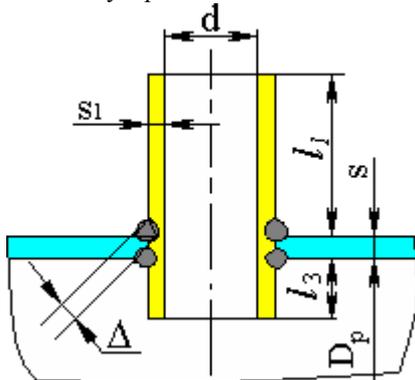


Штуцер №2

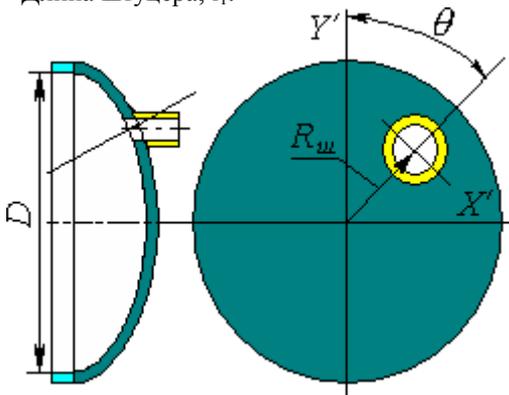
Расчёт прочности узла врезки штуцера

1.1. Исходные данные

Элемент:	Штуцер №2
Условное обозначение (метка)	Штуцер №2
Элемент, несущий штуцер:	Днище эллиптическое №2
Тип элемента, несущего штуцер:	Днище эллиптическое
Тип штуцера:	Проходящий без укрепления



Материал несущего элемента:	09Г2С
Толщина стенки несущего элемента, s :	6 мм
Сумма прибавок к стенке несущего элемента, c :	2 мм
Материал штуцера:	09Г2С
Внутренний диаметр штуцера, d :	225 мм
Толщина стенки штуцера, s_1 :	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_s :	2 мм
Длина штуцера, l_1 :	200 мм



Смещение штуцера, $R_{ш}$:	0 мм
Угол поворота штуцера, θ :	0 градус
Полученный угол наклона штуцера, γ :	0 градус
Длина внутр. части штуцера, l_3 :	2 мм
Минимальный размер сварного шва, Δ :	4 мм

Коэффициенты прочности сварных швов:

Продольный шов штуцера:

Тип шва	Стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический
Контроль 100%	Да
ϕ_1	0.9

Шов обечайки в зоне врезки штуцера:

Тип шва	Стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, автоматический
Контроль 100%	Да
ϕ_s	1

Расчётный диаметр выпуклого эллиптического днища:

$$D_p = \frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{(D^2 - 4 \cdot H^2)}{D^4} \cdot R_{шт}^2} = 414^2 / (2 * 127.5) * (1 - 4 * (414^2 - 4 * 127.5^2) * 0^2 / 414^4)^{1/2} = 672.1 \text{ мм}$$

1.2. Расчёт в рабочих условиях

1.2.1. Условия нагружения:

Расчётная температура, T: 200 °C
 Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.07 МПа

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 200 °C (рабочие условия):
 $[\sigma] = 165 \text{ МПа}$
 Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:
 $E = 1.81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 200 °C (рабочие условия):
 $[\sigma]_1 = 165 \text{ МПа}$
 Модуль продольной упругости при температуре 200 °C:
 $E_1 = 1.81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением (п. 2.3.1).

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_{ш} + c_s = \frac{p \cdot d}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c_s = (0.07 * 225) / (2 * 165 * 0.9 - 0.07) + 2 = 2.053 \text{ мм}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c_s)}{d + (s_1 - c_s)} = 2 * 165 * 0.9 * (10 - 2) / (225 + 10 - 2) = 10.2 \text{ МПа}$$

10.2 МПа \geq 0.07 МПа

Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.2.2. Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 24755–89

Расчётная толщина стенки днища:

$$s_p = \frac{p \cdot D_p}{4 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} = 0.07 * 672.1 / (4 * 165 * 1 - 0.07) = 0.0713 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений (п. 2.6)

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1.0; \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1.0, 165 / 165 \} = 1$$

Условный расчётный диаметр отверстия:

$$\bar{d} = d + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 225 + 2 * 10 * (1 - 1) = 225 \text{ мм}$$

Расчётный диаметр отверстия (смещённый штуцер на эллиптическом днище):

$$d_p = \frac{\bar{d} + 2 \cdot c_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot R_{шт}}{D_p} \right)^2}} = (225 + 2 * 2) / [1 - (2 * 0 / 672.1)^2]^{1/2} = 229 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 * ((6 - 2) / 0.0713 - 0.8) * (672.1 * (6 - 2))^{1/2} = 5735 \text{ мм}$$

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

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 200; 1.25 * ((225 + 2 * 2) * (10 - 2))^{1/2} \} = 53.5 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{3p} = \min\left\{l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - 2 \cdot c_s)}\right\} = \min\{2; 0.5 \cdot ((225 + 2 \cdot 2) \cdot (10 - 2 \cdot 2))^{1/2}\} = 2 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (672.1 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 51.85 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 51.85 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (672.1 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 20.74 \text{ мм}$$

$$V = \min\left\{1; \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_3 - 2 \cdot c_s) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_p}{l_p}}\right\}$$

$$= \min\{1; [1 + (53.5 \cdot (10 - 2) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot (10 - 2 \cdot 2) \cdot 1) / (51.85 \cdot (6 - 2))] / [1 + 0.5 \cdot (229 - 20.74) / 51.85 + 2 \cdot (225 + 2 \cdot 2) / 672.1 \cdot 1 / 0.9 \cdot 53.5 / 51.85] = 0.8237\}$$

$$= 0.8237$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (6 - 2) \cdot 1 \cdot 165 \cdot 0.8237 / [672.1 + (6 - 2) \cdot 0.8237] = 3.22 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 3.22 \text{ МПа} \geq 0.07 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.2.3. Минимальные размеры сварных швов

