

ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ»



ОАО «Славнефть-ЯНОС»
Установка С-200 (производство КМ-2)

Емкость
Е-742-751

Расчеты
Е-742-751.00.00.000 РР

Зав. отделом №16

С. В. Салов

« ____ » _____ 2014 г.

Главный конструктор проекта

Е. Н. Логунова

« ____ » _____ 2014 г.

Москва, 2014 г.

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				

Этот документ является собственностью
ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» и не подлежит
копированию и распространению без его согласия.

Оглавление

Параметры аппарата (расчетные параметры) 3

Выпуклые днища..... 4

Цилиндрические обечайки 5

Сосуды на седловых опорах..... 7

Диаметр отверстия в днище не требующий укрепления 10

Диаметр отверстия в цилиндрической обечайке не требующий укрепления 11

Укрепление отверстий Ду500 12

Укрепление отверстий Ду200 "В" и учет взаимного влияния с "П" Ду50 14

Укрепление отверстий Ду150 "Б" 17

Укрепление отверстий Ду100 "А,Г,Д" и учет взаимного влияния с "К1" Ду50 19

Укрепление отверстий Ду50 "Л" 22

Аппаратные фланцевые соединения Ду500 Ру2,5 24

Арматурные фланцы Ду200 Ру2.5 30

Арматурные фланцы Ду150 Ру2.5 34

Арматурные фланцы Ду100 Ру2,5 38


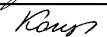

Арматурные фланцы Ду50 Ру4,0 42

Расчет на прочность цилиндрических обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер по ГОСТ Р 52857.3 48

Параметры аппарата (наружное давление) 51

Цилиндрические обечайки 52

Выпуклые днища..... 53

Инв. № подл. 19388.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инв. № дубл.		Подпись и дата					
Изм.		Лист	№ докум.		Подпись		Дата					
Разраб.			Житников				04.14					
Пров.			Копчикова				04.14					
Рук.												
Н.контр.			Копчикова				04.14					
Утв.												
Е-742-751.00.00.000 РР												
Емкость Е-742-751							Лит.		Лист		Листов	
							Т				2	
Расчеты							ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ»					

Параметры аппарата (расчетные параметры)

Параметры аппарата

Пакет прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Данные

Расчетная температура	T	50	С
Расчетное внутреннее избыточное или наружное давление	P	1.76	МПа
Коэффициент прочности сварных швов	fi	1	

Инв. № подл. 19388.4	Подпись и дата				Инв. № дубл.	Подпись и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP					Лист
										3

Выпуклые днища

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Эллиптическое днище, работающее под действием внутреннего давления

Рабочие условия

Исходные данные

Материал днища	-	Сталь20ЮЧ	-
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	p	1.76	МПа
Внутренний диаметр днища	D	3000	мм
Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части	H	750	мм
Исполнительная толщина стенки днища	s ₁	28	мм
Прибавка на коррозию и эрозию	c ₁	4	мм
Прибавка – минусовый допуск	c ₂	0	мм
Прибавка технологическая	c ₃	5.1	мм
Коэффициент прочности сварного шва	φ	1	-
Допускаемое напряжение	[σ]	145	МПа
Длина цилиндрической отбортовки	h ₁	80	мм

Результаты расчета

Радиус кривизны в вершине эллиптического или полусферического днища:	$R = \frac{D^2}{4H} =$	3000	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки:	$c=c_1+c_2+c_3=$	9.1	мм
Расчетная толщина стенки эллиптического или полусферического днища от действия внутреннего давления:	$s_{1p} = \frac{pR}{2\varphi[\sigma] - 0,5p} =$	18.68	мм
Расчетная толщина стенки днища от действия давления с учетом прибавки:	$s_{1p}+c =$	27.78	мм
Допускаемое внутреннее давление для эллиптического или полусферического днища:	$[p] = \frac{2(s_1 - c)\varphi[\sigma]}{R + 0,5(s_1 - c)} =$	1.821	МПа

Днище отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	полусферического днища:	$c = c_1 + c_2 + c_3 =$	9.1	мм	
					Сумма прибавок к расчетной толщине стенки:				
					Расчетная толщина стенки эллиптического или полусферического днища от действия внутреннего давления:	$s_{1p} = \frac{pR}{2[\sigma] - 0,5p} =$	18.68	мм	
					Расчетная толщина стенки днища от действия давления с учетом прибавки:	$s_{1p} + c =$	27.78	мм	
					Допускаемое внутреннее давление для эллиптического или полусферического днища:	$[p] = \frac{2(s_1 - c)[\sigma]}{R + 0,5(s_1 - c)} =$	1.821	МПа	
					Днище отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP				Лист 4

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2

Элемент: Гладкая цилиндрическая обечайка, работающая под действием внутреннего давления - осевой сжимающей силы - изгибающего момента

Рабочие условия

Материал обечайки	-	Сталь20ЮЧ	
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	P	1.76	МПа
Расчетное осевое усилие	F	0	Н
Расчетный изгибающий момент	M	0	Н·мм
Расчетное поперечное усилие	Q	0	Н
Внутренний диаметр обечайки	D	3000	мм
Расчетная длина обечайки	L	1.359e+04	мм
Толщина стенки обечайки	S	26	мм
Прибавка на коррозию	C ₁	4	мм
Прибавка – минусовый допуск	C ₂	0	мм
Прибавка технологическая	C ₃	0.9	мм
Коэффициент прочности продольного сварного шва	φ _p	1	
Допускаемое напряжение	[σ]	145	МПа
Модуль продольной упругости	E	1.96e+05	МПа
Приведенная расчетная длина	L _{пр}	1.359e+04	мм

$$S_p = \frac{pD}{2[\sigma]\phi_p - p} = 18.74 \quad \text{MM}$$
$$S \geq S_p + C = 23.64 \text{ MM}$$
$$[p] = \frac{2[\sigma] \varphi_p (S - C)}{D + (S - C)} = 2.025 \quad \text{МПа}$$
$$[F]_{E1} = \frac{31 \cdot 10^{-5} E}{n_y} D^2 \left[\frac{100(S-C')}{D} \right]^{2.5} = 9.453e+07 \quad H$$
$$[F]_{\text{E}} = \text{Min} \{ [F]_{\text{E1}}, [F]_{\text{E2}} \} = 9.453\text{e}+07 \quad \text{H}$$
$$[F]_{\pi} = \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma] = 2.904e+07 \quad H$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{н}}}{[F]_{\text{Е}}}\right)^2}} =$$

2.776e+07 Н

Допускаемый изгибающий момент из условий устойчивости в пределах упругости:

$$[M]_{\text{Е}} = \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_y} D^3 \left[\frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} =$$

8.102e+10 Н·мм

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$[M]_{\text{н}} = \frac{\pi D(D + S - C)(S - C)[\sigma]}{4} =$$

2.178e+10 Н·мм

Допускаемый изгибающий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{\text{н}}}{[M]_{\text{Е}}}\right)^2}} =$$

2.103e+10 Н·мм

Допускаемое поперечное усилие из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[Q]_{\text{Е}} = \frac{2.4E(S - C)^2}{n_y} \left[0.18 + 3.3 \frac{D(S - C)}{L^2} \right] =$$

1.581e+07 Н

Допускаемое поперечное усилие из условия прочности:

$$[Q]_{\text{н}} = \frac{\pi D(S - C)[\sigma]}{4} =$$

7.209e+06 Н

Допускаемое перерезывающее усилие:

$$[Q] = \frac{[Q]_{\text{н}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[Q]_{\text{н}}}{[Q]_{\text{Е}}}\right)^2}} =$$

6.559e+06 Н

Условие устойчивости (п.2.3.7 ГОСТ Р 52857.2)

$$\frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 =$$

0 < 1

Обечайка отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				
Лист				
6				

Сосуды на седловых опорах

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.5

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Цилиндрическая обечайка на седловых опорах, работающая под действием внутреннего давления.

Седловая опора со сплошным сечением

Рабочие условия

Исходные данные

Материал обечайки	-	Сталь20ЮЧ	-
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	P	1.76	МПа
Вес сосуда	G	1.33e+06	Н
Внутренний диаметр обечайки	D	3000	мм
Исполнительная толщина стенки обечайки	s	26	мм
Сумма прибавок к толщине стенки обечайки	c	4.9	мм
Длина цилиндрической части сосуда, включая отбортовку днищ	L	1.316e+04	мм
Длина левой цилиндрической выступающей части, включая отбортовку	a ₁	2380	мм
Высота выпуклой части левого днища без учета отбортовки	H ₁	750	мм
Длина правой цилиндрической выступающей части, включая отбортовку	a ₂	2380	мм
Высота выпуклой части правого днища без учета отбортовки	H ₂	750	мм
Коэффициент прочности сварных швов, расположенных в области опорного узла	φ	1	
Угол охвата седловой опоры, градусов	δ ₁	120	
Ширина седловой опоры	b	300	мм
Допускаемое напряжение для материала обечайки	[σ]	145	МПа
Допускаемое осевое усилие из условий устойчивости по ГОСТ Р 52857.2	[F]	2.776e+07	Н
Допускаемый изгибающий момент из условий устойчивости по ГОСТ Р 52857.2	[M]	2.103e+10	Н·мм
Допускаемая перерезывающая сила по ГОСТ Р 52857.2	[Q]	6.559e+06	Н

Результаты расчета

Распределенная нагрузка эквивалентного сосуда:	$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} =$	93.93	Н/мм
Краевой момент в эквивалентной балке со стороны более нагруженной опоры:	$M_0 = q \frac{D^2}{16} =$	5.283e+07	Н·мм
Длина свободно выступающей части эквивалентного сосуда со стороны более нагруженной опоры:	$e =$	2880	мм
Опорное усилие, действующее на более нагруженную опору:	$F_i =$	6.65e+05	Н
Максимальный расчетный момент над опорой:	$M_i =$	3.367e+08	Н·мм
Максимальный расчетный момент между опорами:	$M_{ij} =$	4.917e+08	Н·мм

Инов. № подл. 19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата						Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP					

Поперечное усилие в сечении оболочки над i-ой опорой: $Q_i = 3.945e+05$ Н

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью:	$K_9 =$	1.329
--	---------	-------

Условие прочности обечайки, работающей под внутренним давлением:

внутренним давлением:
 - расчетное напряжение в продольном направлении:

$$\frac{pD}{4(s-c)} + \frac{4M_{\psi}K_9}{\pi D^2(s-c)} = 68.36 \text{ МПа}$$

- допускаемое напряжение в продольном направлении:

$$\varphi[\sigma] = 145 \text{ МПа}$$

Условие устойчивости обечайки, работающей под внутренним давлением:

$$\frac{[M_{\dot{y}}]}{[M]} = 0.02338 < 1.0$$

Проверка несущей способности обечайки без подкладного листа в области опорного узла

Параметр, определяемый расстоянием до дна:	$\gamma = 2.83 \frac{a}{D} \sqrt{\frac{s-c}{D}} =$	0.1883
--	--	--------

$$K_{13} = 0.3456$$

Коэффициенты, учитывающие влияние
расстояния до днища:

$$K_{15} = 0.7052$$

Коэффициент K ,

$$K_2 = \quad 1.2$$

Запас прочности по пределу текучести

$$n_T = 1.5$$

Определение допускаемого опорного усилия от нагружения в осевом направлении:

Коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба:

$$g_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.2074$$

Коэффициенты, учитывающие степень нагрузки общими мембранными напряжениями

$$g_{2,1} = -\bar{\sigma}_{mx} \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]} = -0.01246$$

$$g_{2,2} = \left(\frac{pD}{4(s-c)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]} = 0.3405$$

