

КОТЛЫ ВОДОГРЕЙНЫЕ

КВ-Г-4,65—150 и КВ-Г-7,56—150

**Расчет на прочность основных
элементов, работающих под давлением**

Задачей данного расчета является определение приведенных напряжений, возникающих в основных элементах котлов, работающих под давлением, с последующей проверкой материалов и их толщин по условиям прочности

I. Коллектор верхний экрана бокового правого

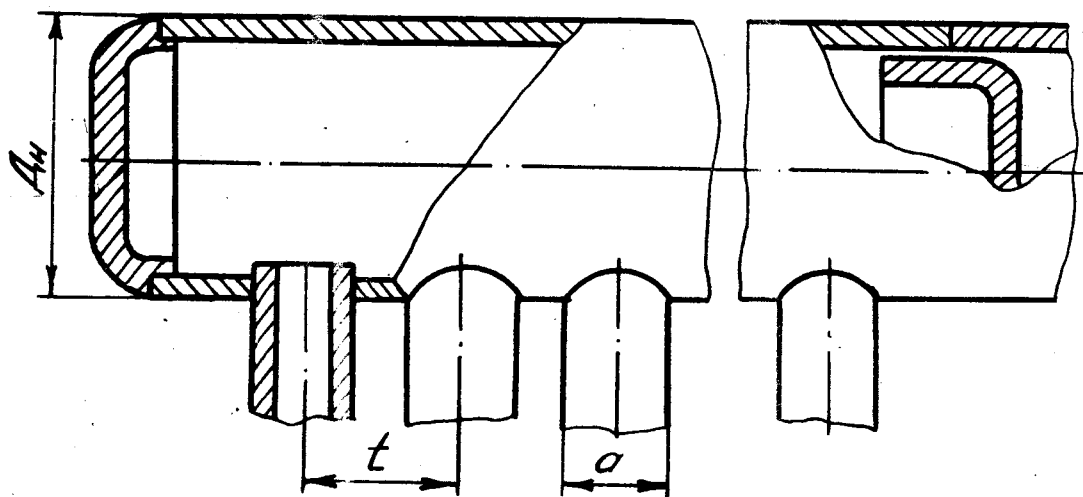


Рис. 1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа (кгс/см²) 1,6(16,3)
 Наружный диаметр коллектора D_n , мм 152
 Диаметр отверстия a , мм 52
 Продольный шаг отверстий t , мм 80
 Материал сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Коэффициент прочности φ коллектора, ослабленного продольным рядом отверстий с шагом t ,

$$\varphi = \frac{t-a}{t} = \frac{80-52}{80} = 0,35$$

Температура стенки коллектора

$$T_{ст} = T_{ср} + 30^\circ = 150^\circ + 30^\circ = 180^\circ \text{C}$$

где $T_{ср}$ — температура среды в коллекторе, °C

Принимаем $T_{ст} = 250^\circ \text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при $T_{ст} = 250^\circ \text{C}$ [523K]
 $(\sigma) = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$

Номинальная толщина стенки коллектора

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} + C = \frac{16,3 \cdot 152}{200 \cdot 0,35 \cdot 10,6 + 16,3} + C = 3,3 + C$$

Величина прибавки C к расчетной толщине стенки

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\text{где } C_1 = S \cdot \frac{A_1}{1 + A_1} = 6 \cdot \frac{0,18}{1 + 0,18} = 1 \text{ мм}$$

где A_1 — коэффициент, зависящий от величины минусового отклонения по толщине стенки,
 $A_1 = 0,18$

