

для огнетушителя порошкового

РП 001.ОП-8(6)-АВСЕ-01Ш



Оглавление

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	4
3. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И НОМИНАЛЬНЫЕ ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ.....	5
4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА.....	6
5. РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ.....	11
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	15

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчет на статическую прочность сосуда стального сварного: баллона высокого давления из стали (далее «сосуд») выполнен на основании технической документации ГОСТ 34347-2017 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия».

Расчет выполнен с применением ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования».

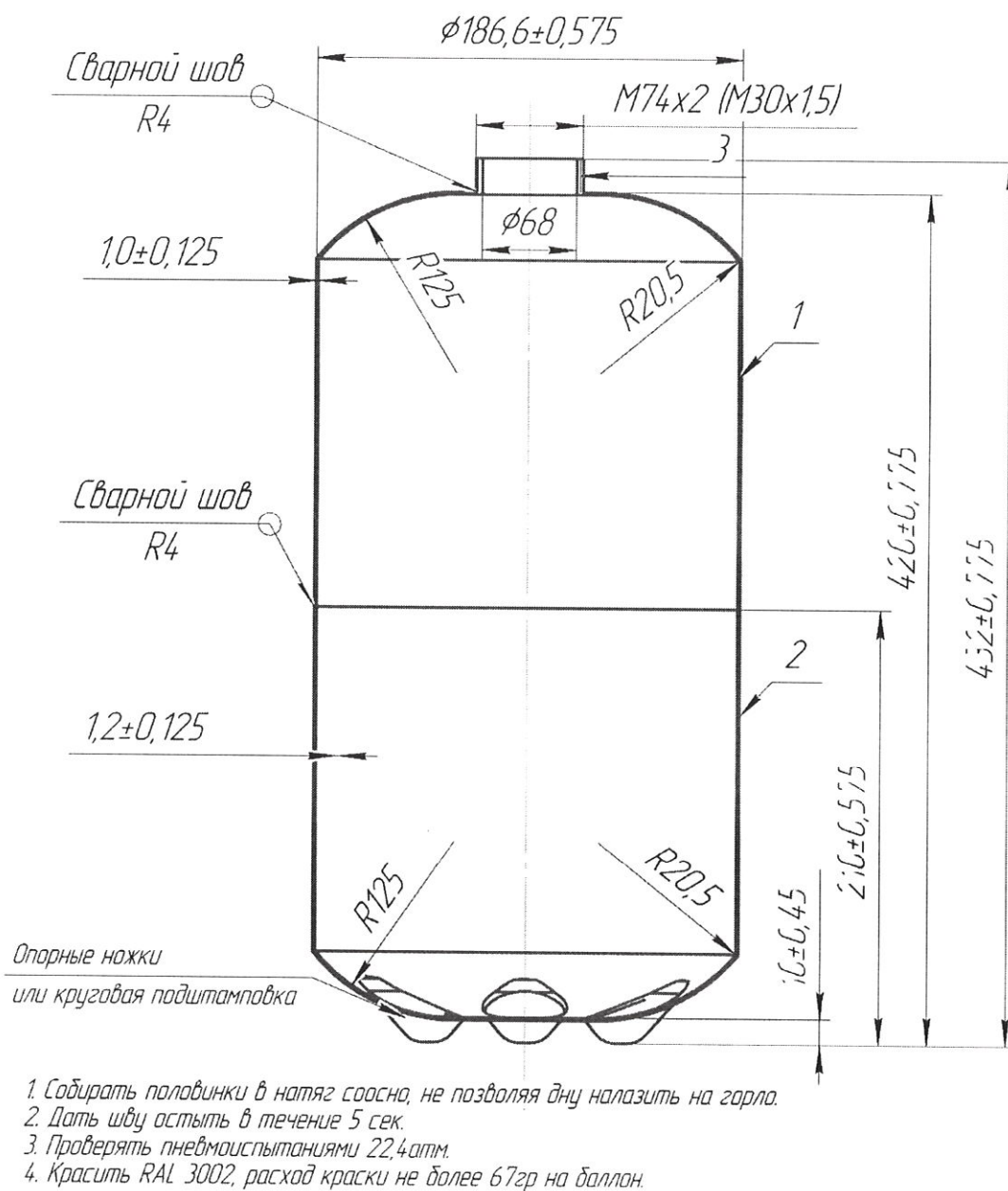


Рис.1.1 – Общий вид сосуда

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Расчетные параметры:

