



ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Выполнила: Лыскова Т.Е.
Группа: СТ-480002



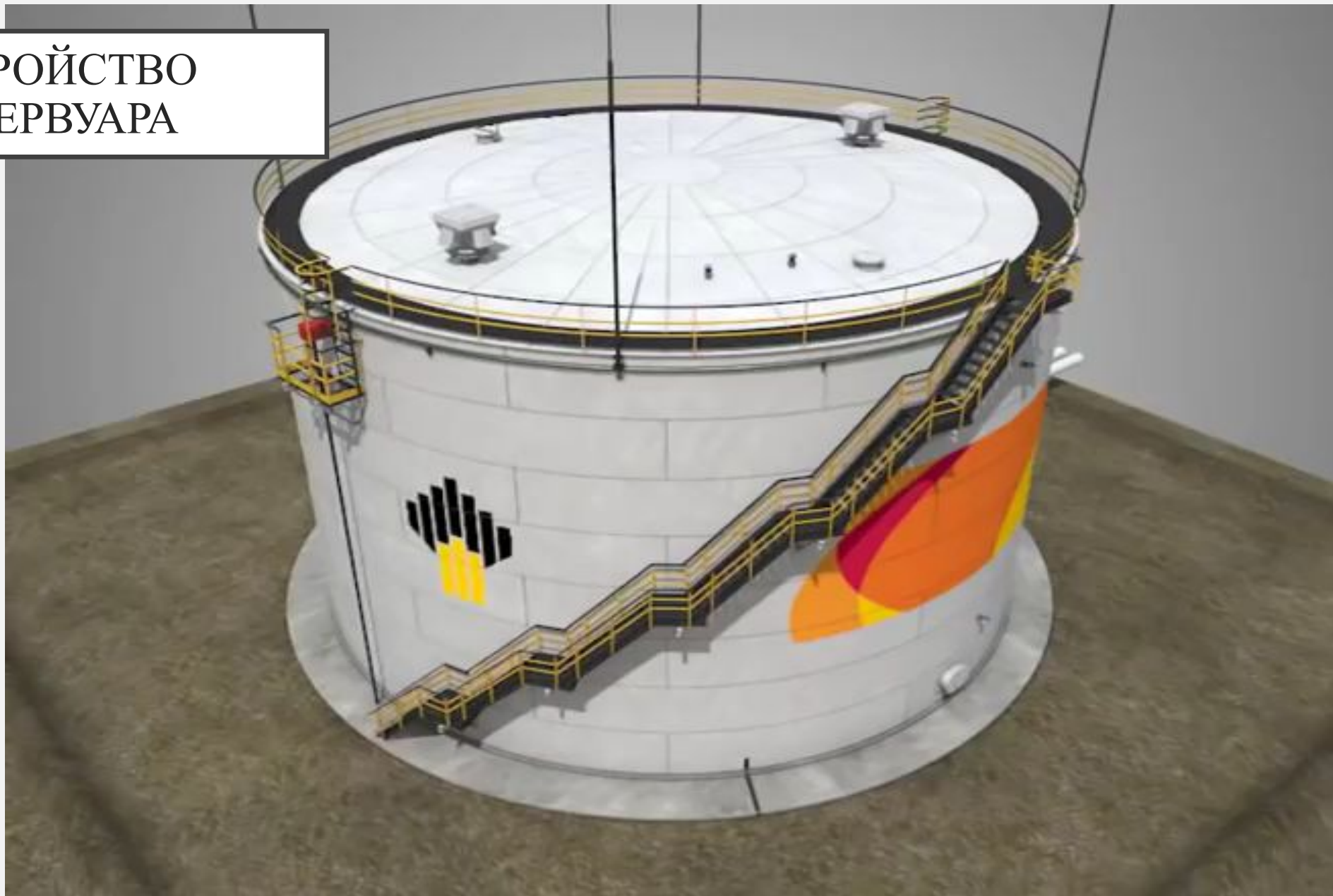
НАЗНАЧЕНИЕ

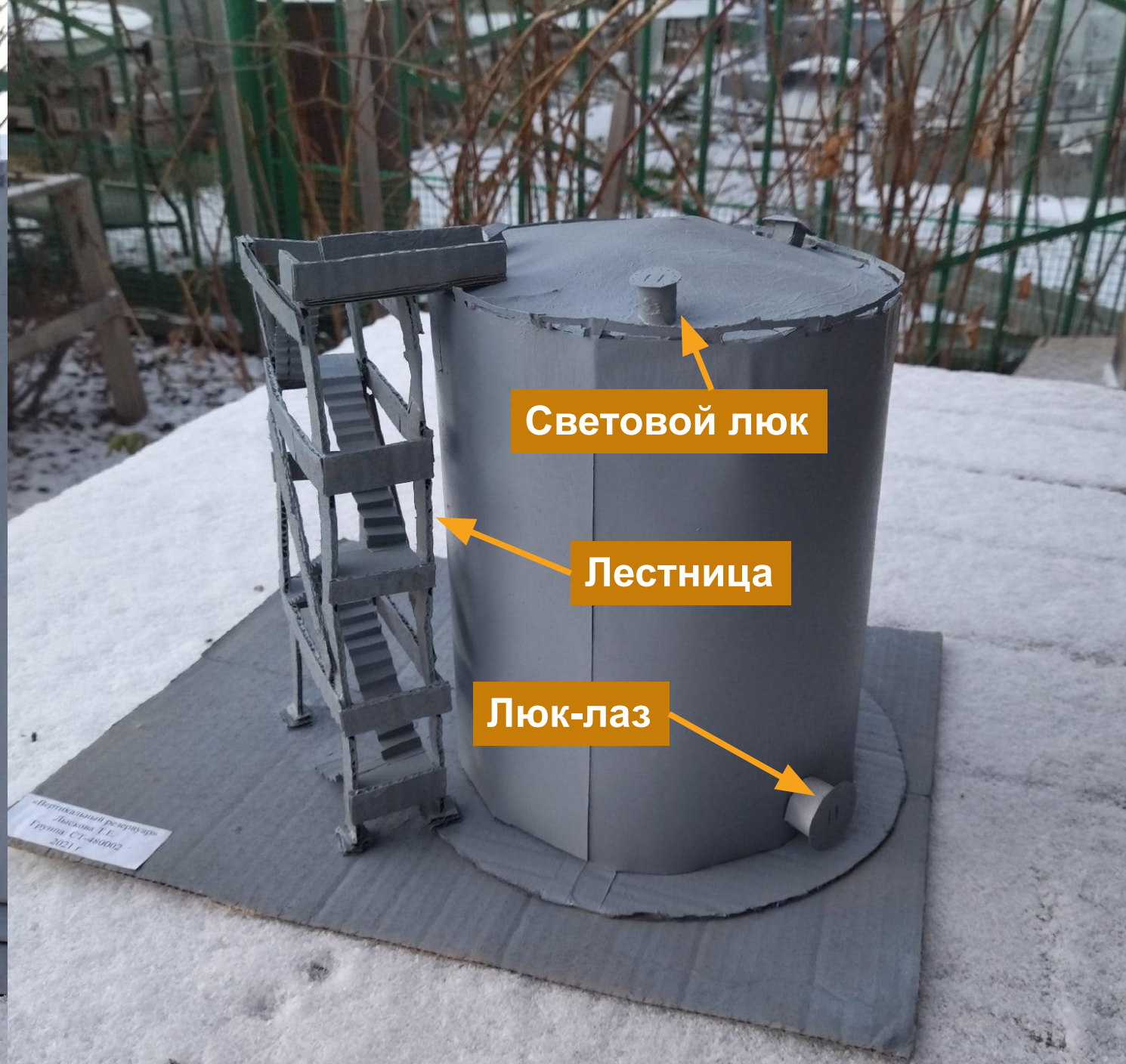
- Резервуар вертикальный цилиндрический стальной - наземное строительное сооружение, предназначенное для приема, хранения, измерения объема и выдачи жидкости.