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 0$$

$$C_1 = 1$$

Толщина стенки коллектора

$$S = 3,3 + 1,0 = 4,3 \text{ мм}$$

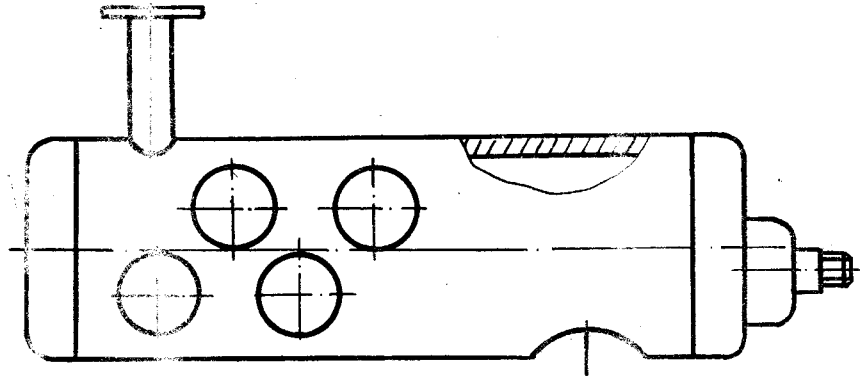
Принимаем толщину $S = 6 \text{ мм}$

$$\sigma_{пр} = \frac{P \cdot [D_n - (S - C)]}{200 \cdot \varphi \cdot (S - C)} = \frac{16,3 [152 - 5]}{200 \cdot 0,35 \cdot 5} = 6,8 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{пр} < \sigma_{доп.}$$

$$6,8 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

2. Коллектор верхний правый конвективной части



РАЗВЕРТКА

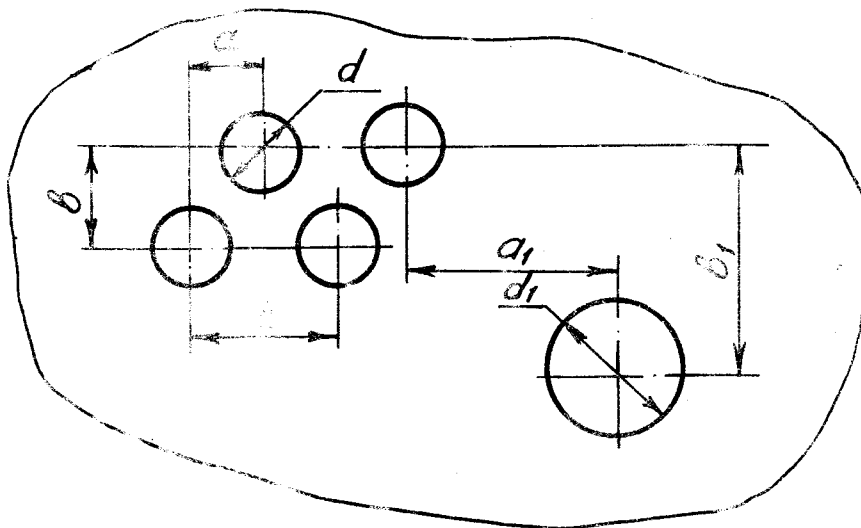


Рис. 2

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа [кгс/см ²]	1,6 [16,3]
Наружный диаметр трубы коллектора D_n , мм	152
Поперечный шаг отверстий b , мм	52
Продольный шаг отверстий a , мм	128
Расположение отверстий в коллекторе по продольной оси a_1 , мм	64
Шаг в продольном направлении a_1 , мм	105
Шаг в поперечном направлении b_1 , мм	98,8
Диаметр отверстия мм:	
d	52
d_1	104
Материал	Сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Температура стенки коллектора

$$T_{ст} = T_{ср} = 150^{\circ}\text{C}$$

где $T_{ср}$ — температура среды в коллекторе, $^{\circ}\text{C}$

Принимаем $T_{ст} = 250^{\circ}\text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при $T_{ст} = 250^{\circ}$ [523 K] — $[\sigma] = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$