Коэффициент K_1 (принимается меньшее значение из двух):

$$K_1(\mathfrak{g}_1; \mathfrak{g}_{2,1}) = 1.368$$

$$K_1(\mathfrak{g}_1; \mathfrak{g}_{2,2}) = 1.499$$

Предельное напряжение изгиба:

$$[\sigma]_i = K_1[\sigma] \frac{n_T}{K_2} = \quad 248 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:

$$[\text{F}]_2 = \frac{0.7[\sigma_i]_2 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{10}K_{12}} = 3.41\text{e}+06 \quad \text{H}$$

Определение допускаемого опорного усилия от нагружения в окружном направлении:

Коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба:

$$\vartheta_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5\delta_1)} = -1.553$$

Коэффициенты, учитывающие степень

$$g_{21} = 0$$

Подпись и дата		Определение допускаемого опорного усилия от нагружения в осевом направлении:				
		<p>Коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба:</p> $\mathfrak{A}_1 = -\frac{0.23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -0.2074$ <p>Коэффициенты, учитывающие степень нагрузки общими мембранными напряжениями</p> $\mathfrak{A}_{2,1} = -\bar{\sigma}_{mx} \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]} = -0.01246$ $\mathfrak{A}_{2,2} = \left(\frac{pD}{4(s-c)} - \bar{\sigma}_{mx} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]} = 0.3405$ <p>Коэффициент K_1 (принимается меньшее значение из двух):</p> $K_1(\mathfrak{A}_1; \mathfrak{A}_{2,1}) = 1.368$ $K_1(\mathfrak{A}_1; \mathfrak{A}_{2,2}) = 1.499$ <p>Предельное напряжение изгиба:</p> $[\sigma]_i = K_1[\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 248 \text{ МПа}$ <p>Допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении:</p> $[F]_2 = \frac{0.7[\sigma]_2 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{10}K_{12}} = 3.41\text{e}+06 \text{ Н}$				
Инв. № дубл.						
Инв. №						
Взам. инв. №						
Подпись и дата		Определение допускаемого опорного усилия от нагружения в окружном направлении:				
		<p>Коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба:</p> $\mathfrak{A}_1 = -\frac{0.53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0.5\delta_1)} = -1.553$ <p>Коэффициенты, учитывающие степень</p> $\mathfrak{A}_{2,1} = 0$				
Инв. № подл.	19388.4					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP	
					Лист 8	

	$\mathfrak{A}_{2,2} = \frac{pD}{2(s-c)} \cdot \frac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]} =$	0.706	
Коэффициент K_1 (принимается меньшее значение из двух):	$K_1(\mathfrak{A}_1; \mathfrak{A}_{2,1}) =$	0.5202	
	$K_1(\mathfrak{A}_1; \mathfrak{A}_{2,2}) =$	0.8712	
Предельное напряжение изгиба:	$[\sigma]_i = K_1[\sigma] \frac{n_T}{K_2} =$	94.29	МПа
Допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении:	$[F]_3 = \frac{0.9[\sigma_i]_3 \sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{14}K_{16}K_{17}} = 1.473\text{e}+06$		Н

Допускаемое усилие на опору: $[F_i] = \min \{ [F]_A, [F]_B \} = 1.473\text{e}+06 \text{ Н}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-742-751.00.00.000 РР	Лист
						9

Диаметр отверстия в днище не требующий укрепления

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Узел врезки штуцера или люка в эллиптическом днище при действии внутреннего давления

Рабочие условия

Определение диаметра отверстия, не требующего укрепления

Расчет укрепления отдельного отверстия

Исходные данные

Материал корпуса (обечайки или днища)	-	Сталь20ЮЧ	-
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	P	1.76	МПа
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	28	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине корпуса	c ₁	9.1	мм
Коэффициент прочности сварных швов корпуса	φ	1	
Допускаемое напряжение для материала корпуса	[σ]	145	МПа
Внутренняя высота эллиптической части днища	H	750	мм
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода в месте расположения отверстия	D	3000	мм

Результаты расчета

Инв. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>Расчетный диаметр эллиптического днища:</p> $D_p = \frac{D^2}{2H} \sqrt{1 - 4 \frac{(D^2 - 4H^2)}{D^4} \cdot \chi^2} = 4327 \text{ мм}$ <p>Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента:</p> $s_p = 13.47 \text{ мм}$ <p>Расчетный диаметр отверстия для штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:</p> $d_p = d + 2c_s = 58 \text{ мм}$ <p>Расчетный диаметр отверстия для смещенного штуцера на эллиптическом днище:</p> $d_p = \frac{d + 2c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2\chi}{D_p}\right)^2}} = 58 \text{ мм}$ <p>Минимальное расстояние между наружными поверхностями штуцеров, при котором они не оказывают влияние друг на друга:</p> $b \geq \sqrt{D_p'(s-c)} + \sqrt{D_p''(s-c)} = 571.9 \text{ мм}$ <p>Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки сосуда, работающего под действием внутреннего давления:</p> $d_0 = 2 \left(\frac{s-c}{s_p} - 0.8 \right) \sqrt{D_p(s-c)} = 345 \text{ мм}$ <p>Штуцера, диаметр которых меньше d_0 дополнительного расчета не требуют.</p>
						<div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div>

Диаметр отверстия в цилиндрической обечайке не требующий укрепления

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Узел врезки штуцера или люка в цилиндрической обечайке при действии внутреннего давления

Рабочие условия

Определение диаметра отверстия, не требующего укрепления

Расчет укрепления отдельного отверстия

Исходные данные

Материал корпуса (обечайки или днища)	-	Сталь20ЮЧ	-
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	P	1.76	МПа
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	26	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине корпуса	c ₁	4.9	мм
Коэффициент прочности сварных швов корпуса	φ	1	
Допускаемое напряжение для материала корпуса	[σ]	145	МПа
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода в месте расположения отверстия	D	3000	мм

Результаты расчета

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:

$$D_p = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента:

$$s_p = 18.74 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия для штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:

$$d_p = d + 2c_s = 58 \text{ мм}$$

Минимальное расстояние между наружными поверхностями штуцеров, при котором они не оказывают влияние друг на друга:

$$b \geq \sqrt{D_p'(s-c)} + \sqrt{D_p''(s-c)} = 503.2 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки сосуда, работающего под действием внутреннего давления:

$$d_0 = 2 \left(\frac{s-c}{s_p} - 0.8 \right) \sqrt{D_p(s-c)} = 164.1 \text{ мм}$$

Штуцера, диаметр которых меньше d₀ дополнительного расчета не требуют. Кроме штуцеров с приложенными внешними нагрузками.

Инов. № подл.	Подпись и дата	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инов. № подл.	19388.4	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP	Лист	11
---------------	----------------	---------------	----------------	--------------	----------------	---------------	---------	------	------	----------	-------	------	------------------------	------	----

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<p>цера.</p> <p>где:</p> <p>- коэффициент понижения прочно- сти для узла врезки штуцера:</p> <p>Условие прочности сварных швов между штуцером и накладным кольцом и накладным кольцом и корпусом:</p> <p>Узел врезки штуцера (люка) отвечает условиям укрепления отверстий в соответствии с требо- ваниями ГОСТ Р 52857.3</p>	$K_1 = 1$ $V = 1$ $\left(1 + \frac{2l_2}{d + 2s_1}\right) \Delta_1 + \Delta_2 = 50.87 \text{ мм}$ <p>должно быть не меньше величины:</p> $2,1 \frac{l_2 s_2}{d + 2s_1} = 11.41 \text{ мм}$
19388.4						<div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div>E-742-751.00.00.000 PP</div> <div>Лист 13</div>

Укрепление отверстий Ду200 "В" и учет взаимного влияния с "П" Ду50

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Узел врезки штуцера или люка в цилиндрической обечайке при действии внутреннего давления

Рабочие условия

Расчет укрепления двух отверстий с учетом взаимного влияния

Исходные данные

Материал корпуса (обечайки или днища)	-	Сталь20ЮЧ	-
Материал 1-го штуцера	-	Сталь20ЮЧ	
Материал 2-го штуцера	-	Сталь20ЮЧ	
Материал накладного кольца 2-го штуцера	-	Сталь20ЮЧ	
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	P	1.76	МПа
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	26	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине корпуса	c ₁	4.9	мм
Коэффициент прочности сварных швов корпуса	φ	1	
Допускаемое напряжение для материала корпуса	[σ]	145	МПа
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода в месте расположения отверстия	D	3000	мм
Минимальное расстояние между наружными поверхностями двух соседних штуцеров, измеряемое по поверхности укрепляемого элемента	b	298	мм
Угол между линией, соединяющей центры двух взаимовлияющих отверстий и образующей обечайки	β	0	град
Внутренний диаметр 1-го штуцера	d'	200	мм
Исполнительная толщина стенки 1-го штуцера	s ₁ '	14	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки 1-го штуцера	c ₁ '	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 1-го штуцера	[σ] ₁ '	145	МПа
Коэффициент прочности продольного сварного шва 1-го штуцера	φ ₁ '	1	
Размер сварного шва между 1-м штуцером и корпусом	Δ'	14	мм
Внутренний диаметр 2-го штуцера	d''	48	мм
Исполнительная толщина стенки 2-го штуцера	s ₁ ''	14	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки 2-го штуцера	c ₁ ''	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 2-го штуцера	[σ] ₁ ''	145	МПа
Коэффициент прочности продольного сварного шва 2-го штуцера	φ ₁ ''	1	
Исполнительная ширина накладного кольца 2-го штуцера	l ₂ ''	70	мм
Исполнительная толщина накладного кольца 2-го штуцера	s ₂ ''	20	мм
Допускаемое напряжение для материала накладного кольца 2-го штуцера	[σ] ₂ ''	145	МПа
Размер сварного шва между 2-м штуцером и корпусом	Δ''	14	мм
Размер сварного шва между накладным кольцом и корпусом в месте установки 2-го штуцера	Δ ₁ ''	20	мм
Размер сварного шва между накладным кольцом и 2-м штуцером	Δ ₂ ''	14	мм

Инов. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
E-742-751.00.00.000 PP					Лист
					14

Результаты расчета

- для 1-го штуцера:

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:

$$D_p' = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента в месте расположения 1-го штуцера:

$$s_p = 18.74 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия для 1-го штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:

$$d_p' = d' + 2c_s' = 208 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки 1-го штуцера:

$$s_{1p}' = \frac{p(d' + 2c_s')}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1' - p} = 1.299 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части круглого 1-го штуцера:

$$l_{1p}' = \min \left\{ l_1' ; 1,25 \sqrt{(d' + 2c_s')(s_1' - c_s')} \right\} = 57.01 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах в окрестности 1-го штуцера:

$$L_0' = \sqrt{D_p'(s_1' - c_s')} = 251.6 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в окрестности 1-го штуцера:

$$l_p' = L_0' = 251.6 \text{ мм}$$

Отношение допускаемых напряжений для внешней части 1-го штуцера:

$$x_1' = \min \left\{ 1,0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = 1$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0p}' = 0,4 \sqrt{D_p'(s_1' - c_s')} = 100.6 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для узла врезки 1-го штуцера:

$$[p] = \frac{2K_1(s_1' - c_s')\varphi_1'[\sigma]}{D_p' + (s_1' - c_s')V'} \cdot V' = 1.826 \text{ МПа}$$

где:

$$K_1 = 1$$

- коэффициент понижения прочности для узла врезки 1-го штуцера:

$$V' = 0.901$$

Минимальный размер сечения сварного шва между 1-м штуцером и корпусом:

$$\Delta \geq 2,1 \frac{l_1 s_1'}{d' + 2s_1'} = 7.351 \text{ мм}$$

- для 2-го штуцера:

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:

$$D_p'' = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента в месте расположения 2-го штуцера:

$$s_p = 18.74 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия для 2-го штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:

$$d_p'' = d'' + 2c_s'' = 56 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки 2-го штуцера:

$$s_{1p}'' = \frac{p(d'' + 2c_s'')}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1'' - p} = 0.3498 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части круглого 2-го штуцера:

$$l_{1p}'' = \min \left\{ l_1'' ; 1,25 \sqrt{(d'' + 2c_s'')(s_1'' - c_s'')} \right\} = 29.58 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах в окрестности 2-го штуцера:

$$L_0'' = \sqrt{D_p''(s_1'' - c_s'')} = 251.6 \text{ мм}$$

Инов. № подл. 19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	Расчетный диаметр	$d_{0p} = 0,4 \sqrt{D_p (s' - c')} =$	100.6	мм	
					Допускаемое внутреннее избыточное давление для узла врезки 1-го штуцера:	$[p] = \frac{2K_1 (s' - c') \phi [\sigma]}{D_p + (s' - c') V'} \cdot V' =$	1.826	МПа	
					где:	$K_1 =$	1		
					- коэффициент понижения прочности для узла врезки 1-го штуцера:	$V' =$	0.901		
					Минимальный размер сечения сварного шва между 1-м штуцером и корпусом:	$\Delta' \geq 2,1 \frac{l_1' s_1'}{d' + 2s_1'} =$	7.351	мм	
					- для 2-го штуцера:	$D_p'' = D =$	3000	мм	
					Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:	$s_p =$	18.74	мм	
					Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента в месте расположения 2-го штуцера:	$d_p'' = d'' + 2c_s =$	56	мм	
					Расчетный диаметр отверстия для 2-го штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:	$s_{1p}'' = \frac{p(d'' + 2c_s)}{2[\sigma]_1 \cdot \phi_1'' - p} =$	0.3498	мм	
					Расчетная толщина стенки 2-го штуцера:	$l_{1p}'' = \min \left\{ l_1'' ; 1,25 \sqrt{(d'' + 2c_s)(s_1'' - c_s)} \right\} =$	29.58	мм	
					Расчетная длина внешней части круглого 2-го штуцера:	$L_0'' = \sqrt{D_p'' (s'' - c'')} =$	251.6	мм	
					Ширина зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах в окрестности 2-го штуцера:				
					E-742-751.00.00.000 PP				Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

Инв. № подл. 19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Допускаемое напряжение для материала штуцера	$[\sigma]_1$	145	МПа	
					Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1		
					Исполнительная ширина накладного кольца	l_2	100	мм	
					Исполнительная толщина накладного кольца	s_2	20	мм	
					Допускаемое напряжение для материала накладного кольца	$[\sigma]_2$	145	МПа	
					Размер сварного шва между штуцером и корпусом	Δ	16	мм	
					Размер сварного шва между накладным кольцом и корпусом	Δ_1	20	мм	
					Размер сварного шва между накладным кольцом и штуцером	Δ_2	16	мм	
Результаты расчета									
Инв. № подл. 19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:	$D_p = D =$	3000	мм	
					Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента:	$s_p =$	18.74	мм	
					Расчетный диаметр отверстия для штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:	$d_p = d + 2c_s =$	156	мм	
					Расчетная толщина стенки штуцера:	$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} =$	0.9743	мм	
					E-742-751.00.00.000 PP				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					17

Результаты расчета

- для 1-го штуцера:

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:

$$D_p' = D = 3000 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента в месте расположения 1-го штуцера:

$$s_p = 18.74 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия для 1-го штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:

$$d_p' = d' + 2c_s' = 103 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки 1-го штуцера:

$$s_{1p}' = \frac{p(d' + 2c_s')}{2[\sigma]_1 \cdot \phi_1' - p} = 0.6433 \text{ мм}$$

Расчетная длина внешней части круглого 1-го штуцера:

$$l_{1p}' = \min \left\{ l_1'; 1,25 \sqrt{(d' + 2c_s')(s_1' - c_s')} \right\} = 43.95 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах в окрестности 1-го штуцера:

$$L_0' = \sqrt{D_p'(s_1' - c_s')} = 251.6 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в окрестности 1-го штуцера:

$$l_p' = L_0' = 251.6 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца для 1-го штуцера в окрестности соединения конической обечайки с другой обечайкой и обечайки с коническим или выпуклым днищем, а также с фланцем или седловой опорой сосуда при $L_k < L_0$:

$$l_{2p}' = \min \{ l_2'; L_k' \} = 80 \text{ мм}$$

Отношение допускаемых напряжений для внешней части 1-го штуцера:

$$x_1' = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = 1$$

Отношение допускаемых напряжений для накладного кольца 1-го штуцера:

$$x_2' = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma]_2}{[\sigma]} \right\} = 1$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0p}' = 0,4 \sqrt{D_p'(s_1' - c_s')} = 100.6 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление для узла врезки 1-го штуцера:

$$[p] = \frac{2K_1(s_1' - c_s')\phi_1'[\sigma]}{D_p' + (s_1' - c_s')V'} = 2.025 \text{ МПа}$$

где:

$$K_1 = 1$$

- коэффициент понижения прочности для узла врезки 1-го штуцера:

$$V' = 1$$

Условие прочности сварных швов между 1-м штуцером и накладным кольцом и накладным кольцом и корпусом:

$$\left(1 + \frac{2l_2'}{d' + 2s_1'} \right) \Delta_1' + \Delta_2' = 57.2 \text{ мм}$$

должно быть не меньше величины:

$$2,1 \frac{l_2' s_2'}{d' + 2s_1'} = 26.46 \text{ мм}$$

- для 2-го штуцера:

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:

$$D_p'' = D = 3000 \text{ мм}$$

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата
19388.4			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
E-742-751.00.00.000 PP			
Лист 20			

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.3

Элемент: Узел врезки штуцера или люка в цилиндрической обечайке при действии внутреннего давления

Рабочие условия

Расчет укрепления отдельного отверстия

Материал корпуса (обечайки или днища)	-	Сталь20	-
Материал штуцера	-	Сталь20	
Материал накладного кольца	-		
Расчетная температура	T	50	°C
Расчетное давление	P	1.76	МПа
Исполнительная толщина стенки обечайки, конического перехода или днища	s	26	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине корпуса	c ₁	4.9	мм
Коэффициент прочности сварных швов корпуса	φ	1	
Допускаемое напряжение для материала корпуса	[σ]	145	МПа
Внутренний диаметр обечайки, днища или конического перехода в месте расположения отверстия	D	3000	мм
Внутренний диаметр штуцера	d	48	мм
Исполнительная толщина стенки штуцера	s ₁	14	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки штуцера	c _s	4	мм
Допускаемое напряжение для материала штуцера	[σ] ₁	145	МПа
Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ ₁	1	
Исполнительная ширина накладного кольца	l ₂	70	мм
Исполнительная толщина накладного кольца	s ₂	20	мм
Допускаемое напряжение для материала накладного кольца	[σ] ₂	145	МПа
Размер сварного шва между штуцером и корпусом	Δ	14	мм
Размер сварного шва между накладным кольцом и корпусом	Δ ₁	20	мм
Размер сварного шва между накладным кольцом и штуцером	Δ ₂	14	мм

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:	$D_p = D =$	3000	мм
Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента:	$s_p =$	18.74	мм
Расчетный диаметр отверстия для штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:	$d_p = d + 2c_s =$	56	мм
Расчетная толщина стенки штуцера:	$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} =$	0.3498	мм
Расчетная длина внешней части круглого штуцера:	$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)} \right\} =$	29.58	мм

Инв. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Коэффициент прочности продольного сварного шва штуцера	φ_1	1	
						Исполнительная ширина накладного кольца	l_2	70	мм
						Исполнительная толщина накладного кольца	s_2	20	мм
						Допускаемое напряжение для материала накладного кольца	$[\sigma]_2$	145	МПа
						Размер сварного шва между штуцером и корпусом	Δ	14	мм
						Размер сварного шва между накладным кольцом и корпусом	Δ_1	20	мм
						Размер сварного шва между накладным кольцом и штуцером	Δ_2	14	мм
Результаты расчета									
						Расчетный диаметр цилиндрической обечайки корпуса:	$D_p = D =$	3000	мм
						Расчетная толщина стенки укрепляемого элемента:	$s_p =$	18.74	мм
						Расчетный диаметр отверстия для штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия:	$d_p = d + 2c_s =$	56	мм
						Расчетная толщина стенки штуцера:	$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p} =$	0.3498	мм
						Расчетная длина внешней части круглого штуцера:	$l_{1p} = \min \{ l_1 ; 1,25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)} \} =$	29.58	мм
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP				
					Лист 22				

Аппаратные фланцевые соединения Ду500 Рv2,5

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Фланцевое соединение фланца и крышки.

Спирально-навитая прокладка

Крепеж шпильки

Рабочие условия (менее 1000 циклов)

Исходные данные

Материал 1-го фланца (крышки)	Сталь20ЮЧ		
Материал и диаметр болтов (шпилек)	35X, Diam = 1-M20		
Материал прокладки	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		
Материал 2-го фланца (крышки)	Сталь20ЮЧ		
Расчетное давление	$p (p_1)$	1.76	МПа
Расчетная температура	$t_{ф1}$	50	С
Температура болтов (шпилек)	t_6	45.5	С
Диаметр окружности расположения болтов	D_6	600	мм
Наружный диаметр болта (шпильки)	d	20	мм
Минимальная площадь поперечного сечения болта (шпильки)	f_6	225	мм ²
Количество болтов (шпилек)	n	28	
Допускаемое напряжение для шпилек при $t=20C$	$[\sigma]_6^{20}$	230	МПа
Допускаемое напряжение для шпилек при $t=t_6$	$[\sigma]_6$	230	МПа
Модуль упругости шпилек при $t=20C$	E_6^{20}	2.15e+05	МПа
Модуль упругости шпилек при $t=t_6$	E_6	2.15e+05	МПа
Коэффициент линейного удлинения шпилек	α_6	1.34e-05	1/С
Наружный диаметр прокладки	$D_{нп}$	563	мм
Ширина прокладки	$b_{п}$	12	мм
Удельное давление обжатия прокладки	$q_{обж}$	69	МПа
Прокладочный коэффициент	m	3	
Внутренний диаметр фланца	D	500	мм
Температура фланца (крышки)	$t_{ф1}$	48.8	С
Допускаемое напряжение материала фланца (крышки) при $t=20c$	$[\sigma]^{20}$	147	МПа
Допускаемое напряжение материала фланца (крышки) при $t=t_{ф1}$	$[\sigma]$	145	МПа
Предел текучести материала фланца (крышки) при $t=20C$	$\sigma_{0,2}^{20}$	220	МПа
Предел текучести материала фланца (крышки) при $t=t_{ф1}$	$\sigma_{0,2}$	217	МПа
Временное сопротивление материала фланца (крышки) при $t=20C$	σ_B^{20}	410	МПа
Временное сопротивление материала фланца (крышки) при $t=t_{ф1}$	σ_B	399	МПа
Модуль упругости материала фланца (крышки) при $t=20C$	E^{20}	1.99e+05	МПа
Модуль упругости материала фланца (крышки) при $t=t_{ф1}$	E	1.96e+05	МПа
Коэффициент линейного удлинения материала фланца (крышки)	$\alpha_{ф1}$	1.16e-05	1/С
Прибавка на коррозию	c	4	мм
Наружный диаметр фланца (крышки)	D_n	640	мм

Инов. № подл. 19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата						E-742-751.00.00.000 PP	Лист
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						24