Таблица 1

Изделие	Класс давления	Номинальное давление P_p , МПа	Расчетная температура T_p , $^{\circ}\text{C}$
Сосуд	PN16	1,6	50.0

2.2 Расчет выполнен методом конечных элементов в трёхмерной постановке.

2.3 Оценка статической прочности выполнена для двух расчетных состояний (р/с):

- р/с №1 – номинальное давление – 1,6 МПа;
- р/с №2 – давление испытаний – 2,2 МПа;

2.4 Нагрузки, учтенные при оценке статической прочности:

- внутреннее давление.

3. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ И НОМИНАЛЬНЫЕ ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

3.1 Номинальные допускаемые напряжения для корпусных деталей определены в соответствии с разделом 8 ГОСТ 34233.1-2017 (п. 8.1):

рабочие условия: $[\sigma] = \eta \times \min (R_m/2.4; R_{p0.2}/1.5)$;

условия испытания: $[\sigma]_h = \eta \times R_{p0.2}/1.1$;

где η - поправочный коэффициент, для стальных отливок, не подвергающихся индивидуальному контролю неразрушающими методами, $\eta = 0.7$;

R_m – минимальное значение временного сопротивления;

$R_{p0.2}$ – минимальное значение предела текучести.

3.2 Характеристики материалов и допускаемые напряжения:

Таблица 2

Наименование детали	Марка материала	Характеристики и напряжения, МПа	
Корпус	08Ю	R_m , МПа	255
		$R_{p0.2}$, МПа	205
		$E \times 10^{-3}$, МПа	203

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа. ANSYS аттестован в ГОСАТОМНАДЗОРЕ России (Регистрационный номер ПС в ЦОЭП при РНЦ КИ №490 от 10.09.2002); (Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №145 от 31.10.2002), а также выдано свидетельство РААСН о верификации ANSYS № 02/ANSYS/2009.

Расчет, выполняемый программой ANSYS, основан на классических инженерных представлениях и концепциях. При помощи численных методов эти концепции могут быть сформулированы в виде матричных уравнений, которые наиболее пригодны для конечно-элементных приложений.

Совокупность дискретных областей (элементов), связанных между собой в конечном числе точек (узлов), представляет собой математическую модель системы, поведение которой нужно анализировать. Основными неизвестными являются степени свободы узлов конечно-элементной модели. К степеням свободы относятся перемещения, повороты, температуры, давления, скорости, потенциалы электрических или магнитных полей; их конкретное содержание определяется типом элемента, который связан с данным узлом. В соответствии со степенями свободы для каждого элемента модели формируются матрицы масс, жесткости (или теплопроводности) и сопротивления (или удельной теплоемкости). Эти матрицы приводят к системам совместных уравнений, которые обрабатываются так называемыми “решателями”.

Для материалов с линейными свойствами напряжения связаны с деформациями соотношением:

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\}, \quad (1-1)$$

где $\{\sigma\} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{xz}]^T$ - вектор напряжений (как выходная величина помечается меткой S);

$[D]$ – матрица упругости (описывается уравнениями (1-18) ...

(1-3), обратная матрица записывается в виде (1-4) и (1-5);

$\{\epsilon_l\} = \{\epsilon\} - \{\epsilon_{th}\}$ - выходной массив;

$\{\epsilon\} = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \epsilon_z \ \epsilon_{xy} \ \epsilon_{xz} \ \epsilon_{yz}]^T$ - вектор полной (суммарной) деформации;

$\{\epsilon_{th}\}$ – вектор температурной деформации (определяется соотношением (1-3)).