Среднеарифметическая величина отверстия

$$d_{ср} = \frac{d_1 + d}{2} = \frac{104 + 52}{2} = 78 \text{ мм}$$

Приведенный коэффициент прочности в косом направлении

$$\varphi_k = \frac{1 - \frac{d}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{m_2}{1+m_2} \right)^2}} = \frac{1 - \frac{52}{64} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0,8125^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{0,8125^2}{1+0,8125^2} \right)^2}} = 0,394$$

$$\text{где величина } m = \frac{b}{a} = \frac{52}{64} = 0,8125$$

Приведенный коэффициент прочности в продольном направлении

$$\varphi_{пр} = \frac{t-d}{t} = \frac{128-52}{128} = 0,594$$

Приведенный коэффициент прочности

$$\varphi_1 = \frac{1 - \frac{d_{ср}}{a_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m_1^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{m_1}{1+m_1^2} \right)^2}} = \frac{1 - \frac{78}{105} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+0,94^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{0,94^2}{1+0,94^2} \right)^2}} = 0,55$$

$$\text{где величина } m_1 = \frac{b_1}{a_1} = \frac{988}{105} = 0,94$$

Расчетный приведенный коэффициент прочности $\varphi = \varphi_{\min} = 0,394$

Величина прибавки к расчетной толщине стенки $C = 1 \text{ мм}$

Номинальная толщина стенки коллектора

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P} + C = \frac{16,3 \cdot 152}{200 \cdot 0,394 \cdot 10,6 - 16,3} + 1 = 3,9$$

Принимаем толщину $S = 6 \text{ мм}$

Приведенное напряжение

$$\sigma_{пр} = \frac{P \cdot [D_n - (S - C)]}{200 \cdot \varphi \cdot (S - C)} = \frac{16,3 [152 - 5]}{200 \cdot 0,394 \cdot 5} = 6,08 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{пр} < \sigma_{доп}$$

$$6,08 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

3. Перепускная труба

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление $P, \text{МПа} [\text{кгс/см}^2]$ _____ 1,6 [16,3]

Наружный диаметр трубы $D_n, \text{мм}$ _____ 102

Материал _____ Сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Температура стенки трубы

$$T_{ст} = T_{ср} = 150^{\circ}\text{C},$$

где $T_{ср}$ — температура среды в трубе, $^{\circ}\text{C}$

Принимаем $T_{ст} = 250^{\circ}\text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при $T_{ст} = 250^{\circ}\text{C}$ [523 K] — $[\sigma] = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$

Номинальная толщина стенки трубы

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} + C = \frac{16,3 \cdot 102}{200 \cdot 1 \cdot 10,6 + 16,3} + 1 = 1,78 \text{ мм}$$

где φ — приведенный коэффициент прочности, $\varphi = 1$
 C — величина прибавки к расчетной толщине стенки, $C = 1$ мм
 Принимаем толщину стенки $S = 6$ мм

$$\text{Приведенное напряжение } \sigma_{\text{пр}} = \frac{P \cdot [D_n - (S - C)]}{200 \cdot \varphi (S - C)} ;$$

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{16,3(102 - 5)}{200 \cdot 1 \cdot 5} = 1,58 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{пр}} < \sigma_{\text{доп}} \\ 1,58 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

4. Труба потолочного экрана

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа [кгс/см²] _____ 1,6 [16,3]

Наружный диаметр трубы D_n , мм _____ 51

Материал _____ Сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Температура стенки трубы

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{ср}} + 30^\circ \text{C} = 150^\circ + 30^\circ = 180^\circ \text{C}$$

где $T_{\text{ср}}$ — температура среды в трубе, °C

Принимаем $T_{\text{ст}} = 250^\circ \text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при $T_{\text{ст}} = 250^\circ \text{C}$
 (523 K) — $[\sigma] = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$

Номинальная толщина стенки трубы

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} + C = \frac{16,3 \cdot 51}{200 \cdot 1 \cdot 10,6 + 16,3} + 1 = 1,4 \text{ мм}$$

где φ — приведенный коэффициент прочности, $\varphi = 1$
 C — величина прибавки к расчетной толщине стенки, $C = 1$ мм
 Принимаем толщину стенки $S = 3$ мм