Подпись и дата	Изн. № дубл.	Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	фланца (крышки)				
						Прибавка на коррозию для 2-го фланца	c	4	мм	
						Наружный диаметр 2-го фланца (крышки)	D _н	640	мм	
						Толщина 2-го фланца (фланца сферической неотбортованной крышки, плоской крышки)	h (h")	40	мм	
						Толщина крышки на наружном конце	δ _{кр}	31	мм	
Результаты расчета										
Расчет вспомогательных величин										
-для прокладки и шпилек										
Подпись и дата	Изн. № дубл.	Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Средний диаметр прокладки	D _{ск} = D _{нн} - b _н =	551	мм	
						Эффективная ширина прокладки:	b _о = { b _н - при b _н ≤ 15 мм 3.8√b _н - при b _н > 15 мм }	= 12	мм	
						Податливость прокладки	y _н =	0	мм/Н	
						Расчетная длина шпильки при определении податливости	l _ф = l _{фо} + 0.56d =	91.2	мм	
						Плечо болтового момента	b = 0.5(D _ф - D _{ск}) =	24.5	мм	
- для 1-го фланца (крышки)										
Изн. № подл.	19388.4					E-742-751.00.00.000 PP				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					25	

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} \left[\alpha_{\phi} h (t_{\phi} - 20) + \alpha_{\varphi} h_{\varphi} (t_{\varphi} - 20) - \alpha_{\varepsilon} l_{\varepsilon 0} (t_{\varepsilon} - 20) \right] = -3375$$

H

Болтовая нагрузка в условиях монтажа P_b принимается большей из:

$$P_{\text{61}} = \alpha(Q_{\text{d}} + F) + R_{\text{x}} - Q_{\text{t}} + \left| \frac{4\alpha_{\text{x}}M}{D_{\text{cx}}} \right| = 7.579\text{e}+05 \quad \text{H}$$

$$P_{62} = 0.5\pi D_{ca} b_o q_{o5x} = 7.166\text{e}+05 \quad \text{H}$$

$$P_{\theta_2} = 0.4[\sigma]_{\theta}^{20} n f_{\theta} = 5.796\text{e}+05 \quad \text{H}$$

Приращение нагрузки в болтах (шпильках) в рабочих условиях

$$\Delta P_{\phi} = (1 - \alpha)(Q_{\phi} + F) + Q_t + \frac{4\beta_{\alpha}M}{D_{\alpha}} = -2.168\text{e}+05 \quad \text{H}$$

Расчет болтов (шпилек)

Условие прочности болтов (шпилек) в условиях монтажа

$$\sigma_{\text{с1}} = \frac{P_{\text{с}}}{n_{\text{с}}^f} = 120.3 \text{ МПа} \quad \xi[\sigma]_{\text{с}}^{20} = 230 \text{ МПа}$$

Условие прочности болтов (шпилек) в рабочих условиях

$$\sigma_{\text{с2}} = \frac{P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{с}}}{n f_{\text{с}}} = 85.9 \quad \text{МПа} \quad [\sigma]_{\text{с}} = 230 \text{ МПа}$$

Расчет 1-го фланца на статическую прочность

Угол поворота фланца при затяжке

$$\theta = M_{01} \frac{[1 - \omega(1 - 0.9\lambda)]\psi_2}{E^{20}h^3} = 0.002613$$

где:

$$M_{01} = P_{\phi} b = 1.857\text{e}+07 \quad \text{H MM}$$

Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях

$$\Delta\theta = \Delta M_{01} \frac{[1 - \omega(1 - 0.9\lambda)]\psi_2}{Eh^3} = 0.0003416$$

где:

$$\Delta M_{01} = \Delta P_{\phi} b + (Q_{\phi} + \frac{4M}{D_{\phi}} + F)e = 2.39e+06 \quad \text{H}^*_{\text{MM}}$$

Меридиональное напряжение в обечайке (втулке) при затяжке:

- на наружной поверхности в сечении

$$\sigma_{11} = \sigma_1 = 114 \quad \text{МПа}$$

 S_1

- на внутренней поверхности в сечении S_1

$$\sigma_{12} = -\sigma_1 = \quad -114 \quad \text{МПа}$$

- на наружной поверхности в сечении

$$\sigma_{2,1} = f\sigma_1 = 162.8 \quad \text{МПа}$$

- на внутренней поверхности в сечении S_0

$$\sigma_{22} = -f\sigma_1 = -162.8 \quad \text{МПа}$$

где:

$$\sigma_1 = \frac{T \varphi M_{01}}{D^* (S_1 - C)^2} = \quad 114 \quad \text{МПа}$$

$$D^* = \begin{cases} D \text{ npu} & D \geq 20S_1 \\ D + S_0 \text{ npu} & D < 20S_1 \text{ u f} > 1500 \\ D + S_1 \text{ npu} & D < 20S_1 \text{ u f} = 1 \end{cases} \quad \text{MM}$$

Коэффициент

$$T = 1.804$$

Приращение меридиональных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях:

- на наружной поверхности в сечении S₁ $\Delta\sigma_{11} = \Delta\sigma_M + \Delta\sigma_1 = 29.85$ МПа

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Приращение угла поворота фланца в рабочих условиях	$\Delta \theta = \Delta M_{01} \frac{[1 - \varpi(1 - 0.9\lambda)]\psi_2}{Eh^3} = 0.0003416$	
					где:	$\Delta M_{01} = \Delta P_{\phi} b + (Q_{\phi} + \frac{4M}{D_{\phi}} + F)e = 2.39e+06$	Н*мм
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Меридиональное напряжение в обечайке (втулке) при затяжке:		
					- на наружной поверхности в сечении S ₁	$\sigma_{11} = \sigma_1 =$	114
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	- на внутренней поверхности в сечении S ₁	$\sigma_{12} = -\sigma_1 =$	-114 МПа
					- на наружной поверхности в сечении S ₀	$\sigma_{21} = f\sigma_1 =$	162.8 МПа
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	- на внутренней поверхности в сечении S ₀	$\sigma_{22} = -f\sigma_1 =$	-162.8 МПа
					где:	$\sigma_1 = \frac{T\varpi M_{01}}{D^*(S_1 - C)^2} =$	114 МПа
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата		$D^* = \begin{cases} D \text{ при } D \geq 20S_1 \\ D + S_0 \text{ при } D < 20S_1 \text{ и } f > 1500 \\ D + S_1 \text{ при } D < 20S_1 \text{ и } f = 1 \end{cases}$	мм
					Коэффициент	$T =$	1.804
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Приращение меридиональных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях:		
					- на наружной поверхности в сечении S ₁	$\Delta \sigma_{11} = \Delta \sigma_M + \Delta \sigma_1 =$	29.85 МПа
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата			
Инв. № подл.	Подпись и						

- на внутренней поверхности в сечении S_1 $\Delta\sigma_{12} = \Delta\sigma_M - \Delta\sigma_1 = 0.4944$ МПа

где: $\Delta\sigma_1 = \frac{T\varphi \Delta M_{01}}{D \cdot (S_1 - C)^2} = 14.68$ МПа

$\Delta\sigma_M = \frac{Q_\delta + \frac{4M}{D_\alpha} + F}{\pi D(S_1 - C)} = 15.17$ МПа

- на наружной поверхности в сечении S_0 $\Delta\sigma_{21} = \Delta\sigma_M + f \Delta\sigma_1 = 59.96$ МПа

- на внутренней поверхности в сечении S_0 $\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma_M - f \Delta\sigma_1 = 18.07$ МПа

где: $\Delta\sigma_M = \frac{Q_\delta + \frac{4M}{D_\alpha} + F}{\pi D(S_0 - C)} = 39.01$ МПа

Окружные напряжения в обечайке (втулке) при затяжке:

- на наружной поверхности в сечении S_1 $\sigma_{13} = \frac{E^{20} h \theta}{D} + 0.3 \sigma_1 = 75.82$ МПа

- на внутренней поверхности в сечении S_1 $\sigma_{14} = \frac{E^{20} h \theta}{D} - 0.3 \sigma_1 = 7.398$ МПа

- на наружной поверхности в сечении S_0 $\sigma_{23} = 0.3 f \sigma_1 = 48.83$ МПа

- на внутренней поверхности в сечении S_0 $\sigma_{24} = -0.3 f \sigma_1 = -48.83$ МПа

Приращение окружных напряжений в обечайке (втулке) в рабочих условиях:

- на наружной поверхности в сечении S_1 $\Delta\sigma_{13} = \frac{E h \theta}{D} + \frac{p D}{D_n - D} + 0.3 \Delta\sigma_1 = 16.19$ МПа

- на внутренней поверхности в сечении S_1 $\Delta\sigma_{14} = \frac{E h \theta}{D} + \frac{p D}{D_n - D} - 0.3 \Delta\sigma_1 = 7.381$ МПа

- на наружной поверхности в сечении S_0 $\Delta\sigma_{23} = \frac{p D}{2(S_0 - C)} + 0.3 f \Delta\sigma_1 = 70.57$ МПа

- на внутренней поверхности в сечении S_0 $\Delta\sigma_{24} = \frac{p D}{2(S_0 - C)} - 0.3 f \Delta\sigma_1 = 58$ МПа

Условие статической прочности фланца:

- в сечении S_1 при затяжке $\sigma_{s1} = 117.9$ МПа < $[\sigma]_{s1} = 220.5$ МПа

где: $\sigma_{s1} = \max \left\{ \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{13}}, \sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{14}^2 - \sigma_{12} \cdot \sigma_{14}} \right\}$

- в сечении S_1 в рабочих условиях $\sigma_{s1} = 126.2$ МПа < $[\sigma]_{s1} = 217.5$ МПа

где: $\sigma_{s1} = \max \left\{ \sqrt{(\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11})^2 + (\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})^2 - (\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11})(\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})}, \sqrt{(\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12})^2 + (\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})^2 - (\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12})(\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})} \right\}$

- в сечении S_0 при затяжке $\sigma_{s0} = 144.7$ МПа < $[\sigma]_{s0} = 503.7$ МПа

где: $\sigma_{s0} = \max \left\{ \sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}}, \sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}} \right\}$

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				Лист
				28

- в сечении S_0 в рабочих условиях

$$\sigma_{s0} = 193 \text{ МПа} \quad [\sigma]_{s0} = 494.8 \text{ МПа}$$

$$\text{где: } \sigma_{s0} = \max \left\{ \sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2 - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})(\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})}, \right. \\ \left. \sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2 - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})(\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})} \right\}$$

Требования к жесткости 1-го фланца

$$\text{Угол поворота тарелки фланца} \quad \theta + \Delta\theta = 0.002955 \quad < [\theta] = 0.009$$

Условия прочности и герметичности фланцевого соединения выполняются

Инов. № подл. 19388.4	Подпись и дата		Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div>E-742-751.00.00.000 PP</div> <div>Лист 29</div>

Арматурные фланцы Ду200 Р_у2.5

Расчет на прочность и плотность по ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Фланец приварной в стык.

Спирально-навитая прокладка

Допускаемые напряжения для материалов фланцев принимаются по ГОСТ Р 52857.1.