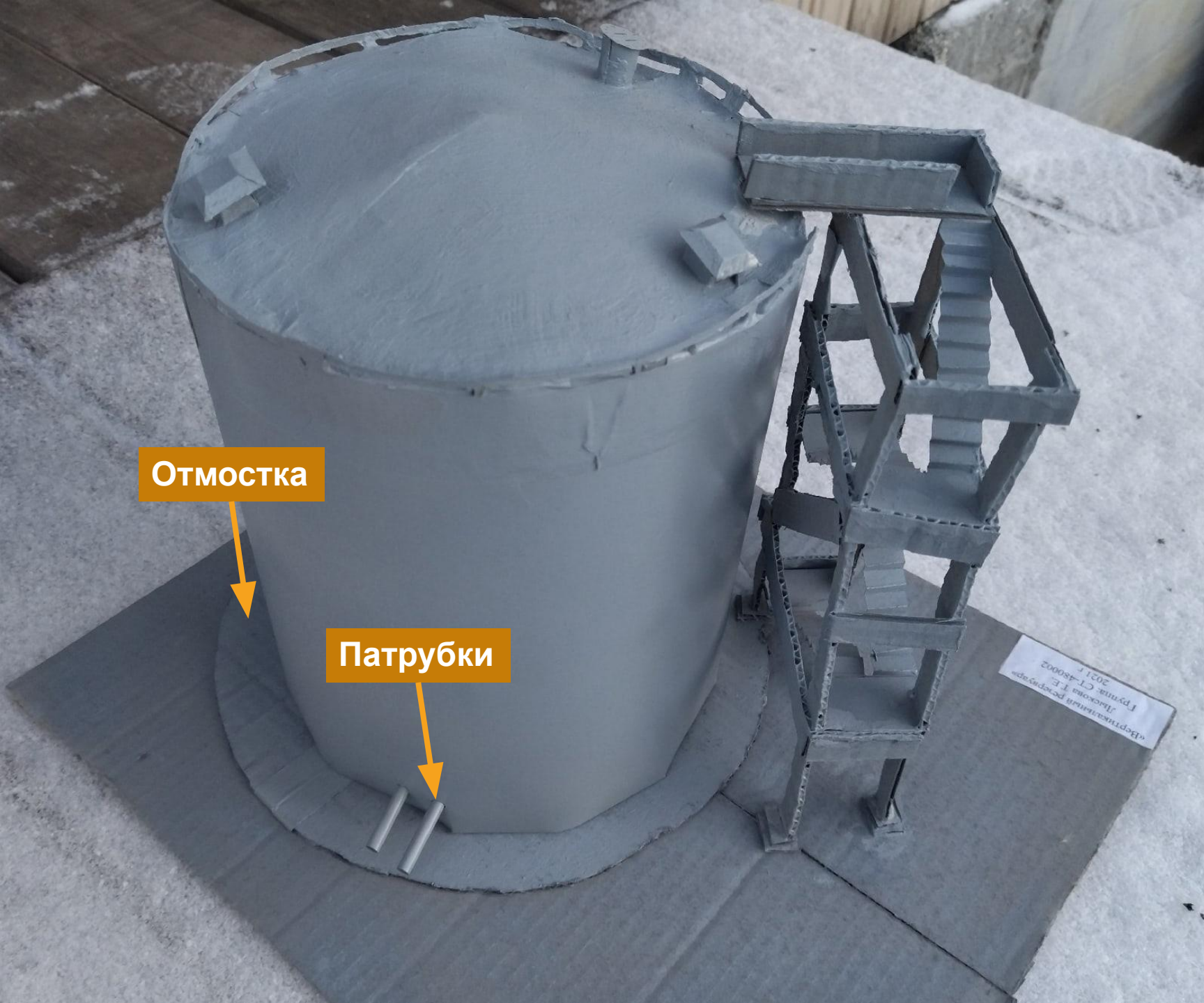
ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов»



УСТРОЙСТВО РЕЗЕРВУАРА







КЛАССИФИКАЦИЯ

Назначение

Конструктивное
решение

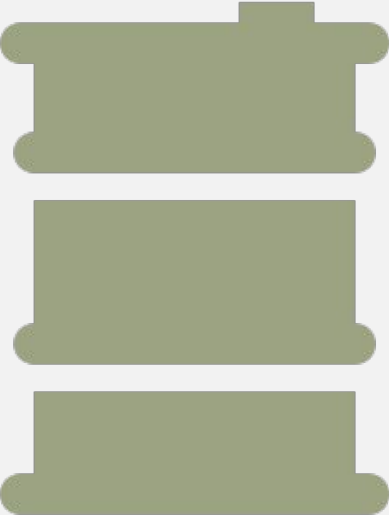
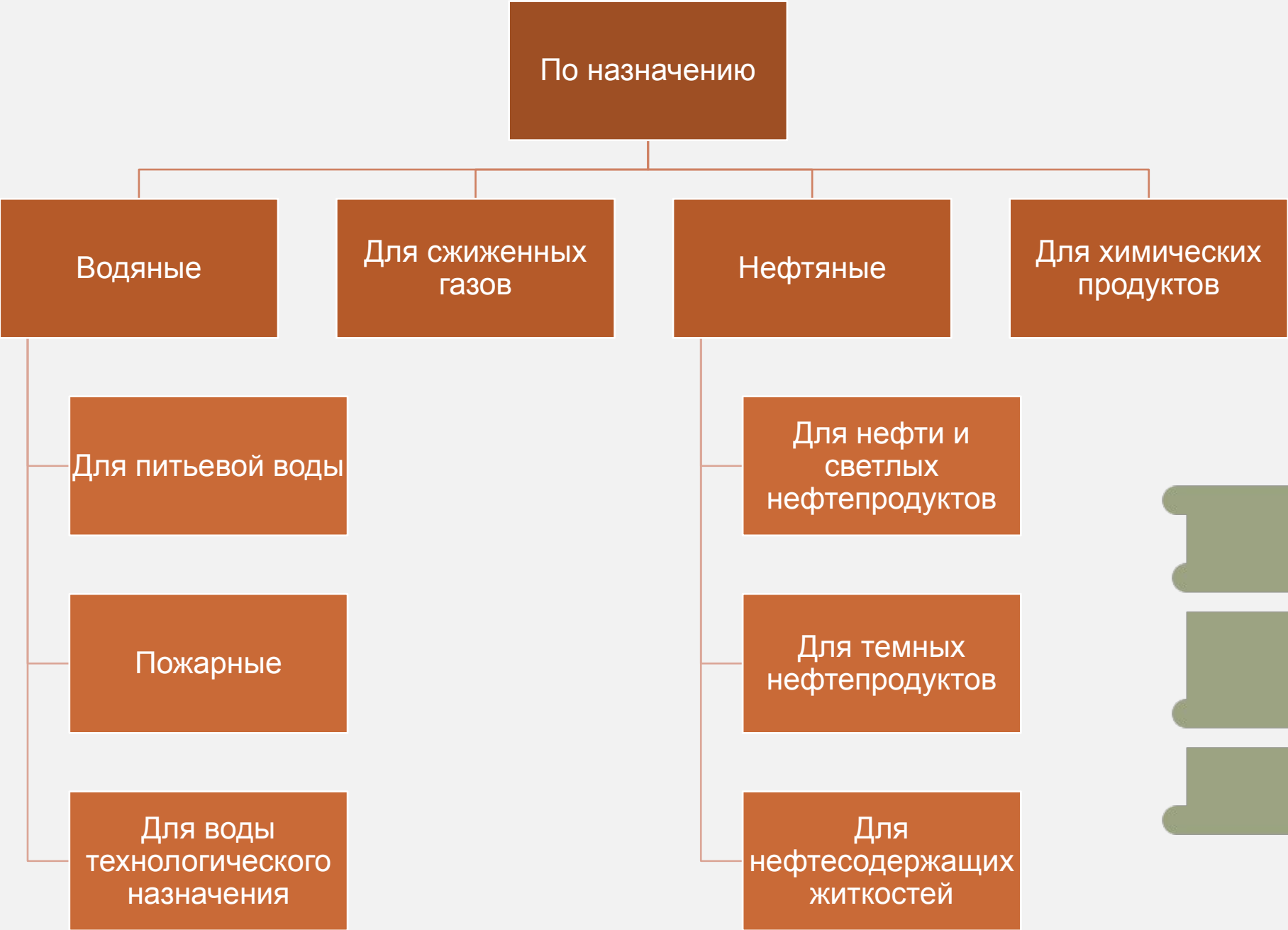
Расположение