Компоненты вектора напряжений показаны на Рис. 1-1. Для используемых в программе ANSYS напряжений и деформаций принято следующее правило знаков: величины, относящиеся к растяжению, являются положительными, к сжатию - отрицательными. Компоненты сдвига считаются положительными, если их направления совпадают с направлениями соответствующих координатных осей. Деформации сдвига представляют собой инженерные деформации, а не компоненты тензора.

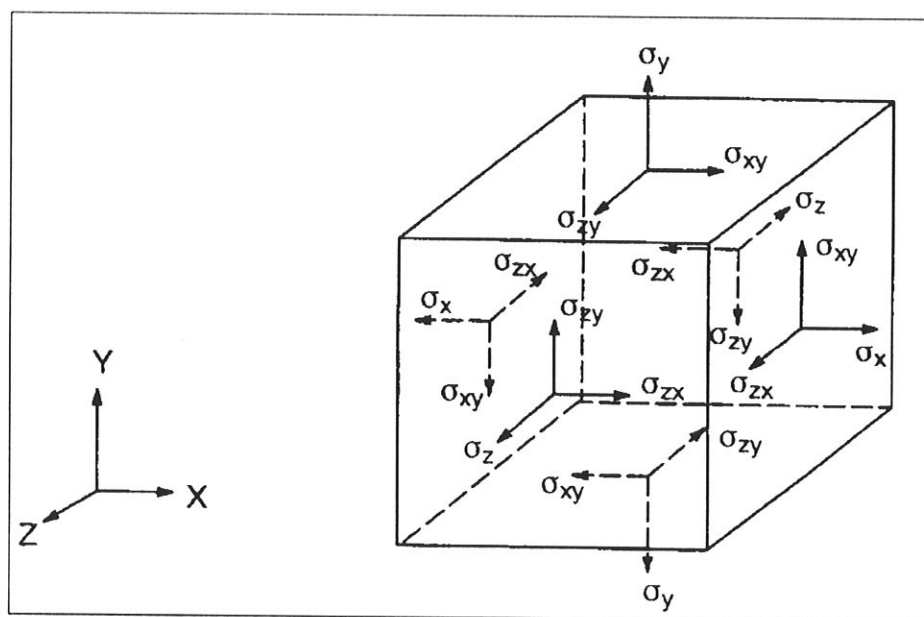


Рис. 1.1 – Компоненты вектора напряжений

Уравнение (1-1) может быть обращено следующим образом:

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_{th}\} + [D]^{-1} \{\sigma\}. \quad (1-2)$$

Для трехмерного случая вектор температурных деформаций определяется в виде соотношения

$$\{\varepsilon_{th}\} = \Delta T [\alpha_x \alpha_y \alpha_z 0 0 0]^T, \quad (1-3)$$

где α_x – коэффициент температурного расширения в направлении оси x,

Матрица $[D]^{-1}$, нормализованная по столбцам, имеет вид:

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_y & -\nu_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_x & -\nu_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_z \end{vmatrix} \quad (1-4)$$

При использовании нормализация по строкам, матрица записывается следующим образом:

$$[D]^{-1} = \begin{vmatrix} 1/E_x & -\nu^*_{xy}/E_y & -\nu^*_{xz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{yx}/E_x & 1/E_y & -\nu^*_{yz}/E_z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu^*_{zx}/E_x & -\nu^*_{zy}/E_y & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{vmatrix} \quad (1-5)$$

Для записи элементов этих матриц используются обозначения:

E_x – модуль Юнга в направлении оси x,

ν_{xy} – минимальный коэффициент Пуассона,

ν^*_{xy} – максимальный коэффициент Пуассона,

G_{xy} – модуль сдвига в плоскости x-y.

