

Лист приема

**Сосуд, работающий под избыточным рабочим давлением, объемом  
0,0695 м<sup>3</sup> с максимально допустимым рабочим давлением 4МПа,  
модель АН**

Идентификационный (заводской) номер №200859 КЖТ (33-50)

Лист №

**Расчет на прочность**

Подпись и дата

Имя № докум

Возм. или №

Подпись и дата

Имя № докум

Расчет на прочность производится согласно ГОСТ 34233.2-2017 с учетом требований ГОСТ 34233.1-2017, ГОСТ 34233.7-2017.

• **Исходные данные**

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Номинальная толщина стенки корпуса	S <sub>к</sub>	мм	10.0
Номинальная толщина стенки днищ	S <sub>д</sub>	мм	10.0
Номинальная толщина стенки труб	S <sub>т</sub>	мм	1.0
Внутренний диаметр корпуса	D <sub>к</sub>	мм	357.0
Внутренний диаметр днища	D <sub>д</sub>	мм	361.0
Внутренний диаметр штуцера трубного пространства	D <sub>1ш</sub>	мм	48
Внутренний диаметр штуцера пространства корпуса	D <sub>2ш</sub>	мм	128
Толщина стенки штуцеров	S <sub>ш</sub>	мм	6
Диаметр труб	D <sub>т</sub>	мм	8.0
Расчётное давление в корпусе	P <sub>к</sub>	МПа	4.0
Расчётное давление в трубном пространстве	P <sub>т</sub>	МПа	1.6
Расчётная температура среды	t	°C	100
Рабочая среда	-	-	Газ

• **Расчёт толщины корпуса, нагруженного внутренним избыточным давлением**

Условия применения расчетных формул

$$\frac{S_k - c}{D_k} \leq 0.1$$

$$\frac{10.0 - 1.0}{357} \leq 0.1$$

$$0.025 \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняется

Допускаемую толщину стенки вычисляют по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 5.3.1.1, формула (1)]:

$$[S]_k \geq S_p + c$$

c = c<sub>1</sub> + c<sub>2</sub> + c<sub>3</sub> [ГОСТ 34233.1-2017, п.12.1, формула (17)]

c<sub>1</sub> = 1.0 мм (прибавка для компенсации коррозии и эрозии)

c<sub>2</sub> = 0 мм (прибавка для компенсации минусового допуска)

c<sub>3</sub> = 0 мм (прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях)

где расчетную толщину стенки вычисляют по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 5.3.1.1, формула (2)]:

$$S_p = \frac{P_k \cdot D_k}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_k - P_k}$$

[σ]<sub>к</sub> = 156 МПа – допускаемое напряжение при рабочей температуре для стали AISI 304 (аналог стали 08X18H10T) (таблица А.1 ГОСТ 34233.1-2017)

φ = 1.0 - коэффициент прочности сварного шва (таблица Д.1 ГОСТ 34233.1-2017)

Подставляя значения, получаем:

$$S_p = \frac{4 \cdot 357}{2 \cdot 1 \cdot 156 - 4} = 4.6 \text{ мм}$$

$$[S]_k = 4.6 + 1.0 = 5.6 \text{ мм} \leq S_k = 10.0 \text{ мм}$$

Проектная (паспортная) толщина стенки больше допускаемой.

**Запас прочности по толщине стенки обеспечивается.**

**• Расчёт допускаемого давления в корпусе**

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 5.3.1.1, формула (3)]:

$$[p]_к = \frac{2 \cdot (S_к - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_к}{D_к + (S_к - c)},$$

$$[p]_к = \frac{2 \cdot (10.0 - 1.0) \cdot 1 \cdot 156}{357 + (10.0 - 1.0)} = 7.7 \text{ МПа};$$

Величина расчётного давления ( $P_к = 4.0$  МПа) и пробного давления ( $P_{пр} = 5.0$  МПа) при гидравлических испытаниях не превышают полученные допускаемые значения по результатам расчёта.