Способ
использования

Давление

Режим
эксплуатации

Степень
опасности



По
конструктивному
решению

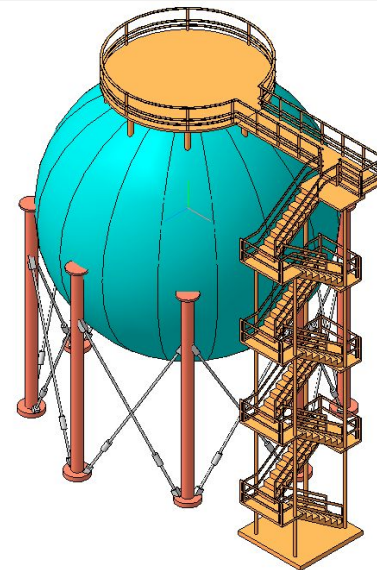
Цилиндрические



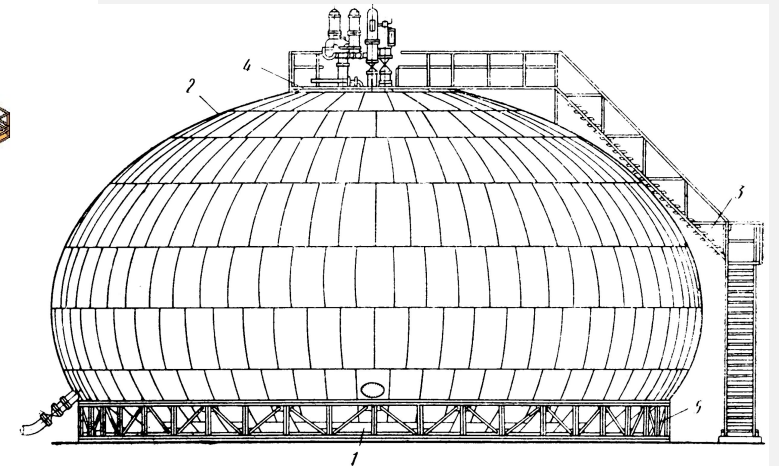
Прямо- и
многоугольные



Шаровые



Сложной формы



По расположению
относительно планировочной
отметки земли

Надземные

Наземные

Подземные

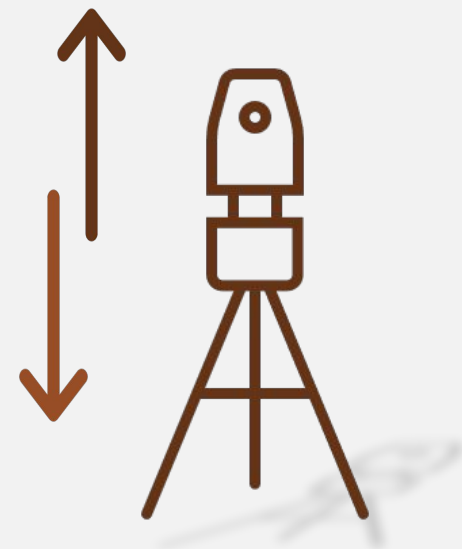
По оперативному использованию

Длительного
хранения

Отстойники

Ёмкости для
смешения

Ёмкости для
выполнения
технологических
операций



По величине избыточного давления

Атмосферного

- Нет избыточного давления

Низкого

- Менее 2 кПа

Повышенного

- От 2 до 7 кПа

Высокого

- Более 7 кПа



По режиму эксплуатации

Температура воздуха

С подогревом

Изотермические

По степени опасности

1 класс

- Объем более 50 000 м³

2 класс

- От 20 000 м³ до 50 000 м³

3 класс

- От 10 000 м³ до 20 000 м³

4 класс

- Менее 10 000 м³

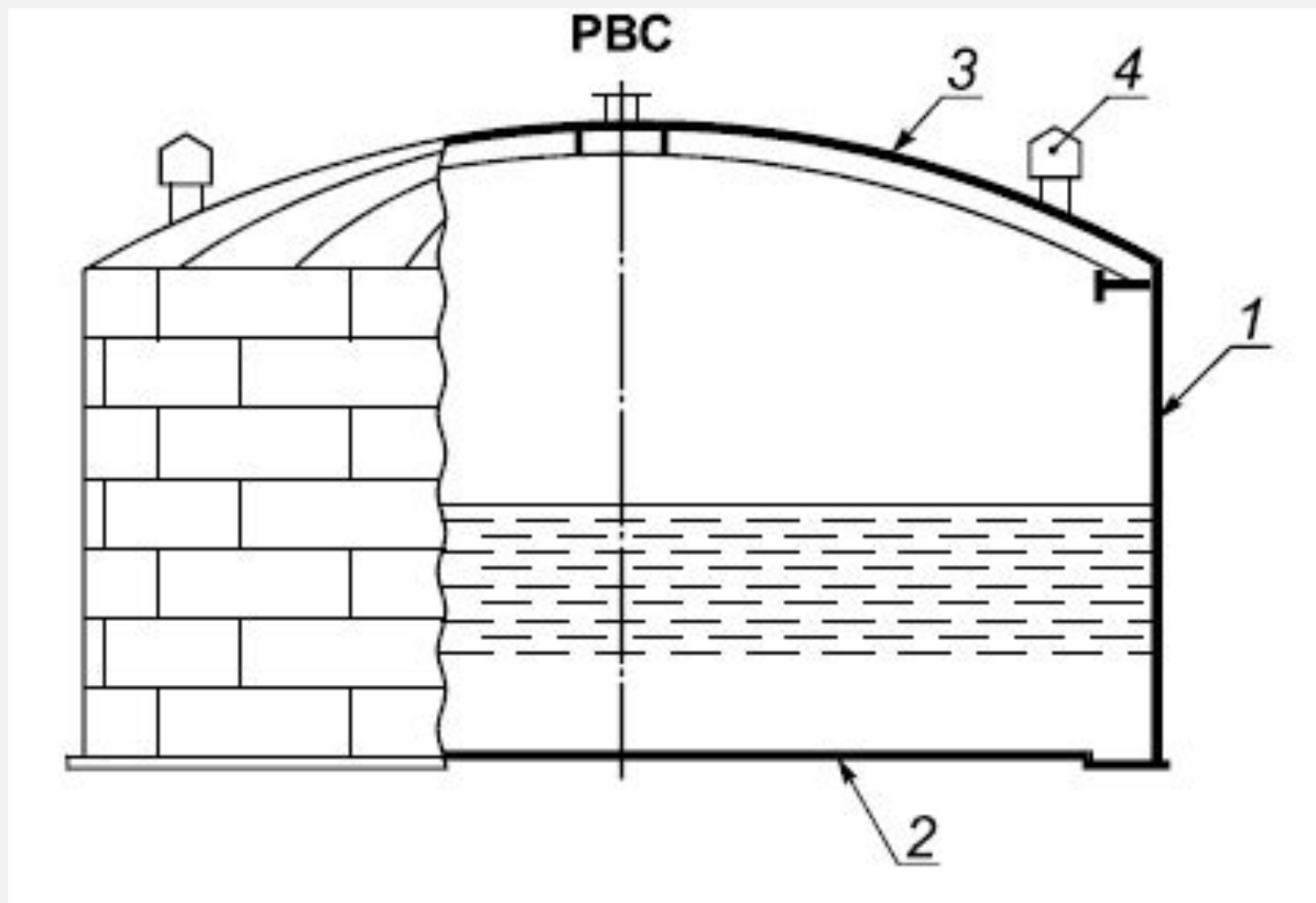


The image shows two large, vertical cylindrical steel tanks in an industrial setting. The tanks are constructed from metal plates with visible rivets or bolts along the horizontal and vertical seams. Each tank has a metal ladder or access structure on top. The tanks are situated on a grassy area, and a large industrial building is visible in the background under a grey, overcast sky. A white rectangular frame is superimposed over the center of the image, containing the text.