Минимальные размеры сварных швов должны удовлетворять условию:

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{1p} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_1 - p} = 0.07 \cdot (225 + 2 \cdot 2) / (2 \cdot 165 \cdot 0.9 - 0.07) = 0.05304 \text{ мм}$$

$$\Delta \geq 2.1 \cdot \frac{l_p \cdot s_{1p}}{d + 2 \cdot s_{1p}}$$

$$2.1 \cdot \frac{l_p \cdot s_{1p}}{d + 2 \cdot s_{1p}} = 2.1 \cdot (53.5 \cdot 0.05304) / (225 + 2 \cdot 0.05304) = 0.02647 \text{ мм} \leq 4 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**

1.3. Расчёт в условиях испытаний (Гидроиспытания)

1.3.1. Условия нагружения при испытаниях:

Расчётная температура, T: 20 °C

Расчётное внутреннее избыточное давление, p: 0.102 МПа

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °C :

$$[\sigma]^{20} = \eta \cdot R_c^{20} / 1.1 = 1 \cdot 300 / 1.1 = 272.7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 20 °C :

$$[\sigma]_1^{20} = \eta \cdot R_c^{20} / 1.1 = 1 \cdot 300 / 1.1 = 272.7 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 20 °C:

$$E_1 = 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Гладкая обечайка, нагруженная внутренним избыточным давлением (п. 2.3.1.).

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_{\text{п}} + c_{\text{с}} = \frac{p \cdot d}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\text{п}} - p} + c_{\text{с}} = (0.102 \cdot 225) / (2 \cdot 272.7 \cdot 0.9 - 0.102) + 2 = 2.047 \text{ мм}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{\text{п}} \cdot (s_1 - c_{\text{с}})}{d + (s_1 - c_{\text{с}})} = 2 \cdot 272.7 \cdot 0.9 \cdot (10 - 2) / (225 + 10 - 2) = 16.86 \text{ МПа}$$

16.86 МПа \geq 0.102 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.3.2. Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 24755–89

Расчётная толщина стенки днища:

$$s_{\text{п}} = \frac{p \cdot D_{\text{п}}}{4 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} = 0.102 \cdot 672.1 / (4 \cdot 272.7 \cdot 1 - 0.102) = 0.06283 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_{\text{п}}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_{\text{п}} \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((6 - 2) / 0.06283 - 0.8) \cdot (672.1 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 6520 \text{ мм}$$

$d_{\text{п}} < d_0$: **Условие прочности выполнено**

Отношения допускаемых напряжений (п. 2.6)

Для внешней части штуцера:

$$\chi_1 = \min \left\{ 1, 0; \frac{[\sigma_{\text{н}}]}{[\sigma]} \right\} = \min \{ 1, 0, 272.7 / 272.7 \} = 1$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_{\text{п}} \cdot (s - c)} = (672.1 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 51.85 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления:

$$l_{\text{п}} = L_0 = 51.85 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0\text{п}} = 0.4 \cdot \sqrt{D_{\text{п}} \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (672.1 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 20.74 \text{ мм}$$

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{\text{п}} \cdot (s_1 - c_{\text{с}}) \cdot \chi_1 + l_{2\text{п}} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3\text{п}} \cdot (s_3 - 2 \cdot c_{\text{с}}) \cdot \chi_3}{l_{\text{п}} \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_{\text{п}} - d_{0\text{п}}}{l_{\text{п}}} + K_1 \cdot \frac{d + 2 \cdot c_{\text{с}} \cdot \varphi}{D_{\text{п}}} \cdot \frac{l_{\text{п}}}{\varphi_1 \cdot l_{\text{п}}}} \right\}$$

$$= \min \{ 1; [1 + (53.5 \cdot (10 - 2) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot (10 - 2 \cdot 2) \cdot 1) / (51.85 \cdot (6 - 2))] / [1 + 0.5 \cdot (229 - 20.74) / 51.85 + 2 \cdot (225 + 2 \cdot 2) / 672.1 \cdot 1 / 0.9 \cdot 53.5 / 51.85] \} = \mathbf{0.8237}$$

$$[p]_{\text{п}} = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_{\text{п}} + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 2 \cdot (6 - 2) \cdot 1 \cdot 272.7 \cdot 0.8237 / [672.1 + (6 - 2) \cdot 0.8237] = 5.322 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 5.322 \text{ МПа} \geq 0.102 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.3.3. Минимальные размеры сварных швов

Минимальные размеры сварных швов должны удовлетворять условию:

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{\text{п}} = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_{\text{с}})}{2 \cdot [\sigma_{\text{н}}] \cdot \varphi_1 - p} = 0.102 \cdot (225 + 2 \cdot 2) / (2 \cdot 272.7 \cdot 0.9 - 0.102) = 0.04674 \text{ мм}$$

$$\Delta \geq 2.1 \cdot \frac{l_{\text{п}} \cdot s_{\text{п}}}{d + 2 \cdot s_{\text{п}}}$$

$$2.1 \cdot \frac{l_{\text{п}} \cdot s_{\text{п}}}{d + 2 \cdot s_{\text{п}}} = 2.1 \cdot (53.5 \cdot 0.04674) / (225 + 2 \cdot 0.04674) = 0.02333 \text{ мм} \leq 4 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**