Матрица $[D]^{-1}$ должна быть положительно определенной. Кроме того, эта матрица должна быть симметричной, поэтому для ортотропных материалов предполагается существование соотношений:

$$v_{yx} / E_x = v_{xy} / E_y$$

$$v_{zx} / E_x = v_{xz} / E_z$$

$$v_{zy} / E_y = v_{yz} / E_z$$

или

$$v^*_{yx} / E_y = v^*_{xy} / E_x$$

$$v^*_{zx} / E_z = v^*_{xz} / E_x$$

$$v^*_{zy} / E_z = v^*_{yz} / E_y$$

Согласно приводимым выше соотношениям, величины v_{xy} , v_{zy} , v_{zx} , v^*_{yx} , v^*_{zy} и v^*_{zx} являются зависимыми и поэтому не задаются при вводе исходных данных.

Из равенства (1-2) в развернутом виде, используя выражения (1-3), (1-4), а также (1-6) ... (1-8), получаем шесть уравнений:

$$\epsilon_x = \alpha_x \Delta T + \sigma_x / E_x - v_{xy} \sigma_y / E_y - v_{xz} \sigma_z / E_z \quad (1-12)$$

$$\epsilon_y = \alpha_y \Delta T + \sigma_y / E_y - v_{xy} \sigma_x / E_x - v_{yz} \sigma_z / E_z \quad (1-13)$$

$$\epsilon_z = \alpha_z \Delta T + \sigma_z / E_z - v_{xz} \sigma_x / E_x - v_{yz} \sigma_y / E_y \quad (1-14)$$

$$\epsilon_{xy} = \sigma_{xy} / G_{xy} \quad (1-15)$$

$$\epsilon_{yz} = \sigma_{yz} / G_{yz} \quad (1-16)$$

$$\epsilon_{xz} = \sigma_{xz} / G_{xz}, \quad (1-17)$$

где ϵ_x - деформация в направлении оси x ,

ϵ_{xy} - деформация сдвига в плоскости $x - y$,

σ_x - напряжения в направлении оси x ,

σ_{xy} - напряжения сдвига в плоскости $x - y$;

компоненты с другими индексами получаются циклическим сдвигом (x - y- z).

Уравнение (1-1) можно переписывается в развернутом виде, используя обратную матрицу (1-4), что вместе с уравнениями (1-3), (1-6) ... (1-8) дает шесть соотношений для напряжений:

$$\sigma_x = E_x/h [1 - (v_{yz})^2 E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_x/h [v_{xy} + v_{xz}v_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_x/h [v_{xz} + v_{yz}v_{xy}] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (1-18)$$

$$\sigma_y = E_x/h [v_{xy} + v_{xz}v_{yz} E_y/E_z] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [1 - (v_{xz})^2 E_x/E_z] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + v_{xz}v_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (1-19)$$

$$\sigma_z = E_x/h [v_{xz} + v_{yz}v_{xy}] (\epsilon_x - \alpha_x \Delta T) + E_y/h [v_{yz} + v_{xz}v_{xy} E_x/E_y] (\epsilon_y - \alpha_y \Delta T) + E_z/h [1 - (v_{xy})^2 E_x/E_y] (\epsilon_z - \alpha_z \Delta T) \quad (1-20)$$

$$\sigma_{xy} = G_{xy} \epsilon_{xy} \quad (1-21)$$

$$\sigma_{yz} = G_{yz} \epsilon_{yz} \quad (1-22)$$

$$\sigma_{xz} = G_{xz} \epsilon_{xz}, \quad (1-23)$$

в которых обозначено:

$$h = 1 - (v_{xy})^2 E_x/E_y - (v_{yz})^2 E_y/E_z - (v_{xz})^2 E_x/E_z - 2 v_{xy} v_{yz} v_{xz} E_x/E_z.$$