РЕЗЕРВУАРЫ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ
СТАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

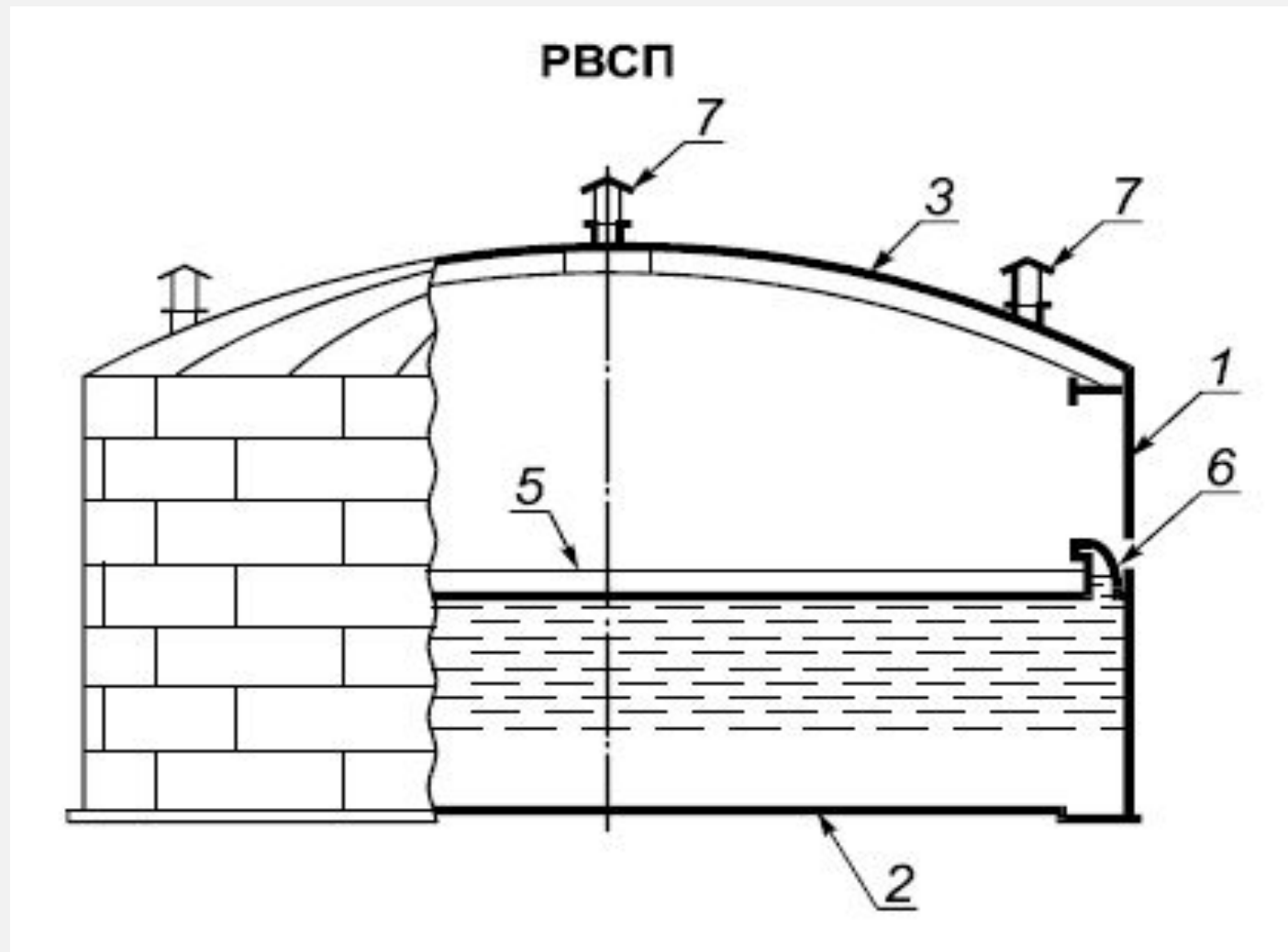
РЕЗЕРВУАР СО
СТАЦИОНАРНОЙ КРЫШЕЙ
БЕЗ ПОНТОНА (РВС)

1 - стенка;
2 - днище; 3 - стационарная
крыша; 4 - дыхательный
клапан



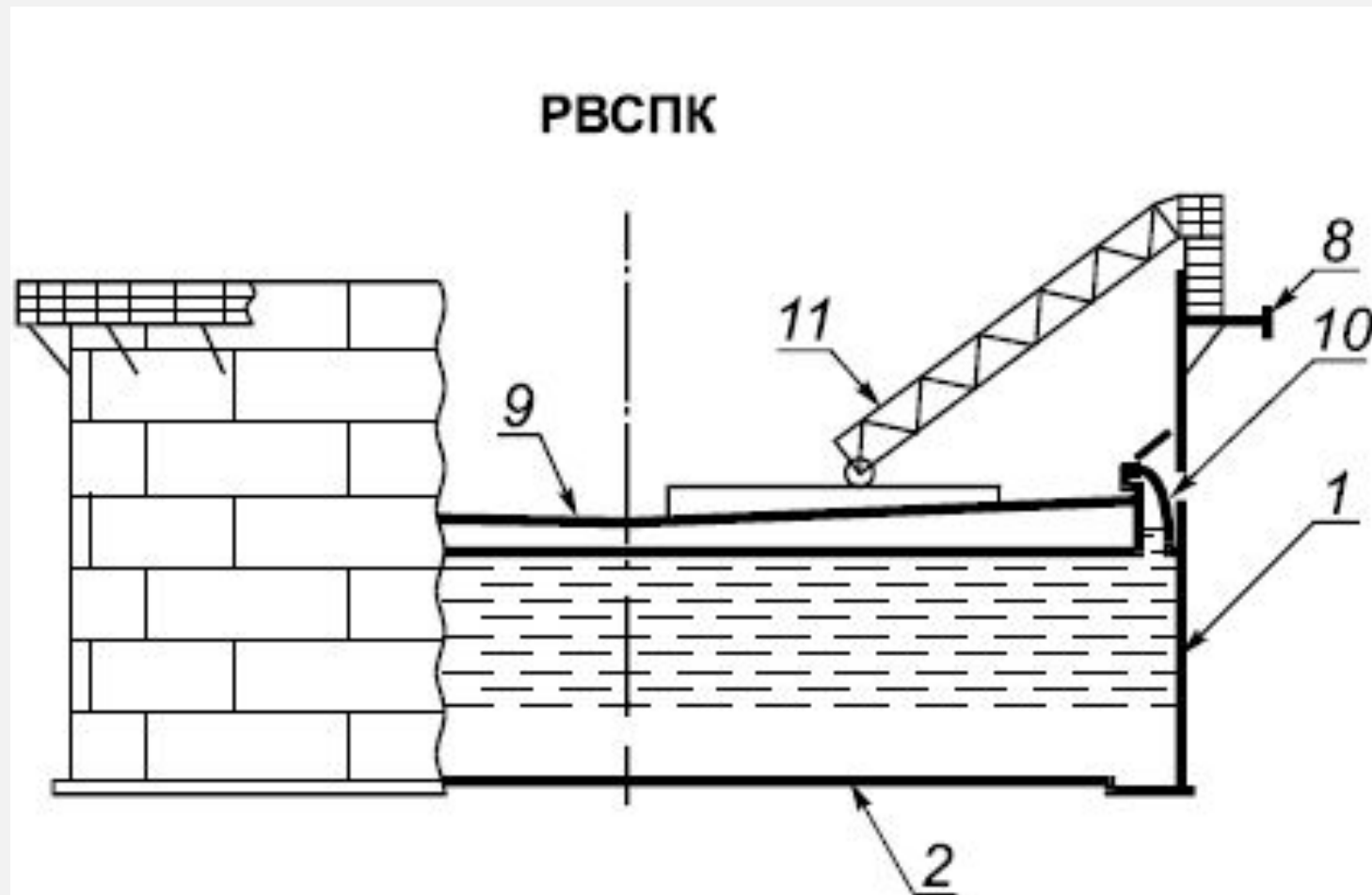
РЕЗЕРВУАР СО
СТАЦИОНАРНОЙ КРЫШЕЙ С
ПОНТОНОМ (РВСП)

