

РАСЧЕТЫ

Пример 1

Рабочее вещество: насыщенный водяной пар
 $p_o = 4,7 \text{ МПа (g)}$, $Q_p = 20 \text{ t/h} = 20\,000 \text{ kg/h}$

Предложить подходящий номинальный размер полноподъемного предохранительного клапана P51.

Производитель указывает в каталогом листе: $\alpha_w = 0,78$

Согласно ст. 3.3.2. ČSN 13 4309-2: для $p_o > 4,5 \text{ МПа}$:

$$\Delta p_{\max} = 6\% p_o \dots \text{tj. } \Delta p_{\max} = 0,06 p_o.$$

Последовательность расчета:

Согласно ст. 2.2 ČSN 13 4309-3 входное давление предохранительного клапана:

$$p_1 = p_o + \Delta p_{\max} + 0,1 = 4,7 + 0,06 \cdot 4,7 + 0,1$$

$$p_1 = 5,082 \text{ МПа (abs)}.$$

Отношение (5) согласно ČSN 13 4309-3 для насыщенного водяного пара при критическом истечении:

$$Q_z = 5,25 \cdot A_o \cdot \alpha_w \cdot p_1 \dots \dots \text{это отношение поправим:}$$

$$A_o = \frac{Q_p}{5,25 \cdot \alpha_w \cdot p_1} \dots \dots \text{и после подставления:}$$

$$A_o = \frac{20000}{5,25 \cdot 0,78 \cdot 5,082}$$

$$A_o = 961,0 \text{ mm}^2$$

Получаем диаметр минимальной площади сечения потока (так называемый диаметр сопла):

$$(d_o)_p = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_o} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 961,0} = 34,98 \text{ mm}$$

Согласно таблице в каталоге является самым ближайшим более высокий диаметр $d_o = 40 \text{ mm}$ и этому отвечает размер предохранительного клапана: Ду 65

По таблицам пара для насыщенного пара $p_1 = 5,082 \text{ МПа (abs)} = 5,1 \text{ МПа (abs)}$ следует:

$$t = 265,15^\circ\text{C} < 400^\circ\text{C}.$$

Поэтому выбираем предохранительный клапан: P51 217 5100/400°C - Ду 65

Гарантированное истечение Q_z согласно отношению (5) ČSN 13 4309-3:

$$A_o = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 40^2 = 1256,6 \text{ mm}^2$$

потом:

$$Q_z = 5,25 \cdot A_o \cdot \alpha_w \cdot p_1 = 5,25 \cdot 1256,6 \cdot 0,78 \cdot 5,082 = 26\,138 \text{ kg/h}.$$

Так как Q_z значительно выше, чем Q_p , еще проверим пригодность предохранительного клапана того же размера, но типа В:

$$Q_z = 5,25 \cdot A_o \cdot \alpha_w \cdot p_1 = 5,25 \cdot 1256,6 \cdot 0,67 \cdot 5,082 = \underline{\underline{22\,462,9 \text{ kg/h}}}$$

Видим, что предохранительный клапан P51 217 5100/400°C Ру 65 серии В больше приближается требуемому истечению и поэтому предпочитаем этот выбор.

Пример 2

Предохранительный клапан P57 217 5100/400°C - Ду 50

$$A_o = 1256,6 \text{ mm}^2, \alpha_w = 0,714$$

Рабочее вещество: насыщенный водяной пар; $p_o = 4,7 \text{ МПа (g)}$.

Определить потерю давления Δp_z в прямом подводном трубопроводе, внутренний диаметр $D_1 = 50 \text{ mm}$, длина $L = 1000 \text{ mm}$, коэффициент трения внутренней стены трубопровода $\lambda = 0,02^*$

Истинный коэффициент истечения α (ČSN 13 4309-1, ст. 2.4.19 и 2.4.20):

$$\alpha = \frac{\alpha_w}{0,9} = \frac{0,714}{0,9} = \underline{\underline{0,793}}$$

Давление на входе предохранительного клапана (ČSN 13 4309-3, ст. 2.2 и ČSN 13 4309-2, ст. 3.3.2.b):

$$p_1 = 1,06 \cdot p_o + 0,1 = 1,06 \cdot 4,7 + 0,1 = \underline{\underline{5,082 \text{ МПа (abs)}}}.$$

Истинное истечение - отношение (5) ČSN 13 4309-3 поправим:

$$Q_s = 5,25 \cdot A_o \cdot \alpha \cdot p_1 = 5,25 \cdot 1256,6 \cdot 0,79 \cdot 5,082 = 26\,597,9 \text{ kg/h}$$

$$Q_s = 26\,597,9 \text{ kg/h} = \underline{\underline{7,39 \text{ kg/s}}}.$$

Скорость w протекания пара в подводном трубопроводе:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 50^2 = 1963,5 \text{ mm}^2 = \underline{\underline{0,00196 \text{ m}^2}}$$