**Запас прочности по допускаемому давлению обеспечивается.**

**• Расчёт толщины штуцеров, нагруженных внутренним избыточным давлением**

Условия применения расчетных формул

$$\frac{S_{1ш} - c}{D_{1ш}} \leq 0.1$$

$$\frac{6.0 - 1.0}{48} \leq 0.1$$

$$0.010 \leq 0.1$$

$$\frac{S_{2ш} - c}{D_{2ш}} \leq 0.1$$

$$\frac{6.0 - 1.0}{128} \leq 0.1$$

$$0.004 \leq 0.1$$

**Условие применимости формул выполняется**

Допускаемую толщину стенки вычисляют по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 5.3.1.1, формула (1)]:

$$[S]_p \geq S_p + c$$

$c = c_1 + c_2 + c_3$  [ГОСТ 34233.1-2017, п.12.1, формула (17)]

$c_1 = 1.0$  мм (прибавка для компенсации коррозии и эрозии)

$c_2 = 0$  мм (прибавка для компенсации минусового допуска)

$c_3 = 0$  мм (прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях)

где расчетную толщину стенки штуцеров вычисляют по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 5.3.1.1, формула (2)]:

$$S_{1p} = \frac{P_{1ш} \cdot D_{1ш}}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{ш} - P_{1ш}}$$

$$S_{2p} = \frac{P_{2ш} \cdot D_{2ш}}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{ш} - P_{2ш}}$$

$[\sigma]_{ш} = 156$  МПа – допускаемое напряжение при рабочей температуре для стали AISI 304 (аналог стали 08X18H10T) (таблица А.1 ГОСТ 34233.1-2017)

$\varphi = 1.0$  - коэффициент прочности сварного шва (таблица Д.1 ГОСТ 34233.1-2017)

Подставляя значения, получаем:

$$S_{1p} = \frac{1,6 \cdot 48}{2 \cdot 1 \cdot 156 - 1,6} = 0,25 \text{ мм}$$

$$[S]_{1к} = 0,25 + 1,0 = 1,25 \text{ мм} \leq S_{ш} = 6,0 \text{ мм}$$

$$S_{2p} = \frac{4,0 \cdot 128}{2 \cdot 1 \cdot 156 - 4,0} = 1,66 \text{ мм}$$

$$[S]_{1к} = 1,66 + 1,0 = 2,66 \text{ мм} \leq S_{ш} = 6,0 \text{ мм}$$

**• Расчёт допустимого давления в штулерах**

Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 5.3.1.1, формула (3)]:

$$[p]_{1ш} = \frac{2 \cdot (S_{ш} - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{ш}}{D_{1ш} + (S_{ш} - c)},$$

$$[p]_{1ш} = \frac{2 \cdot (6,0 - 1,0) \cdot 1 \cdot 156}{48 + (6,0 - 1,0)} = 29,4 \text{ МПа};$$

$$[p]_{2ш} = \frac{2 \cdot (S_{ш} - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{ш}}{D_{2ш} + (S_{ш} - c)},$$

$$[p]_{2ш} = \frac{2 \cdot (6,0 - 1,0) \cdot 1 \cdot 156}{128 + (6,0 - 1,0)} = 11,73 \text{ МПа};$$
$$= 11,73 \text{ МПа}$$

Величина расчётного давления ( $P_k = 1,6 \text{ МПа}$ ) и пробного давления ( $P_{пр} = 6,3 \text{ МПа}$ ) при гидравлических испытаниях не превышают полученные допускаемые значения по результатам расчёта.

**Запас прочности по допускаемому давлению обеспечивается.**

**• Расчет прочности и устойчивости кожуха**

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке [ГОСТ 34233.7-2017, п. 5.2.6.1, формула (53)]:

$$\sigma_{мх} \leq 1,3 \cdot [\sigma]_к$$
$$142 \leq 1,3 \cdot 156 = 202,8 \text{ МПа}$$

где  $\sigma_{мх} = 114,2 \text{ МПа}$  - мембранные напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке в меридиональном направлении, МПа (рисунок 1).

**Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке обеспечивается.**

**• Расчёт эллиптических днищ**

Условие применимости формул для эллиптических днищ [ГОСТ 34233.2-2017, п. 6.2.1]

$$0,002 \leq \frac{S_d - c}{D_d} \leq 0,1;$$

$$0,002 \leq \frac{10,0 - 1,0}{361} = 0,025 \leq 0,1;$$

$$0,2 \leq \frac{H}{D_d} < 0,5;$$

$$0,2 \leq \frac{82}{361} = 0,23 < 0,5;$$

где  $H = 82 \text{ мм}$  - высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической части

**Условие применимости формул выполняется**

Исполнительная толщина стенки эллиптического днища определяется по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 6.3.1.1, формула 42]:

$$[s]_д \geq s_p + c$$

где расчётная толщина стенки эллиптического днища определяется по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 6.3.1.1, формула 43]:

$$\text{где } s_p = \frac{P_k \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_д \cdot \varphi - 0.5 \cdot P_k}$$

$[\sigma]_д = 156$  МПа – допускаемое напряжение при рабочей температуре для стали AISI 304 (аналог стали 08X18H10T) (таблица А.1 ГОСТ 34233.1-2017)