Исходные данные

Материал фланца	Сталь20ЮЧ		
Материал обечайки	Сталь20ЮЧ		
Материал болтов	35X, Diam = 1-M24		
Материал прокладки	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		
Расчетное давление	P (P ₁)	1.76	МПа
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при температуре 20С	S _a	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при расчетной температуре	S _b	147	МПа
Наружный диаметр прокладки	D _{нп}	260	мм
Ширина прокладки	N	11	мм
Толщина прокладки	h _п	2.5	мм
Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа
Прокладочный коэффициент	m	3	
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	310	мм
Диаметр болта(шпильки)	d	24	мм
Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	f _b	324	мм ²
Количество болтов(шпилек)	n _b	12	
Температура 1-го фланца (крышки)	T _{fl}	50	С
Внутренний диаметр 1-го фланца	D	202	мм
Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	360	мм
Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	t (t _{fl})	27	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке	S ₀	10	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке	S ₁	21.5	мм
Высота конической части 1-й втулки	h	28.75	мм
Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	S _{fa}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	S _{fb}	145	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при температуре 20 С	S _{na}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	S _{nb}	145	МПа

Результаты расчета

Параметры прокладки и крепежа

Инов. № подл.	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата						Лист
19388.4				E-742-751.00.00.000 PP					30
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

$$f = 1.189 \quad L = \frac{(Ft/h_0 + 1)}{T} + \frac{Vt^3}{Uh_0g_o^2} = 1.344$$

Усилия и моменты, действующие на фланец

Гидростатическое усилие внутри фланца	$H_D = 0.785B^2 P = 6.231e+04$	Н
Разница между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$H_T = H - H_D = 2.529e+04$	Н
Усилие на прокладке в рабочих условиях	$H_G = W_{м1} - H = 4.647e+04$	Н
Составляющая момента от гидростатического усилия внутри фланца	$M_D = H_D h_D = 2.57e+06$	Н мм
Составляющая момента от разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$M_T = H_T h_T = 1.018e+06$	Н мм
Составляющая момента от усилия на прокладке в рабочих условиях	$M_G = H_G h_G = 1.417e+06$	Н мм

Суммарный момент, действующий на фланец

- в рабочих условиях:	$M_0 = M_D + M_T + M_G = 5.006e+06$	Н мм
- при затяжке	$M_0 = Wh_G = 1.324e+07$	Н мм

Приведенный внутренний диаметр фланца при определении продольных напряжений во втулке

$$B_1 = \begin{cases} B & \text{при } B \geq 20S_1 \\ B + g_0 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f > 1 \\ B + g_1 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f = 1 \end{cases} = 216 \text{ мм}$$

Напряжения в расчетных сечениях фланца

- в рабочих условиях:

Продольное напряжение во втулке фланца	$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 66.93$	МПа <	$1.5S_{\text{ф}} = 217.5$	МПа
Радиальное напряжение во фланце	$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} = 42.34$	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Окружное напряжение во фланце	$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R = 37.44$	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Полусумма продольного и радиального напряжений во фланце	$\frac{S_H + S_R}{2} = 54.64$	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Полусумма продольного и окружного напряжений во фланце	$\frac{S_H + S_T}{2} = 52.19$	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа

- при затяжке:

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата					
19388.4									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
					E-742-751.00.00.000 PP				
					Лист 32				

Продольное
напряжение
во втулке
фланца

$$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 177.1$$

МПа <

$$1.5S_{fa} = 220.5$$

МПа

Радиальное
напряжение
во фланце

$$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} = 112$$

МПа <

$$S_{fa} = 147$$

МПа

Окружное
напряжение
во фланце

$$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R = 99.06$$

МПа <

$$S_{fa} = 147$$

МПа

Полусумма
продольного
и радиаль-
ного напря-
жений во
фланце

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 144.5$$

МПа <

$$S_{fa} = 147$$

МПа

Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 138.1$$

МПа <

$$S_{fa} = 147$$

МПа

Условия прочности и герметичности фланцевого соединения выполняются

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				
				Лист
				33

Арматурные фланцы Ду150 Ру2.5

Расчет на прочность и плотность по ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Фланцевое соединение двух одинаковых фланцев.

Спирально-навитая прокладка

Допускаемые напряжения для материалов фланцев принимаются по ГОСТ Р 52857.1.

Специальный расчет с учетом внешней силы и изгибающего момента. с учетом дополнительной температурной нагрузки, внешней силы и изгибающего момента

Исходные данные

Материал фланца	Сталь20ЮЧ		
Материал обечайки	Сталь20ЮЧ		
Материал болтов	35X, Diam = 1-M24		
Материал прокладки	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		
Расчетное давление	P (P _l)	1.76	МПа
Внешний изгибающий момент, действующий на фланец	M	3.394e+06Н мм	
Внешняя осевая сила, действующая на фланец	F	4800	Н
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при температуре 20С	S _a	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при расчетной температуре	S _b	147	МПа
Наружный диаметр прокладки	D _{нп}	204	мм
Ширина прокладки	N	11	мм
Толщина прокладки	h _п	2.5	мм
Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа
Прокладочный коэффициент	m	3	
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	250	мм
Диаметр болта(шпильки)	d	24	мм
Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	f _b	324	мм ²
Количество болтов(шпилек)	n _b	8	
Температура 1-го фланца (крышки)	T _{fl}	50	С
Внутренний диаметр 1-го фланца	D	146	мм
Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	300	мм
Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	t (t _{fl})	25	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке	S ₀	7.5	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке	S ₁	20	мм
Высота конической части 1-й втулки	h	31.25	мм
Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	S _{fa}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	S _{fb}	145	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при температуре 20 С	S _{na}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	S _{nb}	145	МПа

Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Толщина прокладки	$\delta_{\text{п}}$	2.5	мм		
						Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа		
						Прокладочный коэффициент	m	3			
						Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	250	мм		
						Диаметр болта(шпильки)	d	24	мм		
						Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	f_b	324	мм ²		
						Количество болтов(шпилек)	n_b	8			
						Температура 1-го фланца (крышки)	$T_{\text{фл}}$	50	С		
						Внутренний диаметр 1-го фланца	D	146	мм		
						Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	300	мм		
						Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	$t (t_{\text{фл}})$	25	мм		
						Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке	S_0	7.5	мм		
						Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке	S_1	20	мм		
						Высота конической части 1-й втулки	h	31.25	мм		
						Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм		
						Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	$S_{\text{фа}}$	147	МПа		
						Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	$S_{\text{фб}}$	145	МПа		
						Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при температуре 20 С	$S_{\text{на}}$	147	МПа		
						Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	$S_{\text{нб}}$	145	МПа		
						E-742-751.00.00.000 PP					
Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
											34

Результаты расчета

Параметры прокладки и крепежа

Эффективная ширина прокладки:	$b = \begin{cases} N/2 & \text{при } N \leq 12.7 \text{ мм} \\ 1.782\sqrt{N} & \text{при } N > 12.7 \text{ мм} \end{cases} = 5.5$	мм
Средний диаметр прокладки	$G = D_{\text{нн}} - 2b =$	193 мм
Расчетная площадь поперечного сечения болтов (шпилек)	$A_b = n_b f_b =$	2592 мм ²
Расстояние от места приложения силы реакции прокладки до болтовой окружности	$h_G = \frac{C - G}{2} =$	28.5 мм

Определение усилий в болтах (шпильках) и проверка их прочности

Дополнительное расчетное усилие на болты (шпильки) фланцевого соединения, вызванное воздействием внешней осевой силы и изгибающего момента	$Q_{\text{ГМ}} = \text{Max} \left\{ F + \frac{4 M }{G}; 0 \right\} = 7.514\text{e}+04$	Н
Минимальное усилие, необходимое для смятия прокладки	$W_{\text{м2}} = \pi b G q =$	2.301e+05 Н
Общее гидростатическое усилие, действующее на фланец	$H = 0.785 G^2 P =$	5.263e+04 Н
Общая сжимающая нагрузка на контактную поверхность соединения	$H_p = 2b \pi G m P =$	3.602e+04 Н
Нагрузка на болты (шпильки) в рабочих условиях	$W_{\text{м1}} = H + H_p + Q_{\text{ГМ}} =$	1.638e+05 Н
Минимальная необходимая площадь сечения болтов (шпилек)	$A_{\text{м}} = \text{Max} \left\{ \frac{W_{\text{м1}}}{S_b}, \frac{W_{\text{м2}}}{S_a} \right\} = 1565$	мм ² < $A_b = 2592$ мм ²
Расчетное усилие в болтах (шпильках) при затяжке	$W = \frac{A_{\text{м}} + A_b}{2} S_a = 3.056\text{e}+05$	Н

Расчет на прочность фланца

Расчетный внутренний диаметр фланца после снятия прибавки на коррозию	$B = D + 2c =$	154 мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке, после снятия прибавки на коррозию	$g_0 = S_0 - c =$	3.5 мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке, после снятия прибавки на коррозию	$g_1 = S_1 - c =$	16 мм
Плечи действия сил:		
Расстояние от окружности расположения болтов до точки пересечения втулки и основания фланца	$R = \frac{(C - B)}{2} - g_1 =$	32 мм
Плечо действия гидростатического усилия внутри фланца	$h_D = R + \frac{g_1}{2} =$	40 мм
Плечо действия разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри	$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} =$	38.25 мм

Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	Нагрузка на болты (шпильки) в рабочих условиях	$W_{м1} = H + H_p + Q_{FM} = 1.638e+05$	H	
						Минимальная необходимая площадь сечения болтов (шпилек)	$A_{м} = Max\left\{\frac{W_{м1}}{S_{\phi}}; \frac{W_{м2}}{S_a}\right\} = 1565$	мм ² <	$A_{\phi} = 2592$
Расчетное усилие в болтах (шпильках) при затяжке							$W = \frac{A_{м} + A_{\phi}}{2} S_a = 3.056e+05$	H	
<u>Расчет на прочность фланца</u>									
Расчетный внутренний диаметр фланца после снятия прибавки на коррозию							$B = D + 2c = 154$	мм	
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке, после иснятия прибавки на коррозию							$g_0 = S_0 - c = 3.5$	мм	
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке, после снятия прибавки на коррозию							$g_1 = S_1 - c = 16$	мм	
Плечи действия сил:									
Расстояние от окружности расположения болтов до точки пересечения втулки и основания фланца							$R = \frac{(C - B)}{2} - g_1 = 32$	мм	
Плечо действия гидростатического усилия внутри фланца							$h_D = R + \frac{g_1}{2} = 40$	мм	
Плечо действия разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри							$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = 38.25$	мм	
Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	E-742-751.00.00.000 PP			Лист
									35
Изн.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

фланца

Коэффициенты

$K = \frac{A}{B} =$	1.948	$h_0 = \sqrt{Bg_0} =$	23.22	MM
$Y =$	3.076	$T =$	1.526	
$U =$	3.38	$Z =$	1.716	
$F =$	0.591	$V =$	0.03246	
$f =$	1	$L = \frac{(Ft/h_0 + 1)}{T} + \frac{Vt^3}{Uh_0g_0^2} =$	1.6	

Усилия и моменты, действующие на фланец

Гидростатическое усилие внутри фланца	$H_D = 0.785B^2 P = 3.351\text{e}+04$	Н
Разница между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$H_T = H - H_D = 1.912\text{e}+04$	Н
Усилие на прокладке в рабочих условиях	$H_G = W_{\text{м1}} - H = 1.112\text{e}+05$	Н
Составляющая момента от гидростатического усилия внутри фланца	$M_D = H_D h_D = 1.34\text{e}+06$	Н мм
Составляющая момента от разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$M_T = H_T h_T = 7.314\text{e}+05$	Н мм
Составляющая момента от усилия на прокладке в рабочих условиях	$M_G = H_G h_G = 3.168\text{e}+06$	Н мм

Суммарный момент, действующий на фланец

- в рабочих условиях:	$M_0 = M_D + M_T + M_G =$	5.24e+06	Н мм
- при затяжке	$M_0 = Wh_G =$	8.709e+06	Н мм
Приведенный внутренний диаметр фланца при определении продольных напряжений во втулке	$B_1 = \begin{cases} B & \text{при } B \geq 20S_1 \\ B + g_0 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f > 1 \\ B + g_1 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f = 1 \end{cases}$	= 170	мм

Напряжения в расчетных сечениях фланца
- в рабочих условиях:

Продольное напряжение во втулке фланца	$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} =$	75.26	МПа <	$1.5S_{\text{ф}} = 217.5$	МПа
Радиальное напряжение во фланце	$S_R = \frac{(1.33tF / h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} =$	62.83	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Окружное напряжение во фланце	$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R =$	59.68	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Полусумма продольного и радиаль- ного напря- жений во	$\frac{S_H + S_R}{2} =$	69.05	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа

фланце
Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 67.47 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 145 \quad \text{МПа}$$

- при затяжке:

Продольное
напряжение
во втулке
фланца

$$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 125.1 \quad \text{МПа} < \quad 1.5S_{f\phi} = 220.5 \quad \text{МПа}$$

Радиальное
напряжение
во фланце

$$S_R = \frac{(1.33tF / h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} = 104.4 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Окружное
напряжение
во фланце

$$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R = 99.18 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Полусумма
продольного
и радиаль-
ного напря-
жений во
фланце

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 114.8 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 112.1 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Условия прочности и герметичности фланцевого соединения выполняются

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				
Лист				
37				

Арматурные фланцы Ду100 Ру2,5

Расчет на прочность и плотность по ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Фланцевое соединение двух одинаковых фланцев.