Приведенное напряжение:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{P \cdot [D_n - (S - C)]}{200 \cdot \varphi (S - C)} = \frac{16,3(51 - 2)}{200 \cdot 1 \cdot 2} = 1,3 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{пр}} < \sigma_{\text{доп}} \\ 1,3 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

5. Труба конвективной части

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа [кгс/см²] _____ 1,6 [16,3]

Наружный диаметр трубы D_n , мм _____ 28

Материал _____ Сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Температура стенки трубы:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{ср}} + 30^\circ \text{C} = 150^\circ \text{C} + 30^\circ \text{C} = 180^\circ \text{C}$$

где $T_{\text{ср}}$ — температура среды в трубе, °C

Принимаем $T_{\text{ст}} = 250^\circ \text{C}$ (523 K)

Номинальное допустимое напряжение при

$T_{\text{ст}} = 250^\circ \text{C}$ (523 K) — $[\sigma] = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$

Номинальная толщина стенки трубы

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} + C = \frac{16,3 \cdot 28}{200 \cdot 1 \cdot 10,6 + 16,3} + 0,5 = 0,71 \text{ мм}$$

где φ — приведенный коэффициент прочности, $\varphi = 1$
 C — величина прибавки к расчетной толщине стенки, $C = 0,5$ мм
 Принимаем толщину стенки $S = 3$ мм

Приведенное напряжение

$$\sigma_{пр} = \frac{P \cdot [D_n - (S - C)]}{200 \cdot \varphi \cdot (S - C)} = \frac{16,3(28 - 2,5)}{200 \cdot 1,2,5} = 0,83 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{пр} < \sigma_{доп.}$$

$$0,83 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

6. Стояк

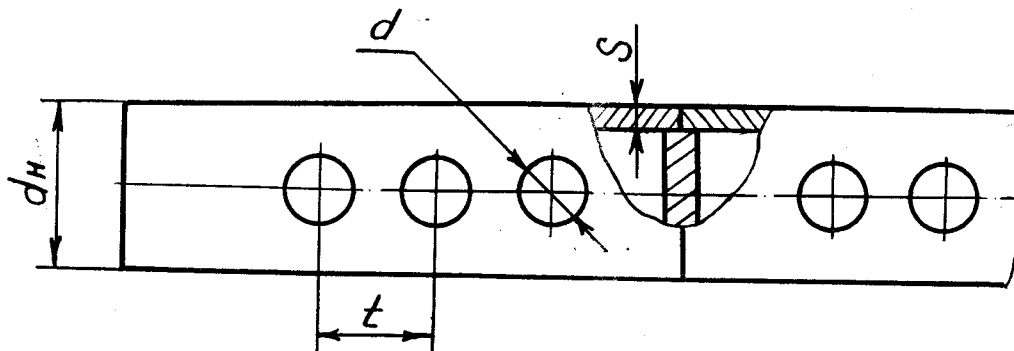


Рис. 3

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P, МПа [кгс/см ²]	1,6 [16,3]
Наружный диаметр трубы D _n , мм	51
Шаг отверстий t, мм	52
Диаметр отверстий d, мм	28,5
Материал	Сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Температура стенки стояка

$$T_{ст} = T_{ср} + 30 \text{ } ^\circ\text{C} = 150^\circ + 30 = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где T_{ср} — температура среды в стояке, $^\circ\text{C}$

Принимаем T_{ст} = 250 $^\circ\text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при

$$T_{ст} = 250 \text{ } ^\circ\text{C} [523 \text{ K}] \text{ — } [\sigma] = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

Расчетная толщина стенки стояка

$$S - C = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} = \frac{16,3 \cdot 51}{200 \cdot 0,321 \cdot 10,6 + 16,3} = 1,2 \text{ мм}$$