1 - стенка; 2 - днище; 3 -
стационарная крыша; 5 -
понтон; 6 - уплотняющий
затвор; 7 - вентиляционный
проем



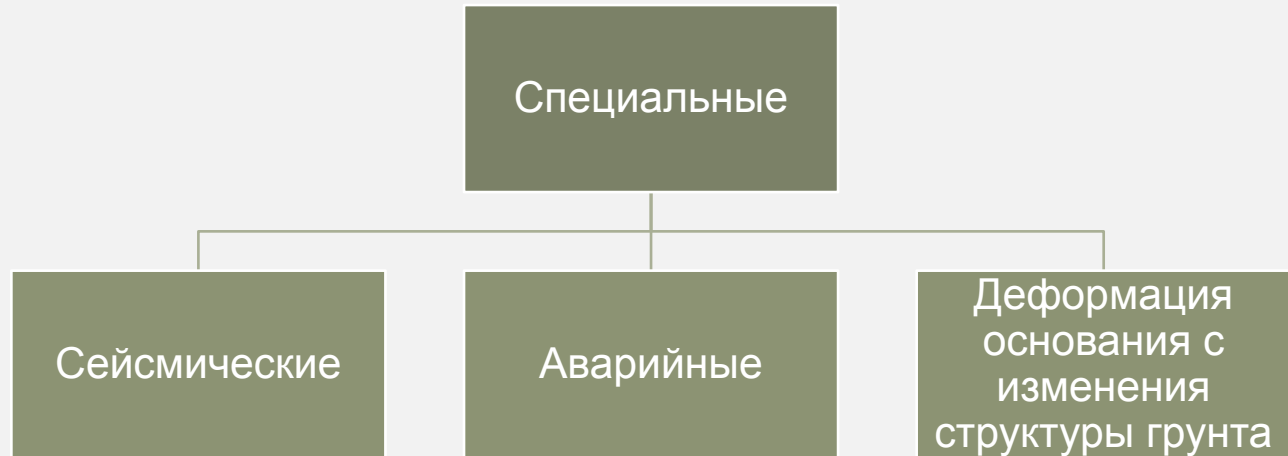
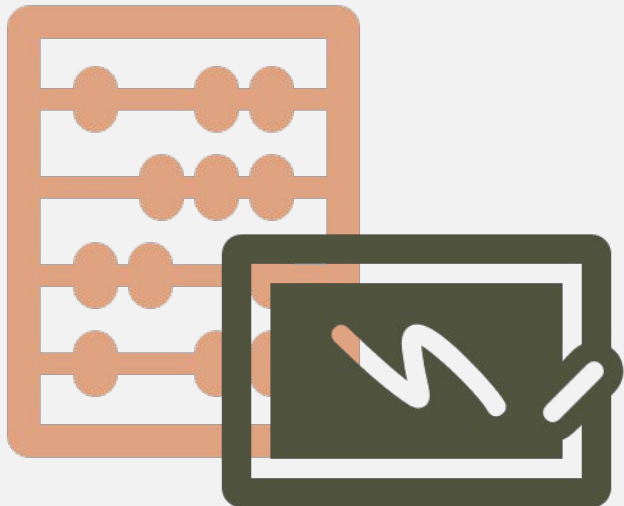
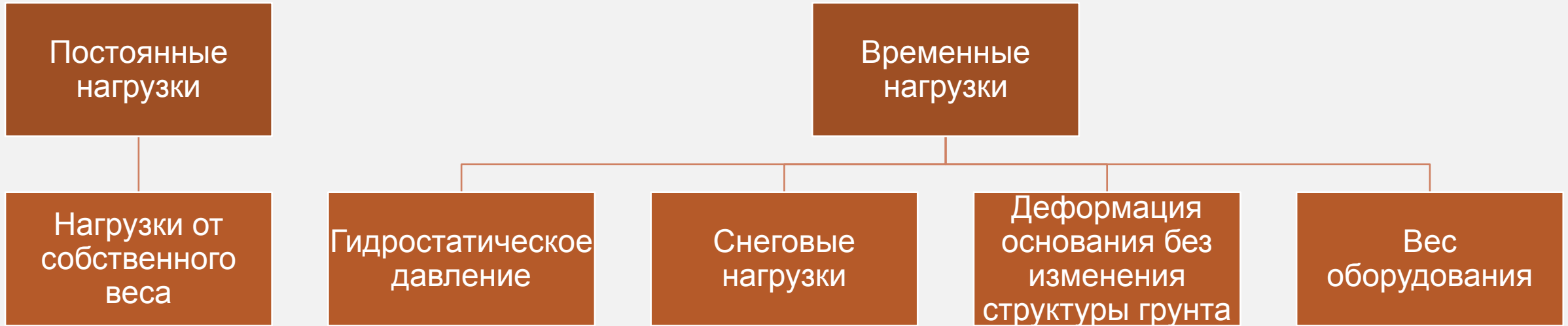
РЕЗЕРВУАР С ПЛАВАЮЩЕЙ КРЫШЕЙ (РВСПК)

- 1 - стенка; 2 - днище; 8 -
ветровое кольцо; 9 -
плавающая крыша; 10 -
уплотняющий затвор с
погодозащитным козырьком;
11 - катучая лестница



The image shows a technical drawing of a mechanical assembly, likely a bracket or support structure, with various dimensions and annotations. A white rectangular box is overlaid on the center of the drawing, containing the text "СБОР НАГРУЗОК". The drawing includes several views and details, such as a top view showing a rectangular plate with a central cutout and a side view showing a vertical plate with a horizontal flange. Dimensions are given in millimeters, and some features are specified with diameters (Ø) and hole counts (n). The drawing is oriented vertically on the page.