Спирально-навитая прокладка

Допускаемые напряжения для материалов фланцев принимаются по ГОСТ Р 52857.1.

Специальный расчет с учетом внешней силы и изгибающего момента, с учетом дополнительной температурной нагрузки, внешней силы и изгибающего момента

Исходные данные

Материал фланца	Сталь20ЮЧ		
Материал обечайки	Сталь20ЮЧ		
Материал болтов	35X, Diam = 1-M20		
Материал прокладки	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		
Расчетное давление	P (P ₁)	1.76	МПа
Внешний изгибающий момент, действующий на фланец	M	1.556e+06Н мм	
Внешняя осевая сила, действующая на фланец	F	3200	Н
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при температуре 20С	S _a	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при расчетной температуре	S _b	147	МПа
Наружный диаметр прокладки	D _{нп}	150	мм
Ширина прокладки	N	11	мм
Толщина прокладки	h _п	2.5	мм
Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа
Прокладочный коэффициент	m	3	
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	190	мм
Диаметр болта(шпильки)	d	20	мм
Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	f _b	225	мм ²
Количество болтов(шпилек)	n _b	8	
Температура 1-го фланца (крышки)	T _{fl}	50	С
Внутренний диаметр 1-го фланца	D	96	мм
Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	230	мм
Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	t (t _{fl})	21	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке	S ₀	7	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке	S ₁	18	мм
Высота конической части 1-й втулки	h	27.5	мм
Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	S _{fa}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	S _{fb}	145	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при температуре 20 С	S _{na}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	S _{nb}	145	МПа

Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Толщина прокладки	$\delta_{\text{п}}$	2,5	мм		
						Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа		
						Прокладочный коэффициент	m	3			
						Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	190	мм		
						Диаметр болта(шпильки)	d	20	мм		
						Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	$f_{\text{б}}$	225	мм ²		
						Количество болтов(шпилек)	$n_{\text{б}}$	8			
						Температура 1-го фланца (крышки)	$T_{\text{фл}}$	50	С		
						Внутренний диаметр 1-го фланца	D	96	мм		
						Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	230	мм		
						Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	t ($t_{\text{фл}}$)	21	мм		
						Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке	S_0	7	мм		
						Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке	S_1	18	мм		
						Высота конической части 1-й втулки	h	27.5	мм		
						Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм		
						Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	$S_{\text{фа}}$	147	МПа		
						Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	$S_{\text{фб}}$	145	МПа		
						Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при температуре 20 С	$S_{\text{на}}$	147	МПа		
						Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	$S_{\text{нб}}$	145	МПа		
						E-742-751.00.00.000 PP					
Изн. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подпись и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
											38

Результаты расчета

Параметры прокладки и крепежа

$$\text{Эффективная ширина прокладки: } b = \begin{cases} N/2 & \text{— при } N \leq 12.7 \text{ мм} \\ 1.782\sqrt{N} & \text{— при } N > 12.7 \text{ мм} \end{cases} = 5.5 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки	$G = D_{\text{нн}} - 2b =$	139	мм
---------------------------	----------------------------	-----	----

Расчетная площадь поперечного сечения болтов (шпилек)	$A_b = n_b f_b =$	1800	мм ²
---	-------------------	------	-----------------

Расстояние от места приложения силы реакции прокладки до болто- вой окружности	$h_G = \frac{C - G}{2} =$	25.5	мм
--	---------------------------	------	----

Определение усилий в болтах (шпильках) и проверка их прочности

Дополнительное расчетное усилие на болты (шпильки) фланцевого соединения, вызванное воздействием внешней осевой силы и изгибающего момента

$$Q_{FM} = \text{Max} \left\{ F + \frac{4|M|}{G}; 0 \right\} = 4.798\text{e}+04 \quad \text{H}$$

Минимальное усилие, необходимое для смятия прокладки	$W_{m2} = \pi b G q =$	1.657e+05	Н
--	------------------------	-----------	---

Общее гидростатическое усилие, действующее на фланец	$H = 0.785 G^2 P =$	2.73e+04	Н
--	-----------------------	----------	---

Общая сжимающая нагрузка на контактную поверхность соединения	$H_p = 2b\pi GmP =$	2.594e+04	Н
---	---------------------	-----------	---

Нагрузка на болты (шпильки) в рабочих условиях	$W_{m1} = H + H_p + Q_{FM} =$	1.012e+05	Н
--	-------------------------------	-----------	---

Минимальная
необходимая
площадь се-
чения болтов
(шпилек)

$$A_m = \text{Max} \left\{ \frac{W_{m1}}{S_{\phi}}, \frac{W_{m2}}{S_a} \right\} = 1127 \quad \text{мм}^2 < \quad A_{\phi} = 1800 \quad \text{мм}^2$$

Расчетное усилие в болтах (шпильках) при затяжке $W = \frac{A_m + A_b}{2} S_z = 2.152e+05$ Н

Расчет на прочность фланца

Расчетный внутренний диаметр фланца после снятия прибавки на коррозию $B = D + 2c = 104$ мм

Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке, после снятия прибавки на коррозию $g_0 = S_0 - c = 3$ мм

Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке, после снятия прибавки на коррозию	$g_1 = S_1 - c =$	14	мм
---	-------------------	----	----

Плечи действия сил:

Расстояние от окружности расположения болтов до точки пересечения втулки и основания фланца

$$R = \frac{(C - B)}{2} - g_1 = 29 \text{ мм}$$

Плечо действия гидростатического усилия внутри фланца	$h_D = R + \frac{g_1}{2} =$	36	мм
---	-----------------------------	----	----

Плечо действия разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри $h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = 34.25$ мм

фланца

Коэффициенты

$K = \frac{A}{B} =$	2.212	$h_0 = \sqrt{Bg_0} =$	17.66	MM
$Y =$	2.596	$T =$	1.431	
$U =$	2.853	$Z =$	1.514	
$F =$	0.5589	$V =$	0.02684	
$f =$	1	$L = \frac{(Ft/h_0 + 1)}{T} + \frac{Vt^3}{Uh_0g_0^2} =$	1.711	

Усилия и моменты, действующие на фланец

Гидростатическое усилие внутри фланца	$H_D = 0.785B^2 P = 1.528\text{e}+04$	Н
Разница между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$H_T = H - H_D = 1.202\text{e}+04$	Н
Усилие на прокладке в рабочих условиях	$H_G = W_{\text{м1}} - H = 7.391\text{e}+04$	Н
Составляющая момента от гидростатического усилия внутри фланца	$M_D = H_D h_D = 5.502\text{e}+05$	Н мм
Составляющая момента от разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$M_T = H_T h_T = 4.116\text{e}+05$	Н мм
Составляющая момента от усилия на прокладке в рабочих условиях	$M_G = H_G h_G = 1.885\text{e}+06$	Н мм

Суммарный момент, действующий на фланец

- в рабочих условиях:	$M_0 = M_D + M_T + M_G =$	2.847e+06	Н мм
- при затяжке	$M_0 = Wh_G =$	5.487e+06	Н мм
Приведенный внутренний диаметр фланца при определении продоль- ных напряжений во втулке	$B_1 = \left\{ \begin{array}{l} B \text{ при } B \geq 20S_1 \\ B + g_0 \text{ при } B < 20g_1 \text{ и } f > 1 \\ B + g_1 \text{ при } B < 20g_1 \text{ и } f = 1 \end{array} \right\} =$	118	мм

Напряжения в расчетных сечениях фланца
- в рабочих условиях:

Продольное напряжение во втулке фланца	$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} =$	71.94	МПа <	$1.5S_{\text{ф}} = 217.5$	МПа
Радиальное напряжение во фланце	$S_R = \frac{(1.33tF / h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} =$	68.33	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Окружное напряжение во фланце	$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R =$	57.69	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа
Полусумма продольного и радиаль- ного напря- жений во	$\frac{S_H + S_R}{2} =$	70.13	МПа <	$S_{\text{ф}} = 145$	МПа

фланце
Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 64.81 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 145 \quad \text{МПа}$$

- при затяжке:

Продольное
напряжение
во втулке
фланца

$$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 138.6 \quad \text{МПа} < \quad 1.5S_{f\phi} = 220.5 \quad \text{МПа}$$

Радиальное
напряжение
во фланце

$$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} = 131.7 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Окружное
напряжение
во фланце

$$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R = 111.2 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Полусумма
продольного
и радиаль-
ного напря-
жений во
фланце

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 135.2 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 124.9 \quad \text{МПа} < \quad S_{f\phi} = 147 \quad \text{МПа}$$

Условия прочности и герметичности фланцевого соединения выполняются

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				Лист
				41

Арматурные фланцы Ду50 Ру4,0

Расчет на прочность и плотность по ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Фланцевое соединение двух отличающихся друг от друга фланцев.

Спирально-навитая прокладка

Допускаемые напряжения для материалов фланцев принимаются по ГОСТ Р 52857.1.

Специальный расчет с учетом внешней силы и изгибающего момента, с учетом дополнительной температурной нагрузки, внешней силы и изгибающего момента

Исходные данные

Материал фланца	Сталь20ЮЧ		
Материал обечайки	Сталь20ЮЧ		
Материал 2-го фланца	Сталь20ЮЧ		
Материал 2-й обечайки	Сталь20ЮЧ		
Материал болтов	35X, Diam = 1-M16		
Материал прокладки	Спирально-навитая с лентой из нержавеющей стали		
Расчетное давление	P (P _l)	1.76	МПа
Внешний изгибающий момент, действующий на фланец	M	2.828e+05Н мм	
Внешняя осевая сила, действующая на фланец	F	1200	Н
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при температуре 20С	S _a	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала болтов (шпилек) при расчетной температуре	S _b	147	МПа
Наружный диаметр прокладки	D _{нп}	88	мм
Ширина прокладки	N	8	мм
Толщина прокладки	h _п	2.5	мм
Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа
Прокладочный коэффициент	m	3	
Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	125	мм
Диаметр болта(шпильки)	d	16	мм
Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	f _b	144	мм ²
Количество болтов(шпилек)	n _b	4	
Температура 1-го фланца (крышки)	T _{fl}	50	С
Внутренний диаметр 1-го фланца	D	48	мм
Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	160	мм
Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	t (t _{fl})	17	мм
Толщина стенки 1-й обечайки	S	14	мм
Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	S _{fa}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	S _{fb}	145	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при температуре 20 С	S _{na}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	S _{nb}	145	МПа
Внутренний диаметр 2-го фланца	D	48	мм
Наружный диаметр 2-го фланца (крышки)	A	160	мм
Толщина тарелки 2-го фланца (крышки)	t (t _{f2})	17	мм

