdot 50) = 120,7 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

120,7 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\xi}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 1,759 \cdot 2184 / (19^2 \cdot 50) - 1,216 \cdot 120,7 = 65,97 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

65,97 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (136,4 + 120,7) / 2 = 128,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

128,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (136,4 + 65,97) / 2 = 101,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

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

101,2 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Коэффициент жесткости для интегральных фланцев:

$$K_R = 0,3$$

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52,14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52,14 \cdot 0,5529 \cdot 586,2) / (1,895 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 13^2 \cdot 0,3 \cdot 25,5) = 0,03496$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1,0$$

$$0,03496 \leq 1,0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		221



$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = (21 * 0,03923 + 1) / 0,6987 + 21^3 / 0,2618 \cdot 10^{-4} = 2,964$$

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

$$I = \frac{0,0874 \cdot L \cdot g^2 \cdot h_0 \cdot B}{V} = 0,0874 \cdot 2,964 \cdot 17,5 \cdot 20,06 \cdot 23 / 0,2419 = 0,1514 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$G_{\text{avg}} = 0.5 \cdot (g_0 + g_1) = 0.5 \cdot (17,5 + 26,5) = 22 \text{ mm}$$

Так как  $t < G_{avg}$ ,

$$A_{\text{A}} = h + t = 22,5 + 21 = 43,5 \text{ mm}$$

$$B_B = G_{\text{avg}} = 22 \text{ mm}$$

$$K_{AB} = \left\{ A_A \cdot B_B^3 \right\} \cdot \left[ \frac{1}{3} - 0.21 \cdot \left( \frac{B_B}{A_A} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{12} \cdot \left\{ \frac{B_B}{A_A} \right\}^4 \right) \right] = (43,5 \cdot 22^3) \cdot [1/3 - 0.21 \cdot (22/43,5) \cdot (1 - 1/12 \cdot \{22/43,5\}^4)] = 0,1055 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A_R = 0.5 \cdot (A - B) = 0.5 \cdot (160 - 23) = 68,5 \text{ mm}$$

$$C_C = A_R - G_{avg} = 68,5 - 22 = 46,5 \text{ mm}$$

$$D_{\text{Df}} = t = 21 \text{ mm}$$

$$K_{CD} = \left( C_c \cdot D_{DG}^3 \right) \cdot \left[ \frac{1}{3} - 1.05 \cdot \left( \frac{D_{DG}}{C_c} \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{192} \cdot \left\{ \frac{D_{DG}}{C_c} \right\}^4 \right) \right] = (46,5 \cdot 21^3) \cdot [1/3 - 1.05 \cdot (21 / 46,5) \cdot (1 - 1/192 \cdot \{21 / 46,5\}^4)] = (-0,6062 \cdot 10^{-7}) \text{ M}^4$$

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

$$I_D = K_{AB} + K_{CD} = 0,1055 \cdot 10^{-6} + (-0,6062 \cdot 10^{-7}) = 0,4486 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

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

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0.3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 \cdot 0 \cdot [0,1514 \cdot 10^{-6} / (0,3846 \cdot 0,4486 \cdot 10^{-7} + 0,1514 \cdot 10^{-6})] \cdot [37,75 / (125 - 2 \cdot 37,75)] + 0 \cdot 37,75 = 0 \text{ H}_M$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = \left| \left( (H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{SC} + M_{oe} \right) \cdot F_S \right| = \frac{((664,8 * 37,75 + 7479 * 36,63 + 7895 * 22,25) * 1,361 + 0) * 1}{M} = 646 \text{ H}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

$$f = 1$$

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 \cdot 646 / (2,964 \cdot 26,5^2 \cdot 23) = 13,49 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min \{1.5 \cdot S_{fo}; 2.5 \cdot S_{no}\}$$

$$\min\{1.5 \cdot S_{\text{н}}; 2.5 \cdot S_{\text{н0}}\} = \min\{1.5 * 133,9; 2.5 * 131,7\} = 200,8 \text{ МПа}$$

$$13,49 \text{ МПа} \leq 200,8 \text{ МПа, Условие прочности выполнено}$$

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 \cdot 21 \cdot 0.03923 + 1) \cdot 646 / (2.964 \cdot 21^2 \cdot 23) = 45,03 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{f_0}$$

$45,03 \text{ МПа} \leq 133,9 \text{ МПа}$ , **Условие прочности выполнено**

Изм.

Лист

№ докум.

Подп.

Дата

Инв. № подл.

19663.4

Подпись и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подпись и дата

Условие прочности по изгибу:

$$M_{oe} = 4 \cdot M_E \cdot \left[ \frac{I}{0.3846 \cdot I_p + I} \right] \cdot \left[ \frac{h_D}{C - 2 \cdot h_D} \right] + F_A \cdot h_D = 4 * 0 * [0,1514 \cdot 10^{-6} / (0,3846 * 0,4486 \cdot 10^{-7} + 0,1514 \cdot 10^{-6})] * [37,75 / (125 - 2 * 37,75)] + 0 * 37,75 = 0 \text{ Н м}$$

Изгибающий момент в расчётных условиях (внутреннее давление):

$$M_o = [(H_D \cdot h_D + H_T \cdot h_T + H_G \cdot h_G) \cdot B_{sc} + M_{oe}] \cdot F_s = [(664,8 * 37,75 + 7479 * 36,63 + 7895 * 22,25) * 1,361 + 0] * 1 = 646 \text{ Н м}$$