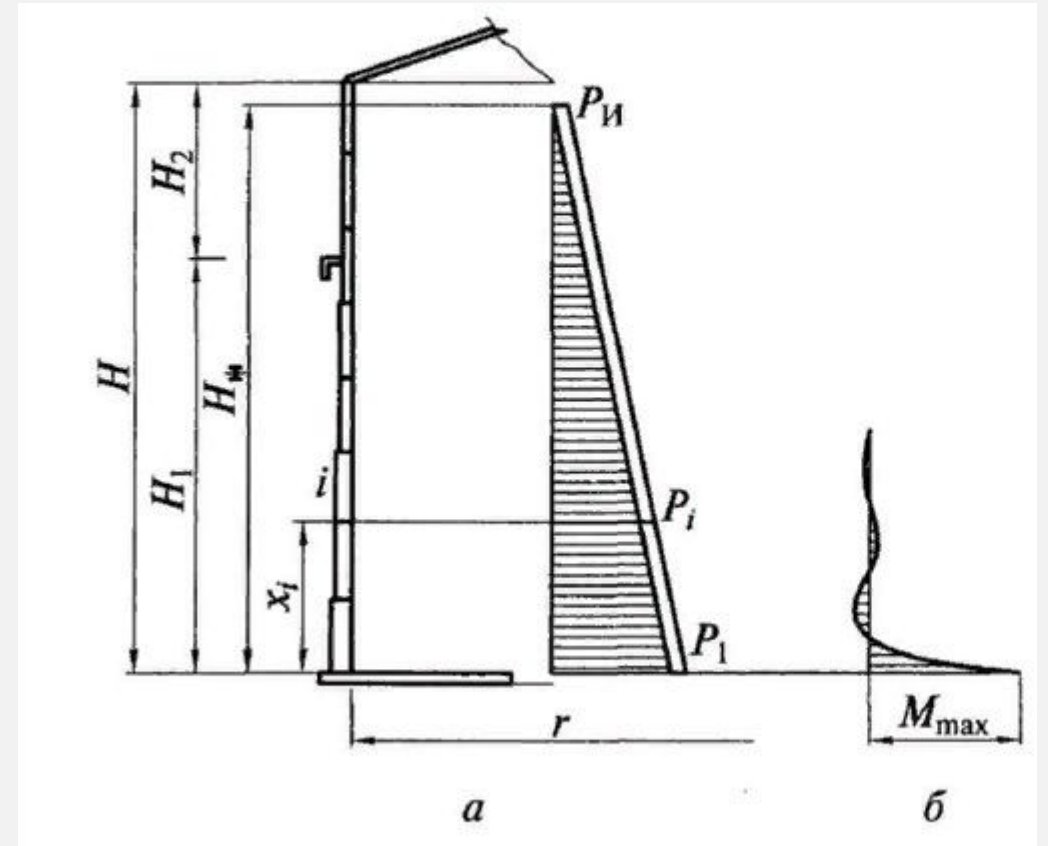
СБОР НАГРУЗОК



НАГРУЗКА ОТ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ В РАСЧЁТНОМ УРОВНЕ КАЖДОГО ПОЯСА

$$P_{\text{ж}} = \gamma_{f\text{ж}} \cdot g \cdot \rho \cdot (H - z),$$

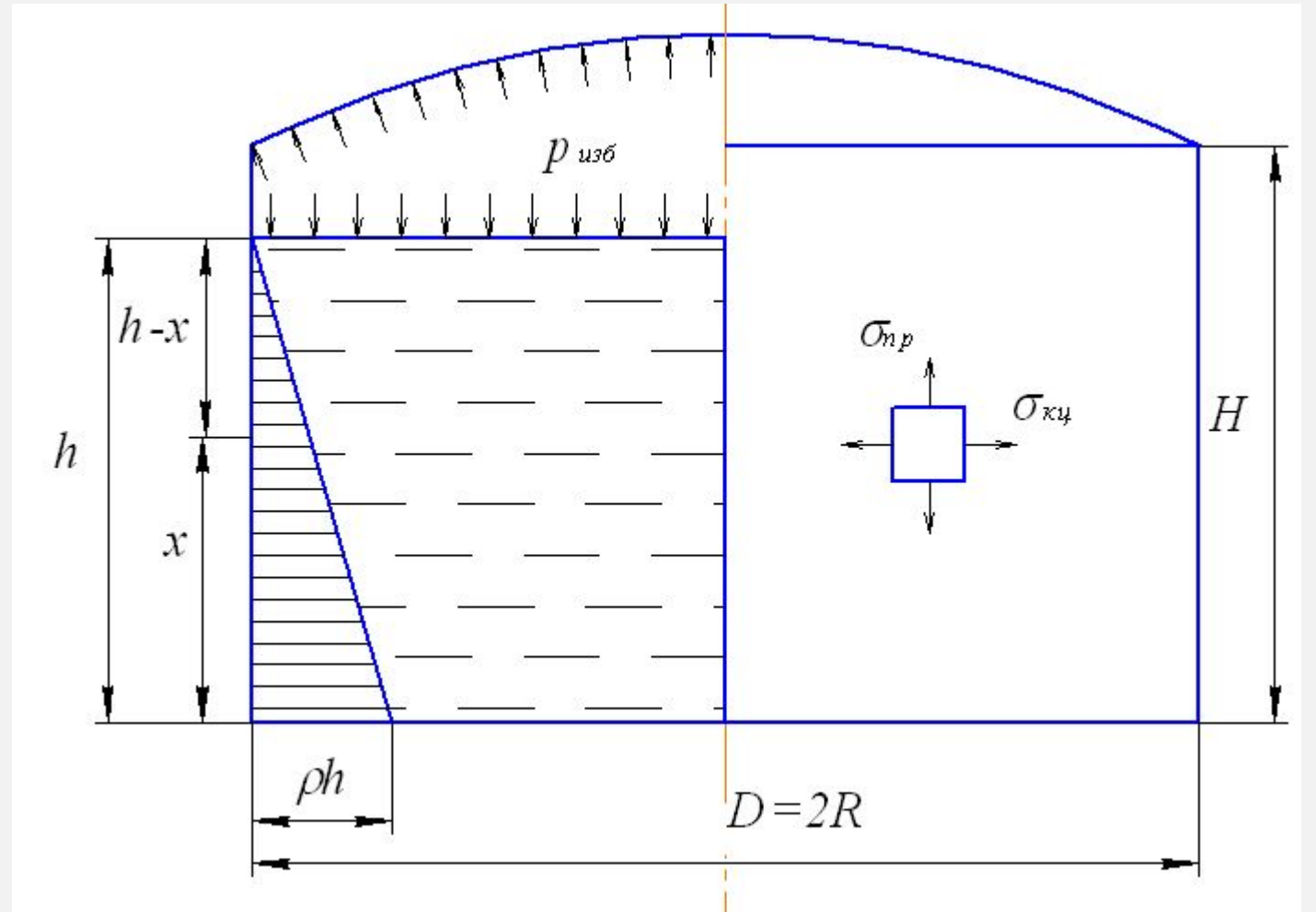
- где $\gamma_{\text{ж}}$ – коэффициент надёжности по нагрузке;
- z – расстояние от дна до нижней кромки расчётного пояса.



НАГРУЗКА ОТ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

$$P_{\text{и}} = \gamma_{\text{фн}} \cdot P_{\text{и}}^n,$$

- где $\gamma_{\text{и}}$ – коэффициент надёжности по нагрузке для избыточного давления;
- $P_{\text{и}}^n$ – нормативное значение избыточного давления.



НАГРУЗКИ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА

Собственный вес покрытия, площадок ограждения и стационарного оборудования:

$$G_O = \gamma_{fg} \cdot G_O^n \cdot \pi \cdot r^2,$$

- где γ_g – коэффициент надёжности по нагрузке для собственного веса металлоконструкций.
- G_O^n – нормативное значение распределённой нагрузки от веса покрытия, площадок ограждения и стационарного оборудования.

Вес металлоконструкций выше расчётной точки:

$$G_M = \gamma_{fg} \cdot \rho_M \cdot g \cdot H_{ст,i} \cdot t_i$$

- где ρ_M – плотность стали;
- $H_{ст,i}$ – высота стенки выше рассматриваемого уровня;
- t_i – номинальная толщина i -го пояса стенки.