Подпись и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Инв. № подл.	19388.4	Наружный диаметр прокладки	$D_{\text{нп}}$	53	мм	
						Ширина прокладки	N	8	мм	
						Толщина прокладки	$h_{\text{п}}$	2.5	мм	
						Минимальное удельное давление смятия прокладки	q	69	МПа	
						Прокладочный коэффициент	m	3		
						Диаметр окружности расположения болтов (шпилек)	C	125	мм	
						Диаметр болта(шпильки)	d	16	мм	
						Площадь сечения болта(шпильки) по наименьшему диаметру	$f_{\text{б}}$	144	мм ²	
						Количество болтов(шпилек)	$n_{\text{б}}$	4		
						Температура 1-го фланца (крышки)	$T_{\text{ф1}}$	50	С	
						Внутренний диаметр 1-го фланца	D	48	мм	
						Наружный диаметр 1-го фланца (крышки)	A	160	мм	
						Толщина тарелки 1-го фланца (крышки)	t ($t_{\text{ф1}}$)	17	мм	
						Толщина стенки 1-й обечайки	S	14	мм	
						Прибавка на коррозию для 1-го фланца (крышки)	c	4	мм	
						Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при температуре 20 С	$S_{\text{фа}}$	147	МПа	
						Допускаемое напряжение для материала 1-го фланца при расчетной температуре	$S_{\text{фб}}$	145	МПа	
						Подпись и дата	Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата
Допускаемое напряжение для материала 1-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	$S_{\text{нб}}$	145	МПа							
Внутренний диаметр 2-го фланца	D	48	мм							
Наружный диаметр 2-го фланца (крышки)	A	160	мм							
Подпись и дата	Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	19388.4	Толщина тарелки 2-го фланца (крышки)	t ($t_{\text{ф2}}$)	17	мм	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Е-742-751.00.00.000 РР					Лист
										42

Толщина втулки 2-го фланца в месте присоединения к обечайке	S_0	5	мм
Толщина втулки 2-го фланца в месте присоединения к тарелке	S_1	14	мм
Высота конической части 2-й втулки	h	22.5	мм
Прибавка на коррозию для 2-го фланца (крышки)	c	4	мм
Допускаемое напряжение для материала 2-го фланца при температуре 20 С	S_{fa}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 2-го фланца при расчетной температуре	S_{fb}	145	МПа
Допускаемое напряжение для материала 2-й обечайки при температуре 20 С	S_{na}	147	МПа
Допускаемое напряжение для материала 2-й обечайки (трубы) при расчетной температуре	S_{nb}	145	МПа

Результаты расчета

Параметры прокладки и крепежа

Эффективная ширина прокладки:	$b = \begin{cases} N/2 & \text{— при } N \leq 12.7 \text{ мм} \\ 1.782\sqrt{N} & \text{— при } N > 12.7 \text{ мм} \end{cases} = 4$	мм
Средний диаметр прокладки	$G = D_{\text{н}} - 2b =$	80 мм
Расчетная площадь поперечного сечения болтов (шпилек)	$A_b = n_b f_b =$	576 мм ²
Расстояние от места приложения силы реакции прокладки до болтовой окружности	$h_G = \frac{C - G}{2} =$	22.5 мм

Определение усилий в болтах (шпильках) и проверка их прочности

Дополнительное расчетное усилие на болты (шпильки) фланцевого соединения, вызванное воздействием внешней осевой силы и изгибающего момента	$Q_{FM} = \text{Max} \left\{ F + \frac{4 M }{G}; 0 \right\} = 1.534\text{e}+04$	Н
Минимальное усилие, необходимое для смятия прокладки	$W_{\text{ж}2} = \pi b G q =$	6.937e+04 Н
Общее гидростатическое усилие, действующее на фланец	$H = 0.785 G^2 P =$	9043 Н
Общая сжимающая нагрузка на контактную поверхность соединения	$H_p = 2b \pi G m P =$	1.086e+04 Н
Нагрузка на болты (шпильки) в рабочих условиях	$W_{\text{ж}1} = H + H_p + Q_{FM} =$	3.524e+04 Н
Минимальная необходимая площадь сечения болтов (шпилек)	$A_{\text{ж}} = \text{Max} \left\{ \frac{W_{\text{ж}1}}{S_b}; \frac{W_{\text{ж}2}}{S_a} \right\} = 471.9$	мм ² < $A_b = 576$ мм ²
Расчетное усилие в болтах (шпильках) при затяжке	$W = \frac{A_{\text{ж}} + A_b}{2} S_a = 7.44\text{e}+04$	Н

Инов. № подл.	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подпись и дата	Подпись и дата	Инов. № подл.	19388.4
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP	
						Лист 43

Расчет на прочность 1-го фланца ($H=H_1, H_p=H_{p1}$)

Расчетный внутренний диаметр фланца после снятия прибавки на коррозию	$B = D + 2c =$	56	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к обечайке, после снятия прибавки на коррозию	$g_0 = S_0 - c =$	10	мм
Толщина втулки 1-го фланца в месте присоединения к тарелке, после снятия прибавки на коррозию	$g_1 = S_1 - c =$	10	мм

Плечи действия сил:

Расстояние от окружности расположения болтов до точки пересечения втулки и основания фланца	$R = \frac{(C - B)}{2} - g_1 =$	24.5	мм
Плечо действия гидростатического усилия внутри фланца	$h_D = R + \frac{g_1}{2} =$	29.5	мм
Плечо действия разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} =$	28.5	мм

Коэффициенты

$K = \frac{A}{B} =$	2.857	$h_0 = \sqrt{Bg_0} =$	23.66	мм
$Y =$	1.959	$T =$	1.241	
$U =$	2.153	$Z =$	1.279	
$F =$	0.9089	$V =$	0.5501	
$f =$	1	$L = \frac{(Ft/h_0 + 1)}{T} + \frac{Vt^3}{Uh_0g_0^2} =$	1.863	

Усилия и моменты, действующие на фланец

Гидростатическое усилие внутри фланца	$H_D = 0.785B^2 P =$	4431	Н
Разница между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$H_T = H - H_D =$	4612	Н
Усилие на прокладке в рабочих условиях	$H_G = W_{м1} - H =$	2.62e+04	Н
Составляющая момента от гидростатического усилия внутри фланца	$M_D = H_D h_D =$	1.307e+05	Н мм
Составляющая момента от разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$M_T = H_T h_T =$	1.314e+05	Н мм
Составляющая момента от усилия на прокладке в рабочих условиях	$M_G = H_G h_G =$	5.894e+05	Н мм

Суммарный момент, действующий на фланец

- в рабочих условиях:	$M_0 = M_D + M_T + M_G =$	8.516e+05	Н мм
- при затяжке	$M_0 = Wh_G =$	1.674e+06	Н мм

Приведенный внутренний диаметр фланца при определении продольных напряжений во втулке	$B_1 = \begin{cases} B & \text{при } B \geq 20S_1 \\ B + g_0 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f > 1 \\ B + g_1 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f = 1 \end{cases} =$	66	мм
---	--	----	----

Напряжения в расчетных сечениях фланца

- в рабочих условиях:

Инов. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
E-742-751.00.00.000 PP					Лист
					44

Продольное
напряжение
во втулке
фланца

$$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 69.27$$

МПа <

$$1.5S_{\text{ф}} = 217.5$$

МПа

Радиальное
напряжение
во фланце

$$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} = 52.78$$

МПа <

$$S_{\text{ф}} = 145$$

МПа

Окружное
напряжение
во фланце

$$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R = 35.58$$

МПа <

$$S_{\text{ф}} = 145$$

МПа

Полусумма
продольного
и радиаль-
ного напря-
жений во
фланце

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 61.03$$

МПа <

$$S_{\text{ф}} = 145$$

МПа

Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 52.43$$

МПа <

$$S_{\text{ф}} = 145$$

МПа

- при затяжке:

Продольное
напряжение
во втулке
фланца

$$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 136.2$$

МПа <

$$1.5S_{\text{ф2}} = 220.5$$

МПа

Радиальное
напряжение
во фланце

$$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2 B} = 103.8$$

МПа <

$$S_{\text{ф2}} = 147$$

МПа

Окружное
напряжение
во фланце

$$S_T = \frac{YM_0}{t^2 B} - ZS_R = 69.94$$

МПа <

$$S_{\text{ф2}} = 147$$

МПа

Полусумма
продольного
и радиаль-
ного напря-
жений во
фланце

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 120$$

МПа <

$$S_{\text{ф2}} = 147$$

МПа

Полусумма
продольного
и окружного
напряжений
во фланце

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 103.1$$

МПа <

$$S_{\text{ф2}} = 147$$

МПа

Расчет на прочность 2-го фланца (H=H₂, H_p=H_{p2})

Расчетный внутренний диаметр фланца после снятия
прибавки на коррозию

$$B = D + 2c = 66$$

мм

Толщина втулки 2-го фланца в месте присоединения к
обечайке, после снятия прибавки на коррозию

$$g_0 = S_0 - c = 1$$

мм

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				Лист
				45

$$g_1 = S_1 - c = 10 \quad \text{MM}$$
$$R = \frac{(C - B)}{2} - g_1 = 24.5 \quad \text{MM}$$
$$h_D = R + \frac{g_1}{2} = 29.5 \quad \text{MM}$$
$$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = 28.5 \quad \text{MM}$$

- Коэффициенты

$$K = \frac{A}{B} = 2.857 \qquad h_0 = \sqrt{Bg_0} = 7.483 \quad \text{MM}$$

$$Y = 1.959 \qquad T = 1.241$$

$$U = 2.153 \qquad Z = 1.279$$

$$F = 0.3598 \quad V = 0.003385$$

$$f = 1 + \frac{L}{T} = \frac{(H/n_0 + 1)}{T} + \frac{\sqrt{t}}{Un_0g_s^2} = \quad 2.497$$

Усилия и моменты, действующие на фланец

Гидростатическое усилие внутри фланца	$H_D = 0.785 B^2 P = 4431$	Н
---------------------------------------	------------------------------	---

Разница между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$H_T = H - H_D = 4612$	Н
---	------------------------	---

Усилие на прокладке в рабочих условиях $H_G = W_{\text{м1}} - H = 2.62\text{e}+04$ Н

Составляющая момента от гидростатического усилия
внутри фланца $M_D = H_D h_D = 1.307\text{e}+05$ Н мм

Составляющая момента от разницы между общим гидростатическим усилием и гидростатическим усилием внутри фланца	$M_T = H_T h_T =$	1.314e+05	Н мм
---	-------------------	-----------	------

Составляющая момента от усилия на прокладке в рабочих условиях $M_G = H_G h_G = 5.894\text{e}+05$ Н мм

Суммарный момент, действующий на фланец

- в рабочих условиях: $M_0 = M_D + M_T + M_G = 8.516e+05$ Н мм

- при затяжке $M_0 = W h_G = 1.674 \text{e}+06 \text{ Н мм}$

$$B_1 = \begin{cases} B & \text{при } B \geq 20S_1 \\ B + g_0 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f > 1 \\ B + g_1 & \text{при } B < 20g_1 \text{ и } f = 1 \end{cases} = 56 \text{ мм}$$

Напряжения в расчетных сечениях фланца

- в рабочих условиях:

Продольное
напряжение
во втулке
фланца

$$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2 B_1} = 51.68 \quad \text{МПа} < 1.5S_{\text{ж}} = 217.5 \quad \text{МПа}$$

Радиальное напряжение во фланце	$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2B} = 43.99$	МПа <	$S_{fp} = 145$	МПа
Окружное напряжение во фланце	$S_T = \frac{YM_0}{t^2B} - ZS_R = 46.83$	МПа <	$S_{fp} = 145$	МПа
Полусумма продольного и радиаль- ного напря- жений во фланце	$\frac{S_H + S_R}{2} = 47.83$	МПа <	$S_{fp} = 145$	МПа
Полусумма продольного и окружного напряжений во фланце	$\frac{S_H + S_T}{2} = 49.26$	МПа <	$S_{fp} = 145$	МПа

- при затяжке:

Продольное напряжение во втулке фланца	$S_H = \frac{fM_0}{Lg_1^2B_1} = 101.6$	МПа <	$1.5S_{fa} = 220.5$	МПа
Радиальное напряжение во фланце	$S_R = \frac{(1.33tF/h_0 + 1)M_0}{Lt^2B} = 86.46$	МПа <	$S_{fa} = 147$	МПа
Окружное напряжение во фланце	$S_T = \frac{YM_0}{t^2B} - ZS_R = 92.06$	МПа <	$S_{fa} = 147$	МПа
Полусумма продольного и радиаль- ного напря- жений во фланце	$\frac{S_H + S_R}{2} = 94.02$	МПа <	$S_{fa} = 147$	МПа
Полусумма продольного и окружного напряжений во фланце	$\frac{S_H + S_T}{2} = 96.82$	МПа <	$S_{fa} = 147$	МПа

Условия прочности и герметичности фланцевого соединения выполняются

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата
19388.4				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
E-742-751.00.00.000 PP				
Лист				
47				

Расчет на прочность цилиндрических обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер по ГОСТ Р 52857.3

Штуцера «Б» Ду150 в корпусе.