Коэффициент напряжений (Таблица 4.16.5):

f = 1

Продольные напряжения во втулке, в расчётных условиях:

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 * 646 / (2,964 * 26,5^2 * 23) = 13,49 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\sigma_H \leq \min\{1.5 \cdot \sigma_{fo}; 2.5 \cdot \sigma_{no}\}$$
$$\min\{1.5 \cdot \sigma_{fo}; 2.5 \cdot \sigma_{no}\} = \min\{1.5 * 133,9; 2.5 * 131,7\} = 200,8 \text{ МПа}$$

13,49 МПа ≤ 200,8 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 * 21 * 0,03923 + 1) * 646 / (2,964 * 21^2 * 23) = 45,03 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\sigma_R \leq \sigma_{fo}$$

45,03 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

E-14.00.00.000 PP

Лист  
223

$$Y = \frac{1}{K-1} \cdot \left( 0.66845 + 5.7169 \cdot \frac{K^2 \cdot \lg K}{K^2 - 1} \right) = 1 / (6,957 - 1) * (0.66845 + 5.7169 * 6,957^2 * \lg 6,957 / (6,957^2 - 1)) = 0,9378$$

$$Z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = (6,957^2 + 1) / (6,957^2 - 1) = 1,042$$

Касательные напряжения во фланце, расчётные условия:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 0,9378 * 646 / (21^2 * 23) - 1,042 * 45,03 = 12,8 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{до}}$$

12,8 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (13,49 + 45,03) / 2 = 29,26 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{до}}$$

29,26 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (13,49 + 12,8) / 2 = 13,15 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{до}}$$

13,15 МПа ≤ 133,9 МПа, **Условие прочности выполнено**

Изгибающий момент в условиях монтажа (внутреннее давление):

$$M_{\text{г}} = \frac{W_{\text{г}} \cdot (C - G) \cdot B_{\text{sc}} \cdot F_{\text{с}}}{2} = 7,075 \cdot 10^4 * (125 - 80,5) * 1,361 * 1 / 2 = 2142 \text{ Н м}$$

Продольные напряжения во втулке, в условиях монтажа:

$$S_H = \frac{f \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = 1 * 2142 / (2,964 * 26,5^2 * 23) = 44,75 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_H \leq \min\{1.5 \cdot S_{\text{гг}}; 2.5 \cdot S_{\text{нг}}\}$$

$$\min\{1.5 \cdot S_{\text{гг}}; 2.5 \cdot S_{\text{нг}}\} = \min\{1.5 * 152,7; 2.5 * 150,3\} = 229,1 \text{ МПа}$$

44,75 МПа ≤ 229,1 МПа, **Условие прочности выполнено**

Радиальные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{\text{г}}}{L \cdot t^2 \cdot B} = (1.33 * 21 * 0,03923 + 1) * 2142 / (2,964 * 21^2 * 23) = 149,3 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_R \leq S_{\text{гг}}$$

149,3 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

Касательные напряжения во фланце, условия монтажа:

$$S_T = \frac{Y \cdot M_{\text{г}}}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = 0,9378 * 2142 / (21^2 * 23) - 1,042 * 149,3 = 42,44 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$S_T \leq S_{\text{гг}}$$

42,44 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_R}{2} = (44,75 + 149,3) / 2 = 97,05 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

Инв. № подл. 19663.4	Подпись и дата				
	Инв. № дубл.				
	Взам. инв. №				
	Подпись и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-14.00.00.000 PP
					Лист
					224



$$\frac{S_H + S_R}{2} \leq S_{\text{г}}$$

97,05 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

$$\frac{S_H + S_T}{2} = (44,75 + 42,44) / 2 = 43,6 \text{ МПа}$$

Условие прочности:

$$\frac{S_H + S_T}{2} \leq S_{\text{г}}$$

43,6 МПа ≤ 152,7 МПа, **Условие прочности выполнено**

**Условие прочности выполнено**

### **Жесткость фланца**

- для расчётных условий:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, расчётные условия):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_o}{L \cdot E_{yo} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0,2419 \cdot 646) / (2,964 \cdot 1,973 \cdot 10^5 \cdot 17,5^2 \cdot 0,3 \cdot 20,06) = 0,007557$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,007557 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

- для условий монтажа:

Показатель жесткости фланца (интегральные фланцы, условия монтажа):

$$J = \frac{52.14 \cdot V \cdot M_g}{L \cdot E_{yg} \cdot g_o^2 \cdot K_R \cdot h_o} = (52.14 \cdot 0,2419 \cdot 2142) / (2,964 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 17,5^2 \cdot 0,3 \cdot 20,06) = 0,02473$$

Условие жесткости:

$$J \leq 1.0$$

$$0,02473 \leq 1.0$$

**Условие жёсткости выполнено**

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19663.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-14.00.00.000 PP				Лист
				225

## Список литературы

- 1) ГОСТ Р 52857.4-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 2) СА 03-003-07. Расчет на прочность и вибрацию стальных технологических трубопроводов. Стандарт ассоциации экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности "Ростехэкспертиза"
- 3) ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
- 4) ASME VIII, Div 2, 2013.
- 5) ГОСТ Р 52857.3-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечайек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.
- 6) ГОСТ Р 52857.1-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
- 7) ГОСТ Р 52857.2-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечайек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19663.4									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-14.00.00.000 PP				
					Лист				
					226				