

Общество с ограниченной ответственностью

УТВЕРЖДАЮ
Технический директор

2018

ФЛАНЕЦ DN 300 PN 160

Расчеты

ФР300-160 РР

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

Содержание

1 Исходные данные для расчета.....	3
2 Расчет фланца 300-160-11-1-J-09Г2С ГОСТ 33259	4
3 Заключение.....	11
Список литературы.....	12

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата										
					ФР300-160 РР									
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Расчет фланца DN 300 PN 160 Расчеты					Лит.		Лист	Листов	
Разраб.										Т			2	13
Пров.										ООО «»				
Зав.отд.														
Н.контр.														
Утв.														

1 Исходные данные для расчета

Данные для расчета фланца приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Параметр	Обозначение	Значение
Расчетное давление Р, МПа	Р	16
Расчетная температура, °С	t	100
Прибавка на коррозию, мм	c	3

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФР300-160 РР

Лист
3

2 Расчет фланца 300-160-11-1-J-09Г2С ГОСТ 33259

Исходные данные

Материал первого фланца (крышки) 09Г2С КП 245, Поковка
 Материал и диаметр шпилек 20ХН3А, Diam = 1-М42
 Материал прокладки Сталь 10895

Диаметр окружности расположения шпилек	D_δ	500	мм
Наружный диаметр шпильки	d	42	мм
Площадь поперечного сечения шпильки по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра	f_ϕ	1045	мм ²
Число шпилек	n	16	
Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек	L_{go}	156	мм
Средний диаметр восьмигранной или овальной прокладки	D_{cn}	380	мм
Ширина прокладки	b_n	22	мм
Расчётная температура	t	100	°C
Расчётная температура шпильки	t_ϕ	97.6	°C
Номинальное допускаемое напряжение для шпилек при затяжке	$[\sigma]_n^Y$	230	МПа
Номинальное допускаемое напряжение для шпилек в рабочих условиях	$[\sigma]_n^P$	230	МПа
Модуль продольной упругости материала шпильки при температуре 20 °C	E_ϕ^{20}	2.28e+05	МПа
Модуль продольной упругости материала шпильки при расчётной температуре	E_ϕ	2.22e+05	МПа
Температурный коэффициент линейного расширения материала шпильки	α_ϕ	1.1e-05	1/°C
Прокладочный коэффициент	m	5.5	
Удельное давление обжатия прокладки	$q_{ож}$	125	МПа

Внутренний диаметр фланца	D	284	мм
Наружный диаметр фланца (бурта, крышки)	D_n	585	мм
Толщина тарелки фланца (бурта)	h_1	78	мм
Толщина втулки приварного встык фланца в месте присоединения к тарелке	S_1	58	мм
Толщина втулки приварного встык фланца в месте приварки к обечайке (трубе), толщина обечайки (трубы) плоского фланца или бурта свободного фланца	S_0	23	мм
Длина конической втулки приварного встык фланца	ℓ	93	мм
Длина цилиндрической втулки приварного встык фланца	$\ell_{цм}$	18	мм
Расчётная температура фланца	t_ϕ	100	°C
Расчётное давление (внутреннее – положительное, наружное – отрицательное)	P	16	МПа
Прибавка на коррозию	c	3	мм
Допускаемое напряжение для материала фланца или бурта свободного фланца при температуре 20 °C в соответствии с ГОСТ 34233.1	$[\sigma]^{20}$	164.5	МПа
Допускаемое напряжение для материала фланца или бурта свободного фланца при расчётной температуре в соответствии с ГОСТ 34233.1	$[\sigma]$	144	МПа

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФР300-160 РР	Лист
						4

Модуль продольной упругости материала фланца при температуре 20 °С	E_1^{20}	1.99e+05 МПа
Модуль продольной упругости материала фланца при расчётной температуре	E_1	1.91e+05 МПа
Температурный коэффициент линейного расширения материала фланца	α_Φ	1.16e-05 1/°С
Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений во фланце при затяжке в соответствии с п.8.10 ГОСТ 34233.1	$[\sigma]_M$	246.8 МПа
Допускаемое значение общих мембранных и изгибных напряжений во фланце в рабочих условиях в соответствии с п.8.10 ГОСТ 34233.1	$[\sigma]_M$	216 МПа
Допускаемое значение суммарных общих и местных мембранных и изгибных напряжений во фланце при затяжке в соответствии с п.8.10 ГОСТ 34233.1	$[\sigma]_R$	493.5 МПа
Допускаемое значение суммарных общих и местных мембранных и изгибных напряжений во фланце в рабочих условиях в соответствии с п.8.10 ГОСТ 34233.1	$[\sigma]_R$	432 МПа