НАГРУЗКИ ОТ СОБСТВЕННОГО ВЕСА

Вес утеплителя:

$$G_y = \gamma_{fy} \cdot G_y^n \cdot S_{\text{пов}} + \gamma_{fy} \cdot G_y^n \cdot \hat{\alpha} \cdot r \cdot H_{\text{ст},i}$$

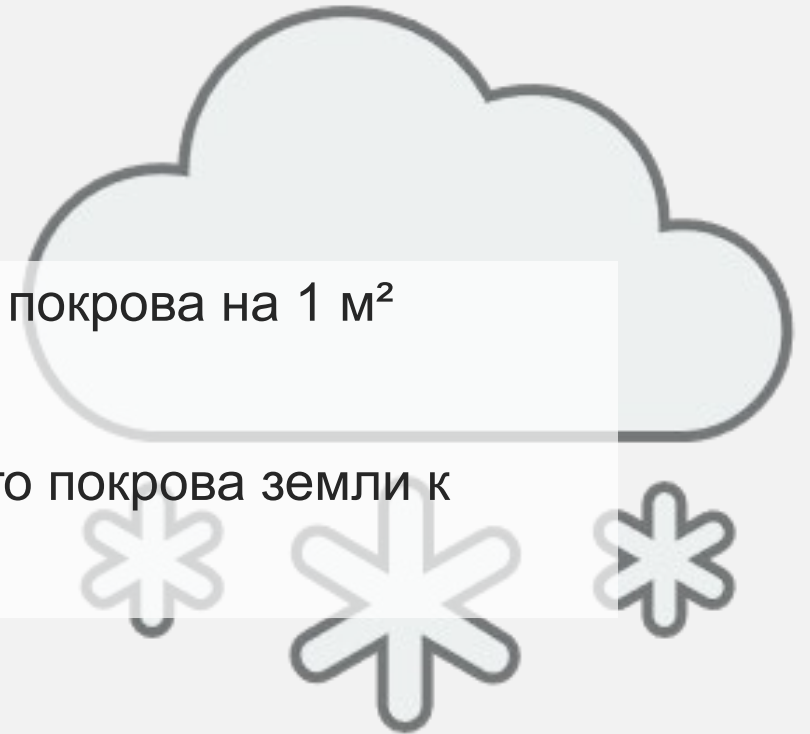
- где G_y^n – нормативное значение веса утеплителя;
- $S_{\text{пов}}$ – площадь поверхности кровли.



СНЕГОВАЯ НАГРУЗКА

$$S = S_g \cdot \mu,$$

- где S_g – расчётное значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли;
- μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие.



НАГРУЗКА ОТ ОТНОСИТЕЛЬНОГО РАЗРЕЖЕНИЯ

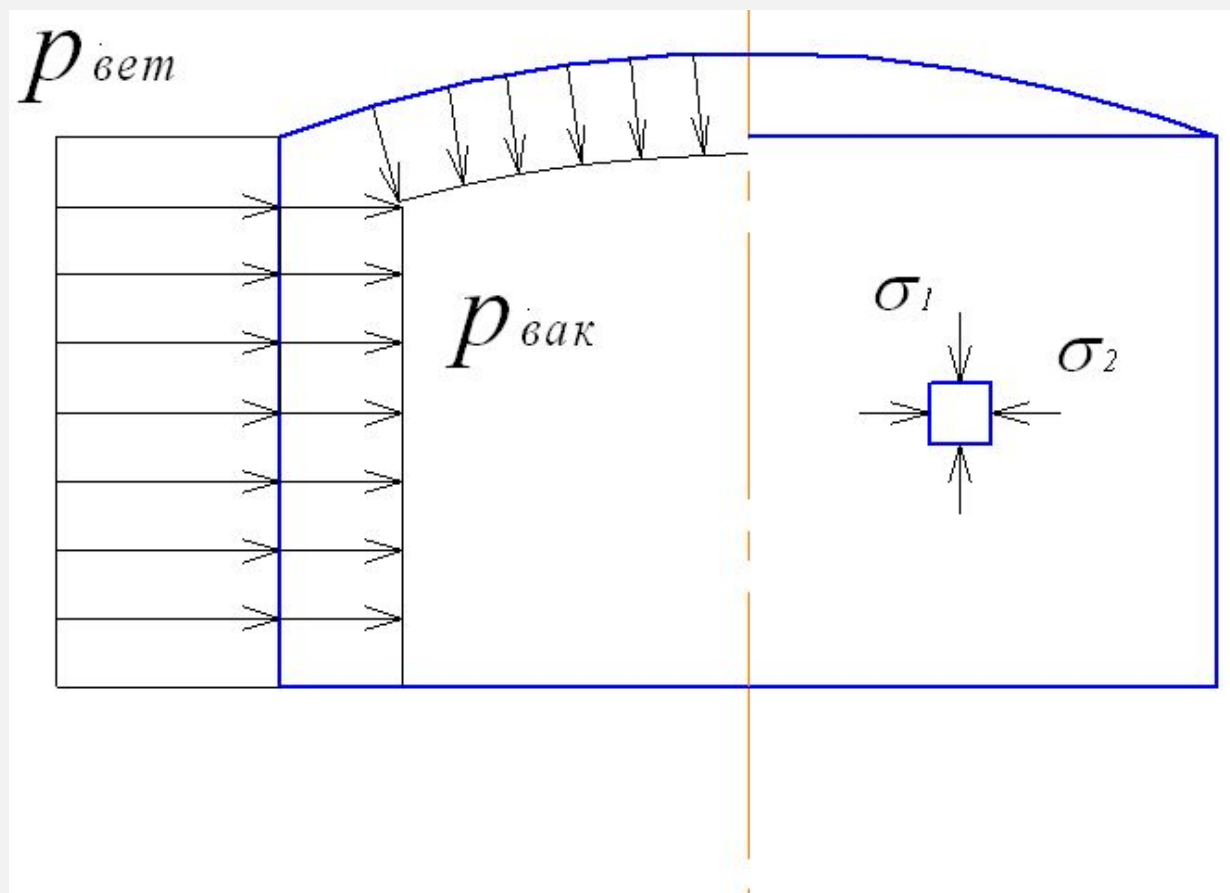
$$P_{\text{вак}} = \gamma_{f\text{вак}} \cdot P_{\text{вак}}^n,$$

- где $\gamma_{\text{вак}}$ – коэффициент надёжности по нагрузке для вакуума;
- $P_{\text{вак}}^n$ – нормативное значение вакуума, принимаемое для резервуаров.

ВЕТРОВАЯ НАГРУЗКА

$$P_{\text{вет}} = \gamma_{f\text{вет}} \cdot w_0 \cdot k \cdot c,$$

- где $\gamma_{f\text{вет}}$ – коэффициент надёжности по нагрузке для ветровой нагрузки;
- w_0 – нормативное значение ветрового давления;
- k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;
- c – аэродинамический коэффициент.

