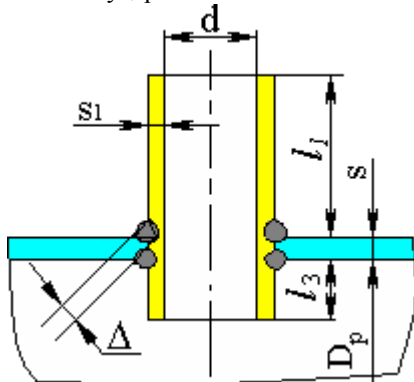


Штуцер №1

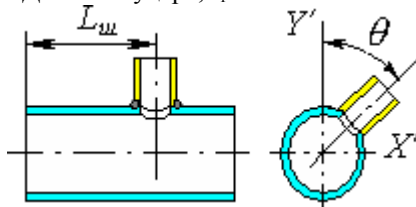
Расчёт прочности узла врезки штуцера

1.1. Исходные данные

Элемент:	Штуцер №1
Условное обозначение (метка)	Штуцер №1
Элемент, несущий штуцер:	Обечайка цилиндрическая №2
Тип элемента, несущего штуцер:	Обечайка цилиндрическая
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 :	300 мм
Толщина стенки штуцера, s_1 :	10 мм
Сумма прибавок к толщине стенки штуцера (включая коррозию), c_s :	2 мм
Длина штуцера, l_1 :	100 мм



Смещение штуцера, $L_{ш}$:	350 мм
Угол поворота штуцера, θ :	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 цилиндрической обечайки:

$$D_p = D = 414 \text{ мм}$$

1.2. Расчёт в рабочих условиях

1.2.1. Условия нагружения:

Расчётная температура, T : 200 °С

Расчётное внутреннее избыточное давление, р: 0.07 МПа

Свойства материала элемента, несущего штуцер

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 200 °С (рабочие условия):

$$[\sigma] = 165 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E = 1.81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Свойства материала штуцера

Допускаемые напряжения для материала 09Г2С при температуре 200 °С (рабочие условия):

$$[\sigma]_1 = 165 \text{ МПа}$$

Модуль продольной упругости при температуре 200 °С:

$$E_1 = 1.81 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

Расчётная толщина стенки с учётом прибавок:

$$s_{\text{ш}} + c_s = \frac{p \cdot d}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c_s = (0.07 \cdot 300) / (2 \cdot 165 \cdot 0.9 - 0.07) + 2 = 2.071 \text{ мм}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c_s)}{d + (s_1 - c_s)} = 2 \cdot 165 \cdot 0.9 \cdot (10 - 2) / (300 + 10 - 2) = 7.714 \text{ МПа}$$

7.714 МПа \geq 0.07 МПа

Закключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.2.2. Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 24755–89

Расчётная толщина стенки несущего элемента (см. расчёт элемента “Обечайка цилиндрическая №2”):

$$s_p = 0.0976 \text{ мм}$$

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:

$$\bar{d} = d + 2 \cdot s_1 \cdot (1 - \chi_1) = 300 + 2 \cdot 10 \cdot (1 - 1) = 300 \text{ мм}$$

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

$$d_p = \bar{d} + 2 \cdot c_s = 300 + 2 \cdot 2 = 304 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s - c}{s_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2 \cdot ((6 - 2) / 0.0976 - 0.8) \cdot (414 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 3271 \text{ мм}$$

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

Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{\text{ш}} = \min \left\{ l_1; 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_1 - c_s)} \right\} = \min \{ 100; 1.25 \cdot ((300 + 2 \cdot 2) \cdot (10 - 2))^{1/2} \} = 61.64 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{\text{зп}} = \min \left\{ l_3; 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_s) \cdot (s_3 - 2 \cdot c_s)} \right\} = \min \{ 2; 0.5 \cdot ((300 + 2 \cdot 2) \cdot (10 - 2 \cdot 2))^{1/2} \} = 2 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = (414 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 40.69 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 40.69 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 0.4 \cdot (414 \cdot (6 - 2))^{1/2} = 16.28 \text{ мм}$$