Результаты расчёта

Расчёт вспомогательных величин - для прокладки и шпилек

Эффективная ширина прокладки

$$b_0 = \frac{b_n}{4} = 5.5 \text{ мм}$$

Податливость прокладки

$$y_n = 0 \text{ мм/Н}$$

Податливость шпилек

$$y_\Phi = \frac{L_\Phi}{E_\Phi^{20} f_\Phi n} = 4.709\text{e-}08 \text{ мм/Н}$$

где

$$L_\Phi = L_{\Phi 0} + 0,56d = 179.5 \text{ мм}$$

Суммарная площадь сечения шпилек по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра

$$A_\Phi = n f_\Phi = 1.672\text{e+}04 \text{ мм}^2$$

Плечо усилий в шпильках

$$b = 0,5(D_\Phi - D_{cn}) = 60 \text{ мм}$$

Плечо усилий в шпильках

$$b = 0,5(D_\Phi - D_{cn}) = 60 \text{ мм}$$

- для фланцев

Плечо усилия от действия давления внутри фланца

$$e = 0,5(D_{cn} - D - S_s) = 26.59 \text{ мм}$$

где эквивалентная толщина втулки фланца

$$S_s = \zeta S_0 = 42.83 \text{ мм}$$

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФР300-160 РР	Лист
						5

$$\zeta = 1 + (\beta - 1) \frac{x}{x + \frac{1 + \beta}{4}} = 1.862 \text{ mm}$$

Параметр длины втулки

$$l_0 = \sqrt{DS_0} = 80.82 \text{ mm}$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K = \frac{D_n}{D} = \quad 2.06$$

Расчётные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки
фланца (бурта)

$$\beta_T = \frac{K^2(1+8,55\lg K)-1}{(1,05+1,945K^2)(K-1)} = 1.484 \quad \beta_U = \frac{K^2(1+8,55\lg K)-1}{1,36(K^2-1)(K-1)} = 3.129$$

$$\beta_r = \frac{1}{K-1} \left(0,69 + 5,72 \frac{K^2 \lg K}{K^2 - 1} \right) = 2.867 \quad \beta_z = \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 1.617$$

Отношение толщины втулки в сечении S1 к толщине в сечении S0

$$\beta = \frac{S_1}{S_0} = 2.522$$

Относительная длина втулки фланца

$$x = \frac{l}{\sqrt{DS_0}} = \quad 1.151$$

Расчётные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров втулки
фланца

$$\beta_{\pi} = 0.6938$$

$$\beta_Y = 0.09619$$

Коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении S0 приварного
встык фланца

$$f = 1$$

Коэффициент

$$\lambda = \frac{\beta_F l_2 + l_0}{\beta_F l_0} + \frac{\beta_V l_2^3}{\beta_F l_0 S_0^2} = 1.466$$

Угловая податливость фланца (бурта) при затяжке

$$\gamma_\phi = \frac{0,91\beta_v}{E^{20} \lambda S_0^2 l_0} = 7.015\text{e-}12 \text{ 1/H MM}$$

Угловая податливость фланца (бурта), нагруженного внешним изгибающим моментом

$$y_{\phi_N} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \frac{D_6}{E_{20} D_N l^3} = 4.385 \text{e-12 } 1/\text{H MM}$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	<p>фланца</p> $\beta_F = 0.6938$ $\beta_V = 0.09619$ <p>Коэффициент увеличения изгибных напряжений в сечении S0 приварного встык фланца</p> $f = 1$ <p>Коэффициент</p> $\lambda = \frac{\beta_F l_2 + l_0}{\beta_F l_0} + \frac{\beta_V l_2^3}{\beta_V l_0 S_0^2} = 1.466$ <p>Угловая податливость фланца (бурта) при затяжке</p> $\gamma_\phi = \frac{0,91 \beta_V}{E^{20} \lambda S_0^2 l_0} = 7.015e-12 \text{ 1/Н мм}$ <p>Угловая податливость фланца (бурта), нагруженного внешним изгибающим моментом</p> $\gamma_{\phi x} = \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \frac{D_\phi}{E_{20} D_N l_2^3} = 4.385e-12 \text{ 1/Н мм}$
					<div> <div> <div>Изм</div> <div>Лист</div> <div>№ докум.</div> <div>Подп.</div> <div>Дата</div> </div> <div> <div>ФР300-160 РР</div> <div>Лист</div> <div>6</div> </div> </div>

Коэффициенты жесткости фланцевого соединения

Жесткость фланцевого соединения

$$\gamma = \frac{1}{y_{\pi} + y_6 \frac{E_6^{20}}{E_6} + \left(y_{\phi 1} \frac{E_1^{20}}{E_1} + y_{\phi 2} \frac{E_2^{20}}{E_2} \right) b^2} = 9.902\text{e}+06 \text{ H/MM}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_{\mathcal{M}} = \frac{y_{\mathcal{E}} + 2y_{\phi_{\mathcal{N}}}b \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\mathcal{CN}}} \right)}{y_{\mathcal{E}} + y_{\mathcal{N}} \left(\frac{D_{\mathcal{E}}}{D_{\mathcal{CN}}} \right)^2 + 2y_{\phi_{\mathcal{N}}}b^2} = \quad 1.165$$