R - радиус кривизны в вершине днища вычисляется по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 6.3.1.31, формула 45]:

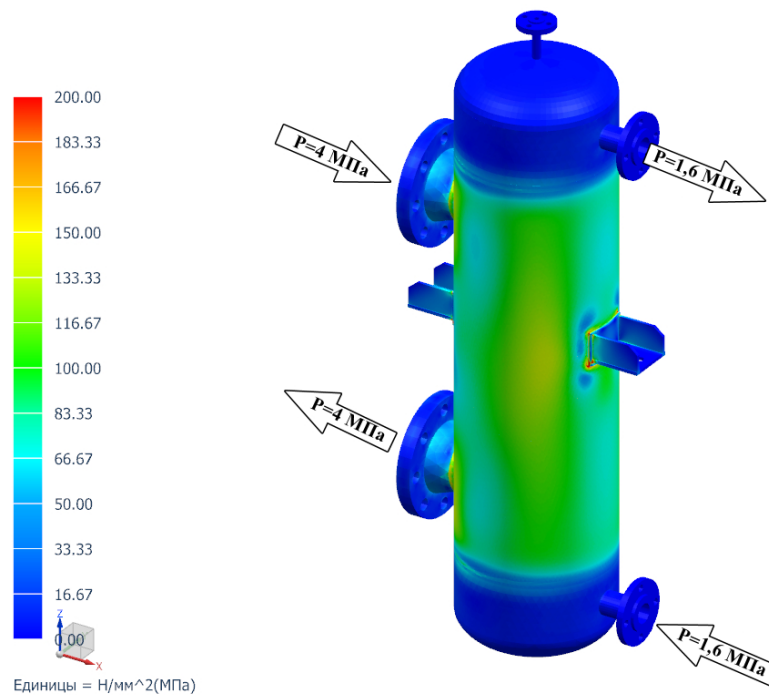
$$R = \frac{D_д^2}{4 \cdot H} = 397 \text{ мм};$$

подставляя значения получаем:

$$s_p = \frac{4.0 \cdot 397}{2 \cdot 156 \cdot 1.0 - 0.5 \cdot 4} = 5.1 \text{ мм}$$

$$[s]_д = 5.1 + 1.0 = 6.1 \text{ мм} \leq S_д = 10.0 \text{ мм}$$

Проектная (паспортная) толщина стенки больше допускаемой.  
**Запас прочности по толщине стенки обеспечивается.**



Результаты расчета на прочность				
Наименование детали	Расчетное давление, МПа	Материал	Предел текучести, МПа	Максимальные напряжения, МПа
Корпус	4,0	AISI 304	156	114,2
Трубка 8x1	1,6	AISI 321	174	81,0

Рисунок 1. Схема нагружения

План № 01/00000

Стр. № 1

Подпись и дата

Имя № 01/00000

Роль и имя №

Подпись и дата

Имя № 01/00000

**• Расчёт допустимого давления днищ**

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле [ГОСТ 34233.2-2017, п. 6.3.1.2, формула 44]:

$$[p]_д = \frac{2 \cdot [\sigma]_д \cdot \varphi \cdot (s_д - c)}{R + 0.5 \cdot (s_д - c)}$$
$$[p]_д = \frac{2 \cdot 156 \cdot 1.0 \cdot (10.0 - 1.0)}{397 + 0.5 \cdot (10.0 - 1.0)} = 7 \text{ МПа}$$

Величина расчётного давления ( $P_T = 1.6$  МПа) и пробного давления ( $P_{пр} = 2.0$  МПа) при гидравлических испытаниях не превышают полученные допускаемые значения по результатам расчёта.

**Запас прочности по допускаемому давлению обеспечивается.**

**• Расчёт на прочность труб**

Условие статической прочности труб [ГОСТ 34233.7-2017, п. 5.2.7.1 формула 57]:

$$\max \{ \sigma_{1T}; \sigma_{2T} \} \leq [\sigma]_T$$

$$\max \{ \sigma_{1T}; \sigma_{2T} \} = 81.0 \text{ МПа (согласно схеме нагружения – рисунок 1)}$$

$[\sigma]_T = 174$  МПа – допускаемое напряжение при рабочей температуре для стали AISI 321 (12X18H10T) (таблица А.3 ГОСТ 34233.1-2017)

$$81.0 \text{ МПа} \leq 174 \text{ МПа}$$

**Условие статической прочности труб выполняется**

**Заключение:**

По данным расчетов конструкция теплообменного аппарата соответствует требованиям нормативных документов и рассчитана на эксплуатацию при заданных характеристиках рабочей среды.