Исходные данные			
Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Расчетный диаметр корпуса	D	мм	3000
Толщина стенки корпуса	s	мм	26
Толщина стенки штуцера	s1	мм	16
Прибавка к толщине стенки	c	мм	4,9
Толщина накладного кольца	s2	мм	20
Ширина накладного кольца	L	мм	100
Внутренний диаметр штуцера	d	мм	148
Допускаемое напряжение для материала корпуса	σ	МПа	145
Допускаемое напряжение для материала штуцера	σ	МПа	145
Расчетное давление	P_p	МПа	1,76
Допускаемое давление для узла врезки штуцера по ГОСТ 24755	P	МПа	2,02
Вертикальный вылет штуцера	h1	мм	-
Горизонтальный вылет штуцера	h2	мм	-
Момент изгибающий	Mx	Н*мм	$2400 \cdot 10^3$
Момент изгибающий	My	Н*мм	$2400 \cdot 10^3$
Момент крутящий	Mz	Н*мм	$3400 \cdot 10^3$
Осевая нагрузка	Fz	Н	4800
Поперечная сила	Fy	Н	3400
Поперечная сила	Fx	Н	3400

Результаты расчета			
Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Допускаемое осевое усилие	Fz	Н	$1,321 \cdot 10^5$
Допускаемы изгибающий момент	Mx	Н*мм	$3,015 \cdot 10^7$
Допускаемы изгибающий момент	My	Н*мм	$5,205 \cdot 10^7$
Условие прочности для расчетного давления	-	-	$0,871 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности для осевой нагрузки	-	-	$0,051 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности для изгибающих моментов	-	-	$0,092 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности при совместном действии нагрузок	-	-	$0,947 \leq 1,0$ выполняется

Инв. № подл. 19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата	<div> <div>Изм.</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div>	<div> <div>E-742-751.00.00.000 PP</div> <div>Лист</div> <div>48</div> </div>

Расчет на прочность цилиндрических обечаек и днищ при внешних статических нагрузках
на штуцер по ГОСТ Р 52857.3
Штуцера «А,Г,Д,» Ду100 в корпусе.

Исходные данные			
Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Расчетный диаметр корпуса	D	мм	3000
Толщина стенки корпуса	s	мм	26
Толщина стенки штуцера	s1	мм	16
Прибавка к толщине стенки	c	мм	4,9
Толщина накладного кольца	s2	мм	20
Ширина накладного кольца	L	мм	80
Внутренний диаметр штуцера	d	мм	95
Допускаемое напряжение для материала корпуса	σ	МПа	145
Допускаемое напряжение для материала штуцера	σ	МПа	145
Расчетное давление	P_p	МПа	1,76
Допускаемое давление для узла врезки штуцера по ГОСТ 24755	P	МПа	2,02
Вертикальный вылет штуцера	h1	мм	-
Горизонтальный вылет штуцера	h2	мм	-
Момент изгибающий	Mx	Н*мм	$1100 \cdot 10^3$
Момент изгибающий	My	Н*мм	$1100 \cdot 10^3$
Момент крутящий	Mz	Н*мм	$1500 \cdot 10^3$
Осевая нагрузка	Fz	Н	3200
Поперечная сила	Fy	Н	2300
Поперечная сила	Fx	Н	2300

Результаты расчета			
Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Допускаемое осевое усилие	Fz	Н	$1,168 \cdot 10^5$
Допускаемы изгибающий момент	Mx	Н*мм	$2,270 \cdot 10^7$
Допускаемы изгибающий момент	My	Н*мм	$3,181 \cdot 10^7$
Условие прочности для расчетного давления	-	-	$0,871 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности для осевой нагрузки	-	-	$0,039 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности для изгибающих моментов	-	-	$0,060 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности при совместном действии нагрузок	-	-	$0,932 \leq 1,0$ выполняется

Инов. № подл.	Подпись и дата
19388.4	
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
Подпись и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP	Лист
						49

Расчет на прочность цилиндрических обечаек и днищ при внешних статических нагрузках
на штуцер по ГОСТ Р 52857.3
Штуцера «П, Л» Ду50 в корпусе.

Исходные данные			
Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Расчетный диаметр корпуса	D	мм	3000
Толщина стенки корпуса	s	мм	26
Толщина стенки штуцера	s1	мм	14
Прибавка к толщине стенки	c	мм	4,9
Толщина накладного кольца	s2	мм	20
Ширина накладного кольца	L	мм	70
Внутренний диаметр штуцера	d	мм	48
Допускаемое напряжение для материала корпуса	σ	МПа	145
Допускаемое напряжение для материала штуцера	σ	МПа	145
Расчетное давление	P_p	МПа	1,76
Допускаемое давление для узла врезки штуцера по ГОСТ 24755	P	МПа	2,02
Вертикальный вылет штуцера	h1	мм	-
Горизонтальный вылет штуцера	h2	мм	-
Момент изгибающий	Mx	Н*мм	$200 \cdot 10^3$
Момент изгибающий	My	Н*мм	$200 \cdot 10^3$
Момент крутящий	Mz	Н*мм	$300 \cdot 10^3$
Осевая нагрузка	Fz	Н	1200
Поперечная сила	Fy	Н	900
Поперечная сила	Fx	Н	900

Результаты расчета			
Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Допускаемое осевое усилие	Fz	Н	$1,168 \cdot 10^5$
Допускаемы изгибающий момент	Mx	Н*мм	$1,708 \cdot 10^7$
Допускаемы изгибающий момент	My	Н*мм	$2,093 \cdot 10^7$
Условие прочности для расчетного давления	-	-	$0,871 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности для осевой нагрузки	-	-	$0,015 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности для изгибающих моментов	-	-	$0,015 \leq 1,0$ выполняется
Условие прочности при совместном действии нагрузок	-	-	$0,906 \leq 1,0$ выполняется

Инов. № подл.	Подпись и дата
19388.4	
Взам. инв. №	Инов. № дубл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP	Лист
						50

Параметры аппарата (наружное давление)

Параметры аппарата

Пакет прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Аппарат без футеровки и изоляции

Данные

Расчетная температура	T	20	С
Расчетное внутреннее избыточное или наружное давление	P	-0.1	МПа
Коэффициент прочности сварных швов	fi	1	

Инов. № подл. 19388.4	Подпись и дата		Инов. № дубл.		Подпись и дата	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP	
					Лист	
					51	

Цилиндрические обечайки

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Гладкая цилиндрическая обечайка, работающая под действием
наружного давления
Рабочие условия

Исходные данные

Материал обечайки	-	Сталь20ЮЧ	
Расчетная температура	T	20	°C
Расчетное давление	P	0.1	МПа
Внутренний диаметр обечайки	D	3000	мм
Расчетная длина обечайки	L	1.359e+04	мм
Толщина стенки обечайки	S	26	мм
Прибавка на коррозию	C ₁	4	мм
Прибавка – минусовый допуск	C ₂	0	мм
Прибавка технологическая	C ₃	0.9	мм
Коэффициент прочности продольного сварного шва	φ _p	1	
Допускаемое напряжение	[σ]	147	МПа
Модуль продольной упругости	E	1.99e+05	МПа
Приведенная расчетная длина	L _{пр}	1.359e+04	мм

Результаты расчета

Допускаемое наружное давление:

$$[p] = \frac{[p]_н}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_н}{[p]_э}\right)^2}} = 0.1575 \text{ МПа}$$

здесь:

[p]_н – допускаемое наружное давление из условий прочности:

$$[p]_н = \frac{2[\sigma](s - c)}{D + (s - c)} = 2.053 \text{ МПа}$$

[p]_э – допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости:

$$[p]_э = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E D}{n_y \cdot B_1 L} \left[\frac{100(s - c)}{D} \right]^{2,5} = 0.158 \text{ МПа}$$

где:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0; \quad 9,45 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(s - c)}} \right\} = 1$$

Обечайка отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007

Инов. № подл.	19388.4	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подпись и дата	<p>Допускаемое наружное давление:</p> <p>здесь:</p> <p>$[p]_н$ – допускаемое наружное давление из условий прочности:</p> <p>$[p]_E$ – допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости:</p> <p>где:</p> <p>Обечайка отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.2-2007</p>	$[p] = \frac{[p]_н}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_н}{[p]_E}\right)^2}} =$ $[p]_н = \frac{2[\sigma](s - c)}{D + (s - c)} =$ $[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} E D}{n_y \cdot B_1 L} \left[\frac{100(s - c)}{D} \right]^{2,5} =$ $B_1 = \min \left\{ 1,0, \quad 9,45 \frac{D}{L} \sqrt{\frac{D}{100(s - c)}} \right\} =$	<p>0.1575 МПа</p> <p>2.053 МПа</p> <p>0.158 МПа</p> <p>1</p>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP			Лист
								52

Выпуклые днища

Расчет на прочность по ГОСТ Р 52857.2-2007

Расчет выполнен с помощью пакета прикладных программ расчета на прочность элементов сосудов, аппаратов и трубопроводов PVP Design

Элемент: Эллиптическое днище, работающее под действием наружного давления
Рабочие условия

Исходные данные

Материал днища	-	Сталь20ЮЧ	-
Расчетная температура	T	20	°C
Расчетное давление	p	0.1	МПа
Внутренний диаметр днища	D	3000	мм
Высота выпуклой части днища без учета цилиндрической части	H	750	мм
Исполнительная толщина стенки днища	s ₁	28	мм
Прибавка на коррозию и эрозию	c ₁	4	мм
Прибавка – минусовый допуск	c ₂	0	мм
Прибавка технологическая	c ₃	5.1	мм
Коэффициент прочности сварного шва	φ	1	-
Допускаемое напряжение	[σ]	147	МПа
Модуль продольной упругости	E	1.99e+05	МПа
Длина цилиндрической отбортовки	h ₁	80	мм

Результаты расчета

Радиус кривизны в вершине эллиптического или полусферического днища:	$R = \frac{D^2}{4H} =$	3000	мм
Сумма прибавок к расчетной толщине стенки:	$c = c_1 + c_2 + c_3 =$	9.1	мм
Допускаемое наружное давление:	$[p] = \frac{[p]_н}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_н}{[p]_в}\right)^2}} =$	0.8495	МПа
здесь:			
[p] _н – допускаемое наружное давление из условий прочности:	$[p]_н = \frac{2[\sigma](s_1 - c)}{R + 0.5(s_1 - c)} =$	1.846	МПа
[p] _в – допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости:	$[p]_в = \frac{26 \cdot 10^{-6} E}{n_y} \left[\frac{100(s_1 - c)}{K, R} \right]^2 =$	0.9568	МПа
где: коэффициент	K _э =	0.9457	

Днище отвечает условиям прочности и устойчивости в соответствии с требованиями Р 52857.2-2007

Инов. № подл.	19388.4	Подпись и дата		Взам. инв. №		Инов. № дубл.		Подпись и дата		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	E-742-751.00.00.000 PP					Лист 53