где φ — приведенный коэффициент прочности

$$\varphi = \frac{t - d}{t} = \frac{52 - 28,5}{52} = 0,45$$

Величина прибавки к расчетной толщине стояка

$$C_1 - A_1(S - C) = 0,15 \cdot 1,2 = 0,18 \text{ мм}$$

где A₁ — коэффициент, зависящий от величины минусового отклонения по толщине стояка; A₁ = 0,15

Принимаем величину прибавки к расчетной толщине стояка C₁ = 1 мм

Отсюда номинальная толщина стенки стояка

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \varphi \cdot [\sigma] + P} + C = 1,2 + 1 = 2,2 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки S = 3 мм

Приведенное напряжение

$$\sigma_{пр} = \frac{P[D_n - (S - C)]}{200 \cdot \varphi(S - C)} = \frac{16,3(51 - 2)}{200 \cdot 0,45 \cdot 2} = 4,44 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{пр} < \sigma_{доп}$$

$$4,44 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

7. Стояк заднего экрана

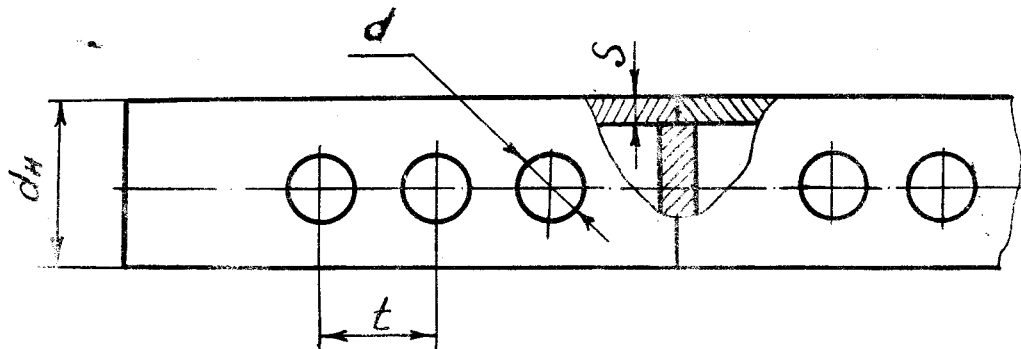


Рис. 4

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа (кгс/см²) _____ 1,6 (16,3)
 Наружный диаметр трубы D_n , мм _____ 57
 Диаметр отверстий d , мм _____ 28,5
 Шаг отверстий t , мм _____ 58
 Материал _____ Сталь 10

Расчет толщины стенки и приведенного напряжения

Температура стенки стояка

$$T_{ст} = T_{ср} + 30^\circ\text{C} = 150 + 30 = 180^\circ\text{C}$$

где $T_{ср}$ — температура среды в стояке, $^\circ\text{C}$

Принимаем $T_{ст} = 250^\circ\text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при

$$T_{ст} = 250^\circ\text{C} [523 \text{ K}] - [\sigma] = 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

Номинальная толщина стенки стояка

$$S - C = \frac{P \cdot D_n}{20 \cdot \phi \cdot [\sigma] + P} = \frac{16,3 \cdot 57}{200 \cdot 0,508 \cdot 10,6 + 16,3} = 0,85 \text{ мм}$$

где ϕ — приведенный коэффициент прочности

$$\phi = \frac{t - d}{t} = \frac{58 - 28,5}{58} = 0,508$$

Величина прибавки к расчетной толщине стояка

$$C_1 = A_1(S - C) = 0,20 \cdot 0,85 = 0,17 \text{ мм}$$

где A_1 — коэффициент, зависящий от величины минусового отклонения по толщине стояка,

$$A_1 = 0,20$$

Принимаем величину прибавки к расчетной толщине стояка $C_1 = 1 \text{ мм}$

Отсюда номинальная толщина стенки стояка

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot \phi \cdot [\sigma] + P} + C_1 = 0,85 + 1 = 1,85 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки $S = 3,5 \text{ мм}$