Если модули сдвига G_{xy} , G_{yz} , G_{xz} не задаются при вводе, то их значения вычисляются следующим образом:

$$G_{xy} = (E_x E_y) / (E_x + E_y + 2 v_{xy} E_x) \quad (1-24)$$

$$G_{yz} = G_{xy} \quad (1-25)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (1-26)$$

5. РАСЧЕТ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

5.1 Задачей расчета является определение следующих величин:

$(\sigma)_1$ – приведённое напряжение, определяемое по составляющим общим мембранным напряжениям;

$(\sigma)_2$ – приведённое напряжение, определяемое по сумме составляющих общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений;

$(\sigma)_R$ – размах приведённых напряжений, определяемый по сумме составляющих общих или местных мембранных и изгибных напряжений.

5.2 Расчёт выполнен для режимов НУЭ (р/с №1) и ГИ (р/с №2).

5.3 Условия прочности (пп. 8.10 ГОСТ 34233.1-2017):

Режим НУЭ: $(\sigma)_1 \leq [\sigma]$; $(\sigma)_2 \leq 1,5 \times [\sigma]$; $(\sigma)_R \leq 3 \times [\sigma]$,

Режим ГИ: $(\sigma)_1 \leq [\sigma]h$; $(\sigma)_2 \leq 1,5 \times [\sigma]h$,

где $[\sigma]$, $[\sigma]h$ – номинальные допускаемые напряжения при расчётной температуре.

5.4 Расчёт выполнен методом конечных элементов в трёхмерной постановке. Конечно-элементная модель сосуда образована десятиузловыми тетраэдрическими элементами и показана на рисунке 2.

5.5 Действующие нагрузки: внутреннее давление, нагрузки со стороны присоединяемых трубопроводов.

5.6 Приведённая нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента определена в соответствии с пп. 6.3 ГОСТ 34233.4-2017.

5.7 Исходные данные и результаты расчёта корпусных деталей сосуда приведены в таблице 3.

5.8 Распределение интенсивности напряжений в элементах сосуда при действии расчётных нагрузок приведено на рисунках 3 и 4.