Расчёт фланцевого соединения на прочность и герметичность

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$P_{\text{обж}} = 0,5 \pi D_{\text{кр}} b q_{\text{обж}} = 4.104 \text{e}+05 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения

$$R_s = \pi D_{\text{out}} b_{0mp} = 5.778\text{e}+05 \text{ H}$$

Равнодействующая давления

$$Q_s = 0,785 D_w^2 p = 1.814 \text{e}+06 \text{ H}$$

Расчётная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек

$$P_{\#2} = \max \left\{ P_{\text{offXc}}; 0, 4 A_{\#} [\sigma]_N^6 \right\} = 1.538\text{e}+06 \text{ H}$$

Расчётная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения

$$P_{s1} = \alpha(Q_d + F) + R_n + \frac{4\alpha_M |M|}{D_n} = 2.391\text{e}+06 \text{ H}$$

Расчётная нагрузка на шпильки при затяжке фланцевого соединения

$$P_6^{\text{M}} = \max\{P_{61}, P_{62}\} = 2.391\text{e}+06 \text{ H}$$

Расчётная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{\epsilon}^{\mathcal{F}} = P_{\epsilon}^{\mathcal{M}} + (1 - \alpha)(Q_{\delta} + F) + \frac{4(1 - \alpha_{\mathcal{M}})|M|}{D_{\mathcal{C}}} = 2.391\text{e}+06 \text{ H}$$

- Расчётная нагрузка на шпильки при $F=0$ и $M=0$

Подп. и дата	Расчётная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения шпилек					$Q_{\partial} = 0,185 D_{\text{сн}} p =$	1.814e+06 Н
	$P_{\text{с}2} = \max \left\{ P_{\text{обж}}; 0,4 A_{\text{с}} \left[\sigma \right]_{\text{н}}^{\text{с}} \right\} =$						1.538e+06 Н
Инв. № дубл.	Расчётная нагрузка на шпильки при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения						
	$P_{\text{с}1} = a \left(Q_{\partial} + F \right) + R_{\text{н}} + \frac{4 \alpha_{\text{М}} M }{D_{\text{сн}}} =$						2.391e+06 Н
Взам. инв. №	Расчётная нагрузка на шпильки при затяжке фланцевого соединения					$P_{\text{с}}^{\text{н}} = \max \left\{ P_{\text{с}1}; P_{\text{с}2} \right\} =$	2.391e+06 Н
	Расчётная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях					$P_{\text{с}}^{\text{р}} = P_{\text{с}}^{\text{н}} + \left(1 - a \right) \left(Q_{\partial} + F \right) + \frac{4 \left(1 - \alpha_{\text{М}} \right) M }{D_{\text{сн}}} =$	2.391e+06 Н
Подп. и дата	- Расчётная нагрузка на шпильки при F=0 и M =0						
Инв. № подл.							
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФР300-160 РР		Лист
							7

Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в условиях затяжки

$$\sigma_T^M = \frac{\beta_Y M^M}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^M = 65.01 \text{ МПа}$$

Расчётные меридиональные изгибные напряжения в рабочих условиях в сечении S1:

$$\sigma_1^p = \frac{M^p}{\lambda(S_1 - c)^2 D^*} = 126.4 \text{ МПа}$$

в сечении S0:

$$\sigma_0^p = f \sigma_1^p = 126.4 \text{ МПа}$$

Окружные мембранные напряжения в рабочих условиях в сечении S0

$$\sigma_{\text{max},0}^p = \frac{pD}{2(S_0 - c)} = 113.6 \text{ МПа}$$

Радиальное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях

$$\sigma_R^p = \frac{(1,33\beta_F h + l_0)}{\lambda h^2 l_0 D} M^p = 143 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение в тарелке приварного встык фланца, плоского фланца и бурте свободного фланца в рабочих условиях

$$\sigma_T^p = \frac{\beta_Y M^p}{h^2 D} - \beta_Z \sigma_R^p = 86.86 \text{ МПа}$$

Условия статической прочности фланца ($K_T=1$)

Расчётные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца при затяжке

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^M + \sigma_R^M \right|, \left| \sigma_1^M + \sigma_T^M \right| \right\} = 201.6 \leq K_T K_S [\sigma]_M = 296.1 \text{ MPa}$$