Приведенное напряжение

$$\sigma_{пр} = \frac{P \cdot [D_n - (S - C)]}{200 \cdot \phi \cdot (S - C)} = \frac{16,3 (57 - 2,5)}{200 \cdot 0,508 \cdot 2,5} = 3,49 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{пр} < \sigma_{доп}$$

$$3,49 \text{ кгс/мм}^2 < 10,6 \text{ кгс/мм}^2$$

8. Донышко с отверстием

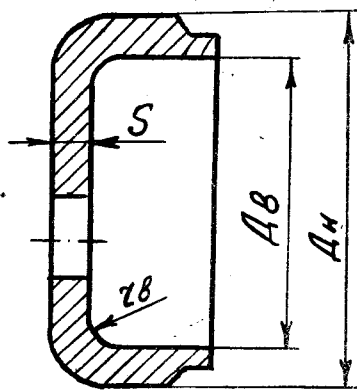


Рис. 5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа (кгс/см²) 1,6 (16,3)
 Наружный диаметр донышка D_n , мм 152
 Внутренний диаметр донышка D_v , мм 132
 Внутренний радиус скругления донышка $г в$, мм 5
 Материал донышка Сталь 20 К

Расчет толщины донышка

Температура стенки донышка
 $T_{ст} = T_{ср} = 150^\circ C$

где $T_{ср}$ — температура среды, $^\circ C$

Принимаем $T_{ст} = 250^\circ C$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при

$T_{ст} = 250^\circ$ [523 K] — $[\sigma] = 13,2$ кгс/мм²

Коэффициент, характеризующий тип донышка

$K = 0,45$

Коэффициент, учитывающий ослабление донышка отверстием $d_{max} = 102$ мм:

$K_0 = 0,77$

Толщина донышка с отверстием:

$$S = \frac{K(D_v - гв)}{K_0} \cdot \sqrt{\frac{P}{100 \cdot [\sigma]}} = \frac{0,45 (132 - 5)}{0,77} \cdot \sqrt{\frac{16,3}{100 \cdot 13,2}} = 8,4 \text{ мм}$$

Принимаем толщину донышка $S = 8,5$ мм

9. Доннышко глухое

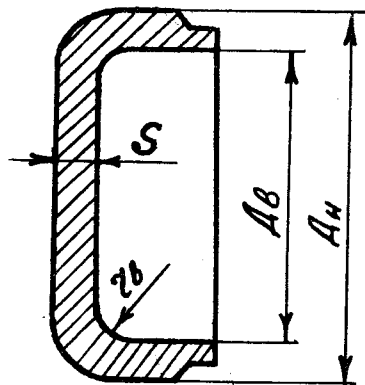


Рис. 6

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа (кгс/см²) _____ 1,6 (16,3)
 Наружный диаметр доньшка D_n , мм _____ 152
 Внутренний диаметр доньшка D_v , мм _____ 132
 Внутренний радиус скругления доньшка r_v , мм _____ 5
 Материал доньшка _____ Сталь 20 К

Расчет толщины доньшка

Температура стенки доньшка
 $T_{ст} = T_{ср} = 150^\circ\text{C}$
 где $T_{ср}$ — температура среды, $^\circ\text{C}$
 Принимаем $T_{ст} = 250^\circ\text{C}$ (523 К)
 Номинальное допустимое напряжение при
 $T_{ст} = 250^\circ\text{C}$ (523 К) — $[\sigma] = 13,2 \text{ кгс/мм}^2$
 Коэффициент, характеризующий тип доньшка $K = 0,45$
 Коэффициент, учитывающий ослабление доньшка (для доньшка без отверстия) $K_0 = 1$
 Толщина доньшка

$$S = \frac{k(D_v - r_v)}{K_0} \sqrt{\frac{P}{100 \cdot [\sigma]}} = \frac{0,45(132 - 5)}{1} \cdot \sqrt{\frac{16,3}{100 \cdot 13,2}} = 6,35 \text{ мм}$$