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

$$= \min \{ 1; [1 + (61.64 \cdot (10 - 2) \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 0 + 2 \cdot (10 - 2 \cdot 2) \cdot 1) / (40.69 \cdot (6 - 2))] / [1 + 0.5 \cdot (304 - 16.28) / 40.69 + 1 \cdot (300 + 2 \cdot 2) / 414 \cdot 1 / 0.9 \cdot 61.64 / 40.69] = 0.711 \}$$

$$= 0.711$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s - c) \cdot V} = 2 \cdot 1 \cdot (6 - 2) \cdot 1 \cdot 165 \cdot 0.711 / [414 + (6 - 2) \cdot 0.711] = 2.252 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 2.252 \text{ МПа} \geq 0.07 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.2.3. Минимальные размеры сварных швов

Минимальные размеры сварных швов должны удовлетворять условию:

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_1 - p} = 0.07 \cdot (300 + 2 \cdot 2) / (2 \cdot 165 \cdot 0.9 - 0.07) = 0.07072 \text{ мм}$$

$$\Delta \geq 2.1 \cdot \frac{l_p \cdot s_p}{d + 2 \cdot s_p}$$

$$2.1 \cdot \frac{l_p \cdot s_p}{d + 2 \cdot s_p} = 2.1 \cdot (61.64 \cdot 0.07072) / (300 + 2 \cdot 0.07072) = 0.0305 \text{ мм} \leq 4 \text{ мм}$$

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: 0.1568 МПа

Свойства материала элемента, несущего штуцер

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

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

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 :

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

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:

$$s_p + c_s = \frac{p \cdot d}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} + c_s = (0.1568 \cdot 300) / (2 \cdot 272.7 \cdot 0.9 - 0.1568) + 2 = 2.096 \text{ мм}$$

Допускаемое давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s_1 - c_s)}{d + (s_1 - c_s)} = 2 \cdot 272.7 \cdot 0.9 \cdot (10 - 2) / (300 + 10 - 2) = 12.75 \text{ МПа}$$

12.75 МПа \geq 0.1568 МПа

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.3.2. Расчёт укрепления отверстия по ГОСТ 24755–89

Расчётная толщина стенки несущего элемента (см. расчёт элемента “Обечайка цилиндрическая №2”):

$$s_p = 0.1352 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 2 * ((6-2) / 0.1352 - 0.8) * (414 * (6-2))^{1/2} = 2344 \text{ мм}$$

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

Отношения допускаемых напряжений (п. 2.6)

Для внешней части штуцера:

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

Ширина зоны укрепления:

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = (414 * (6-2))^{1/2} = 40,69 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления:

$$l_p = L_0 = 40,69 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр:

$$d_{0p} = 0,4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s-c)} = 0,4 * (414 * (6-2))^{1/2} = 16,28 \text{ мм}$$

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

$$= \min \{ 1; [1 + (61,64 * (10-2) * 1 + 0 * 0 * 0 + 2 * (10-2 * 2) * 1) / (40,69 * (6-2))] / [1 + 0,5 * (304 - 16,28) / 40,69 + 1 * (300 + 2 * 2) / 414 * 1 / 0,9 * 61,64 / 40,69] \} = 0,711$$

$$[p]_p = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (s-c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (s-c) \cdot V} = 2 * 1 * (6-2) * 1 * 272,7 * 0,711 / [414 + (6-2) * 0,711] = 3,722 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление $[p] = 3,722 \text{ МПа} \geq 0,1568 \text{ МПа}$

Заключение: **Условие прочности и устойчивости выполнено**

1.3.3. Минимальные размеры сварных швов

Минимальные размеры сварных швов должны удовлетворять условию:

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_p = \frac{p \cdot (d + 2 \cdot c_s)}{2 \cdot [\sigma_h] \cdot \varphi_1 - p} = 0,1568 * (300 + 2 * 2) / (2 * 272,7 * 0,9 - 0,1568) = 0,09584 \text{ мм}$$

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

$$2,1 \cdot \frac{l_p \cdot s_{1p}}{d + 2 \cdot s_{1p}} = 2,1 * (61,64 * 0,09584) / (300 + 2 * 0,09584) = 0,04133 \text{ мм} \leq 4 \text{ мм}$$

Заключение: **Условие прочности выполнено**