Расчётные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_1^p - \sigma_{\text{MM}}^p + \sigma_{\text{R}}^p \right|, \left| \sigma_1^p - \sigma_{\text{MM}}^p + \sigma_{\text{R}}^p \right|, \left| \sigma_1^p + \sigma_{\text{MM}}^p \right| \right\} = 252.3 \leq K_T K_S [\sigma]_{\text{M}} = 259.2 \text{ MPa}$$

Расчётные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения
в сечении S0 при затяжке

$$\sigma_0^M = 94.58 \leq 1,3[\sigma]_p = 641.5 \text{ МПа}$$

Расчётные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения
в сечении S0 в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_0^p \pm \sigma_{\text{M.M}}^p \right|; \left| 0,3\sigma_0^p \pm \sigma_{\text{M.O}}^p \right|; \left| 0,7\sigma_0^p \pm \left(\sigma_{\text{M.M}}^p - \sigma_{\text{M.O}}^p \right) \right| \right\} 178.9 \leq 1,3[\sigma]_{\text{R}}$$

Коэффициент учета размеров тарелки фланца

$$K_s = 1.2$$

Расчётные мембранные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_{\text{от.о}}^p \right|; \left| \sigma_{\text{от.н}}^p \right| \right\} 113.6 \leq [\sigma] = 144 \text{ МПа}$$

Подп. и дата	Расчётные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца при затяжке $\max \left\{ \left \sigma_1^M + \sigma_R^M \right ; \left \sigma_1^M + \sigma_T^M \right \right\} = 201.6 \leq K_T K_S [\sigma]_M = 296.1 \text{ МПа}$ Расчётные общие мембранные и изгибные напряжения в сечении S1 фланца в рабочих условиях $\max \left\{ \left \sigma_1^P - \sigma_{M.M}^P + \sigma_R^P \right ; \left \sigma_1^P - \sigma_{M.M}^P + \sigma_R^P \right ; \left \sigma_1^P + \sigma_{M.M}^P \right \right\} = 252.3 \leq K_T K_S [\sigma]_M = 259.2 \text{ МПа}$						
Инв. № дубл.	Расчётные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 при затяжке $\sigma_0^M = 94.58 \leq 1,3 [\sigma]_R = 641.5 \text{ МПа}$						
Взам. инв. №	Расчётные суммарные общие и местные мембранные и изгибные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях $\max \left\{ \left \sigma_0^P \pm \sigma_{O.M.M}^P \right ; \left 0,3 \sigma_0^P \pm \sigma_{O.M.O}^P \right ; \left 0,7 \sigma_0^P \pm (\sigma_{O.M.M}^P - \sigma_{O.M.O}^P) \right \right\} 178.9 \leq 1,3 [\sigma]_R = 561.6 \text{ МПа}$						
Подп. и дата	Коэффициент учета размеров тарелки фланца $K_S = 1.2$ Расчётные мембранные напряжения в сечении S0 в рабочих условиях $\max \left\{ \left \sigma_{O.M.O}^P \right ; \left \sigma_{O.M.M}^P \right \right\} 113.6 \leq [\sigma] = 144 \text{ МПа}$						
Инв. № подл.						ФР300-160 РР	Лист
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

Расчётное напряжение в тарелке фланца при затяжке

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^M \right|; \left| \sigma_T^M \right| \right\} = 107.1 \leq K_T [\sigma] = 164.5 \text{ МПа}$$

Расчётное напряжение в тарелке фланца в рабочих условиях

$$\max \left\{ \left| \sigma_R^P \right|; \left| \sigma_T^P \right| \right\} = 143 \leq K_T [\sigma] = 144 \text{ МПа}$$

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца или бурта свободного фланца в рабочих условиях

$$\theta = M^* y_{\phi} \frac{E^{20}}{E} = 0.001401 \leq K_{\theta} [\theta] = 0.006 \text{ рад}$$

где:

$$[\theta] = 0.006 \text{ рад}, \quad K_{\theta} = 1$$

Так как расчётная температура элементов фланцевого соединения не превышает 100 °С, в соответствии с п.4.7 ГОСТ 34233.4, проводить дополнительный расчёт элементов фланцевого соединения с учетом усилий, вызванных стесненностью температурных деформаций, нет необходимости.

Фланцевое соединение отвечает условиям прочности в соответствии с требованиями ГОСТ 34233.4-2017

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

3 Заключение

Проведен расчет на прочность фланца на расчетные условия нагружения. Фактические параметры фланца удовлетворяют расчетным значениям.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ФР300-160 РР					Лист
										11
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Список литературы

- 1. ГОСТ 33259-2015 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования.
- 2. ГОСТ 34233.1 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования
- 3. ГОСТ 34233.4 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФР300-160 РР	Лист
											12

[illegible]

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

					<div style="text-align: center;"> ФР300-160 РР </div>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13