Принимаем толщину доньшка $S = 8,5 \text{ мм}$

10. Заглушка

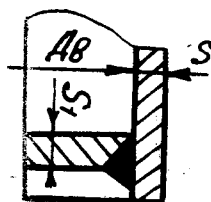


Рис. 7

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетное избыточное давление P , МПа (кгс/см²) _____ 1,6 (16,3)
 Внутренний диаметр заглушки D_v , мм _____ 140
 Материал заглушки _____ Сталь 20 К

Расчет толщины заглушки

Температура стенки заглушки
 $T_{ст} = T_{ср} = 150^\circ\text{C}$
 где $T_{ср}$ — температура среды, $^\circ\text{C}$
 Принимаем $T_{ст} = 250^\circ\text{C}$ [523 К]
 Номинальное допустимое напряжение при
 $T_{ст} = 250^\circ\text{C}$ [523 К] — $[\sigma] = 13,2 \text{ кгс/мм}^2$
 Расчетная толщина стенки
 $S_0 = \frac{P \cdot D_v}{200 \cdot [\sigma] - P} = \frac{16,3 \cdot 140}{200 \cdot 13,2 - 16,3} = 0,8 \text{ мм}$
 Коэффициент, характеризующий ослабление заглушки [без отверстия] $K_0 = 1$
 Коэффициент, характеризующий тип заглушки
 $K = 0,55 \cdot K_1 = 0,55 \cdot 0,9 = 0,495$
 где K_1 — коэффициент, выбирается по номограмме, $K_1 = 0,9$
 Толщина заглушки

$$S_1 = \frac{k D_v}{K_0} \cdot \sqrt{\frac{P_0}{100 [\sigma]}} = \frac{0,495 \cdot 140}{1} \cdot \sqrt{\frac{16,3}{100 \cdot 13,2}} = 7,7 \text{ мм}$$

Принимаем толщину заглушки $S_1 = 10 \text{ мм}$

11. Заглушка стояка экрана заднего

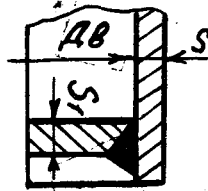


Рис. 6

Расчетное избыточное давление P , МПа [кгс/см²] _____ 1,6 [16,3]
 Внутренний диаметр заглушки D_v , мм _____ 49
 Материал заглушки _____ Сталь 20 К

Расчет толщины заглушки

Температура стенки заглушки

$$T_{ст} = T_{ср} = 150^{\circ}\text{C}$$

где $T_{ср}$ — температура среды, $^{\circ}\text{C}$

Принимаем $T_{ст} = 250^{\circ}\text{C}$ [523 K]

Номинальное допустимое напряжение при

$$T_{ст} = 250^{\circ}\text{C} (523 \text{ K}) - [\sigma] = 13,2 \text{ кгс/мм}^2$$

Расчетная толщина стенки

$$S_0 = \frac{P \cdot D_v}{200 [\sigma] - P} = \frac{16,3 \cdot 49}{200 \cdot 13,2 - 16,3} = 0,3 \text{ мм}$$

Коэффициент, характеризующий ослабление заглушки (без отверстия): $K_0 = 1$

Коэффициент, характеризующий тип заглушки

$$K = 0,55 \cdot K_1 = 0,55 \cdot 0,9 = 0,495$$

где K_1 — коэффициент, выбирается по номограмме, $K_1 = 0,9$

Толщина заглушки

$$S_1 = \frac{K \cdot D_v}{K_0} \sqrt{\frac{P}{100 \cdot [\sigma]}} = \frac{0,495 \cdot 49}{1} \sqrt{\frac{16,3}{100 \cdot 13,2}} = 2,5 \text{ мм}$$

Принимаем толщину заглушки $S_1 = 8 \text{ мм}$