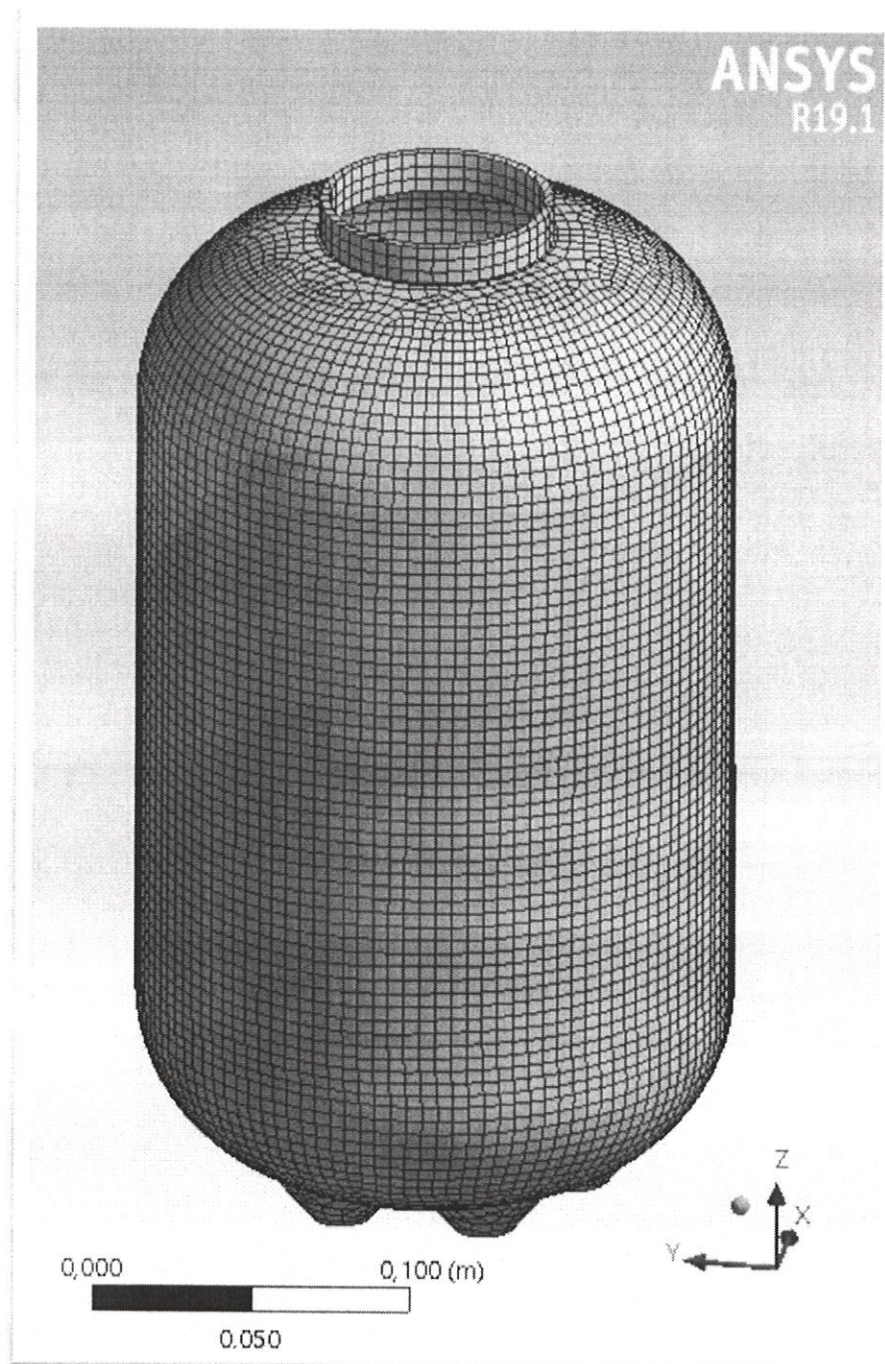


Рис. 5.1 – Конечно-элементная модель сосуда

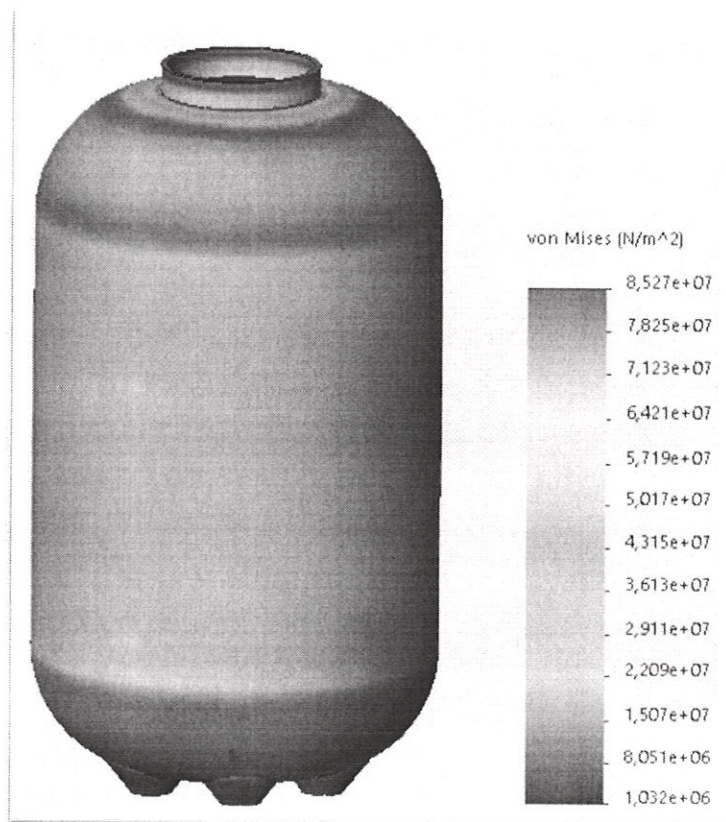


Рис. 5.2 – Интенсивность напряжения в режиме НУЭ (р/с №1), Мпа

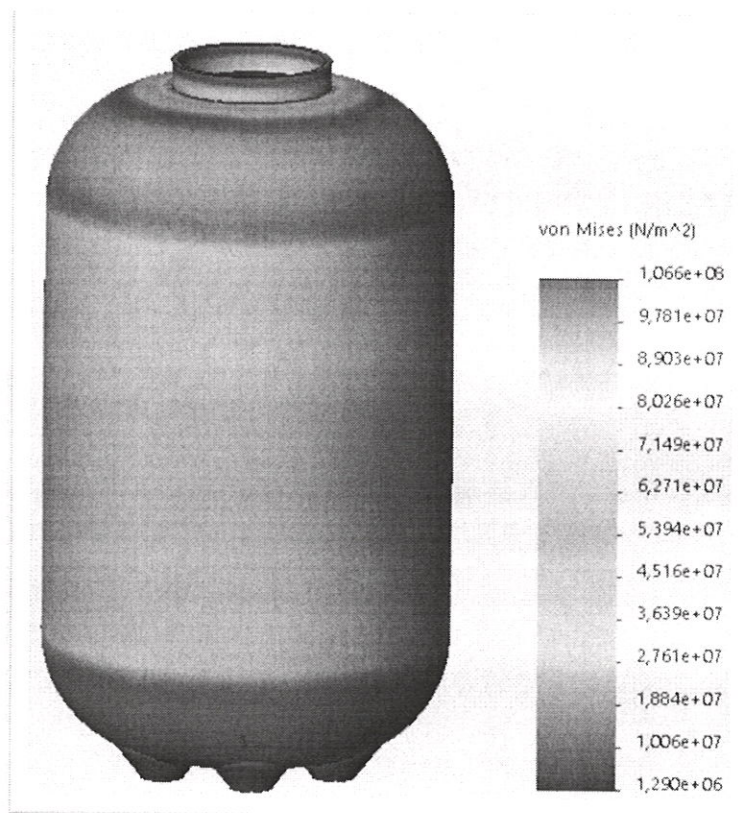


Рис. 5.3 – Интенсивность напряжения в режиме ГИ (р/с №2), Мпа

Результаты расчета сосуда на статическую прочность:

Таблица 3

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ		
Режим	НУЭ	ГИ
	р/с №1	р/с №2
Расчетное давление Р, МПа	0,6	0,85
Расчетная температура t, °С	50	50
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА		
Приведенное напряжение (σ) ₁ , МПа		
Корпус	89,4	111,2
Допускаемое напряжение, МПа	201,2	187,1
Условие прочности	выполнено	
Приведенное напряжение (σ) ₂ , МПа		
Корпус	148,7	201,6
Допускаемое напряжение, МПа	301,0	279,8
Условие прочности	выполнено	

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен расчёт на статическую прочность сосуда стального сварного: баллона высокого давления из стали на условия эксплуатации, приведённые в разделе 2.

Оценка прочности выполнена для двух расчётных состояний (р/с):

- р/с №1: расчётная температура 50 °С при $P_r = 1,6$ МПа;
- р/с №2: расчётная температура 50 °С при $P_r = 2,4$ МПа.

Расчётные напряжения в элементах сосуда определены по номинальной толщине стенки, уменьшенной на величину производственной и эксплуатационной прибавок.

Величина производственной прибавки определена по предельному минусовому отклонению и принята по 14 качеству.

По результатам расчёта:

статическая прочность сосуда стального сварного: баллона высокого давления из стали (ОП-8(б)-АВСЕ-01Ш) в режиме нормальной эксплуатации обеспечена.