Из таблиц пара следует для насыщенного пара $p_1 = 5,082 = 5,1 \text{ МПа (abs)}$ удельный объем пара: $v_1 = 0,03863 \text{ m}^3/\text{kg}$, потом:

$$W = \frac{Q_s [\text{kg/s}] \cdot v_1 [\text{m}^3/\text{kg}]}{A_1 [\text{m}^2]} = \frac{7,39 \cdot 0,03863}{0,00196} = \underline{\underline{145,4 \text{ m/s}}}$$

Коэффициент потерь подводного трубопровода ξ :

$$\xi_1 = 0,5 \dots \text{острогранный вход}$$

$$\xi_2 = \lambda \cdot \frac{L}{D_2} = 0,02 \cdot \frac{1000}{50} = 0,4$$

$$\zeta = \xi_1 + \xi_2 = 0,5 + 0,4 = \underline{\underline{0,9}}$$

Потеря давления в подводном трубопроводе:

$$\Delta p_z = \zeta \cdot \frac{w^2 (\text{m/s})^2}{2 \cdot v_1 (\text{m}^3/\text{kg})} = 0,9 \cdot \frac{145,4^2}{2 \cdot 0,03863} = 246273 \text{ kg/ms}^2 = 246273 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_z = \underline{\underline{0,246 \text{ МПа}}}.$$

* необходимо обсудить: шероховатость стены трубопровода может в течение работы значительно увеличиться (коррозия, настыль).

Потеря давления в подводном трубопроводе в % открывающего давления:

$$p_o = 4,7 \text{ МПа (g)}$$

$$\Delta p_z [\%] = \frac{\Delta p_z [\text{МПа}]}{p_o [\text{МПа}]} \cdot 100 = \frac{0,246}{4,7} \cdot 100 = 5,23\%$$

$\Delta p_z = 5,2\%$ открывающего давления, ČSN 13 4309-2 ст. А.1 предписывает 3%

5,2% > 3% ... необходимо поправить подводный трубопровод (ст.А.3 ČSN 13 4309-2).

Пример 3

Расчет допустимого коэффициента потерь ξ_p в подводном трубопроводе по отношению приведенном в TÜVIS Prüfgrundlage AD-A2 11/93.

Расчет проведется для подводного трубопровода для предохранительного клапана согласно примеру 2.

Согласно примеру 2 касается:

- предохранительного клапана P57 217 5100/400°C - Ду 50: $p_1 = 5,082 \text{ МПа (abs)}$, $A_o = 1256,6 \text{ mm}^2$, $\alpha_w = 0,714$.
- подводного трубопровода: внутренний диаметр $A_1 = 1963,5 \text{ mm}^2$, линейный коэффициент потерь подводного трубопровода: $\xi = 0,9$; должно действовать: $\xi_p \geq \xi$.
- рабочего вещества: насыщенный пар: $p_1 = 5,082 \text{ МПа (abs)}$, $t_1 = 265,15^\circ\text{C}$ и по рис. 1 ČSN 13 4309-3 следует изэнтропический экспонент $\chi = 1,09$.

Допустимый коэффициент потерь ξ_p согласно AD-A2 11/93:

$$\xi_p = \frac{1}{\chi} \cdot \left[C \cdot \left(\frac{A_1}{1,1 \cdot \alpha_w \cdot A_o} \right)^2 - 1 \right] \cdot \frac{\Delta p_R}{p_1} \cdot \left[1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\Delta p_R}{p_1} + 2 \cdot \left(\frac{\Delta p_R}{p_1} \right)^2 \right]$$

где:

$$C = 2 \cdot \left(\frac{\chi + 1}{2} \right)^{\frac{\chi + 1}{\chi - 1}} = 2 \cdot \left(\frac{1,09 + 1}{2} \right)^{\frac{1,09 + 1}{1,09 - 1}} = 5,584 \dots \dots \text{критическое истечение}$$

$$\frac{\Delta p_R}{p_1} = 0,03 \cdot \left(1 - \frac{p_{ao}}{p_1} \right) \dots \dots \text{отношение потери давления } \Delta p_R \text{ и абсолютного давления } p_1 \text{ перед предохранительным клапаном}$$

$$\frac{\Delta p_{ao}}{p_1} \dots \dots \text{отношение абсолютного давления за предохранительным клапаном } p_{ao} \text{ и абсолютного давления } p_1 \text{ перед предохранительным клапаном}$$

Считаем, что: $p_{ao} = 0,1 \text{ МПа (abs)}$.

$$\frac{\Delta p_R}{p_1} = 0,03 \cdot \left(1 - \frac{0,1}{5,082} \right) = 0,0294$$

$$\xi_p = \frac{1}{1,09} \cdot \left[5,584 \cdot \left(\frac{1963,5}{1,1 \cdot 0,714 \cdot 1256,6} \right)^2 - 1 \right] \cdot 0,0294 \cdot \left[1 + \frac{3}{2} \cdot 0,0294 + 2 \cdot 0,0294^2 \right]$$

$$\xi_p = \underline{\underline{0,595}}$$

$\zeta = 0,9 > \xi_p = 0,595$... в согласии с примером 2 подводный трубопровод не удовлетворяет и необходима отделка таким способом, чтобы $\xi \leq \xi_p$.