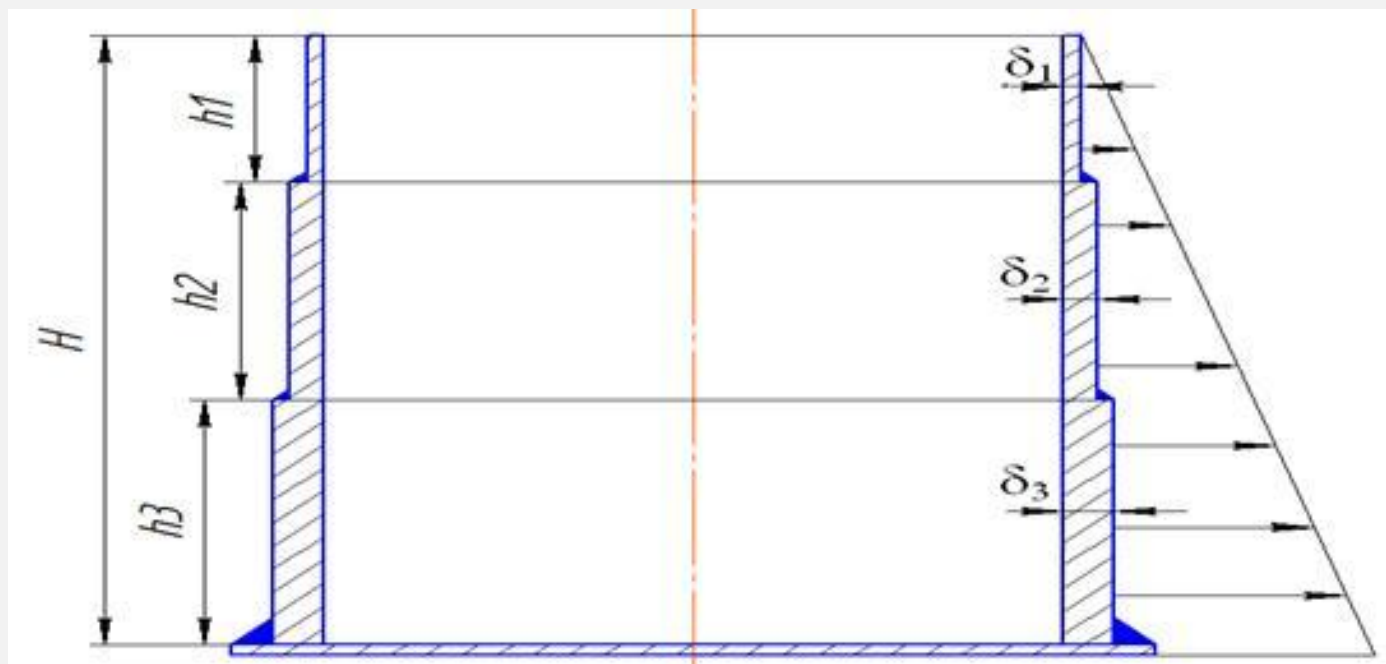


РАСЧЕТ СТЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

Подбор и проверка сечений резервуара



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПОДБОР ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ РЕЗЕРВУАРА



Минимальная расчётная толщина
стенки в каждом поясе для условий
эксплуатации:

$$t_e = \frac{g \cdot \rho \cdot (H - z) \cdot r}{R_y \cdot \gamma_c},$$

- где γ_c – коэффициент условий работы.

Минимальная расчётная толщина стенки в каждом поясе для условий гидравлических испытаний t_g

$$t_g = \frac{g \cdot \rho_B \cdot (H_g - z) \cdot r}{R_y \cdot \gamma_c},$$

- где B – плотность используемой при гидроиспытаниях воды;
- H_g – высота налива воды при гидроиспытаниях;
- $c = 0,9$ – коэффициент условий работы при гидроиспытаниях для всех поясов одинаков.

Минимальная конструктивная толщина листа t_k

Таблица 3
ГОСТ 31385-2016
«Резервуары
вертикальные
цилиндрические стальные
для нефти и
нефтепродуктов»

Диаметр резервуара, м				Минимальная толщина листов стенки t_k , мм
До	10	включ.		4
Св.	10	"	16	5
"	16	"	25	6
"	25	"	40	8
"	40	"	65	10
"	65			12

Номинальная толщина t каждого пояса стенки:

$$t - \Delta \geq \max(t_e + c, t_g, t_k),$$

Расчётная толщина поясов t_p :

$$t_p = t - \Delta - c.$$

- где Δ – минусовой допуск на прокат;
- c – припуск на коррозию.



ПРОВЕРКА СТЕНКИ НА ПРОЧНОСТЬ

Проверка прочности по приведённым напряжениям:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n},$$

Проверка прочности по кольцевым напряжениям:

$$\sigma_2 \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n},$$

Кольцевые напряжения для нижних точек поясов: $\sigma_2 = \frac{(P_{\text{ж}} + P_{\text{и}}) \cdot r}{t_p}$.

Меридиональные напряжения:

$$\sigma_1 = \frac{G_M + 0,95(G_O + G)}{\alpha \cdot r \cdot t_p} + \frac{(0,9S - 0,95 \cdot P_{\text{и}}) \cdot r}{2 t_p},$$

где 0,95 – коэффициент сочетания для временных длительных нагрузок в основном сочетании;

0,9 – коэффициент сочетания для временных кратковременных нагрузок в основном сочетании.

ПРОВЕРКА СТЕНКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Проверка устойчивости стенки резервуара:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \leq 1,$$

- где σ_{cr1} – меридиональные критические напряжения;
- σ_{cr2} – кольцевые критические напряжения.

Кольцевые напряжения:

$$\sigma_2 = \frac{(0,95 \cdot P_{\text{ВАК}} + 0,9 \cdot P_{\text{ВЕТ}}) \cdot r}{t_{\text{p,min}}},$$

Меридиональные напряжения:

$$\sigma_1 = \frac{G_M + 0,95(G_O + G)}{\alpha \cdot r \cdot t_p} + \frac{(0,9S - 0,95 \cdot P_{\text{ВАК}}) \cdot r}{2 t_p}.$$

Критические напряжения:

$$\sigma_{cr1} = \frac{C \cdot E \cdot t_{\text{p,min}}}{r},$$

$$\sigma_{cr2} = 0,55 \cdot E \cdot \frac{r}{H_r} \left(\frac{t_{\text{p,min}}}{r} \right)^{1,5},$$

- где $t_{\text{p,min}}$ – расчётная толщина самого тонкого пояса;
- E – модуль упругости прокатной стали и стальных отливок.

Где **C** – коэффициент, вычисляемый по формулам:

$$C = \begin{cases} 0,0144000 & \text{при } 1220; \leq \frac{r}{t_{p,\min}} \leq 2500. \\ 0,0144000 \frac{t_{p,\min}}{r} & \text{при } 1220; \leq \frac{r}{t_{p,\min}} \leq 2500. \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} 0,0144000 & \text{при } 1220; \leq \frac{r}{t_{p,\min}} \leq 2500. \\ 0,0144000 \frac{r}{t_{p,\min} \cdot 10^5} & \text{при } 1220; \leq \frac{r}{t_{p,\min}} \leq 2500. \end{cases}$$

H_r – редуцированная высота резервуара.

$$H_r = \sum h_i \left(\frac{t_{p,\min}}{t_{p,i}} \right)^{2,5}$$

РАСЧЕТ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОЛЕЦ ЖЕСТКОСТИ

Значение H_r^{\max} , при котором **выполняется** условие устойчивости стенки:

$$H_{r \max} = \frac{0,55 \cdot E \cdot r}{\sigma_2} \cdot \left(\frac{t_{p, \min}}{r} \right)^{1,5} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} \right).$$

Высота установки кольца над нижней кромкой:

$$h_{j1} = \frac{H_{j1} - H_{r \max}}{\left(\frac{t_{p, \min}}{t_{p, j}} \right)^{2,5}},$$

Условие восприятия изгибающего момента:



$$M = 0,0186 \cdot 1,4 \cdot P_{\text{вет}} \cdot r^2 \cdot H_{r \max},$$

$$\frac{M}{W} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n},$$

где W – момент сопротивления сечения кольца.



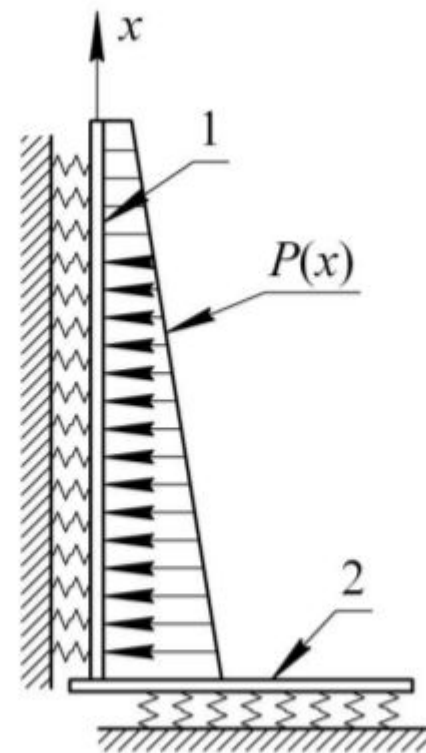
РАСЧЕТ УЗЛА СОПРЯЖЕНИЯ СТЕНКИ И ДНИЩА

Подбор и проверка сечений резервуара

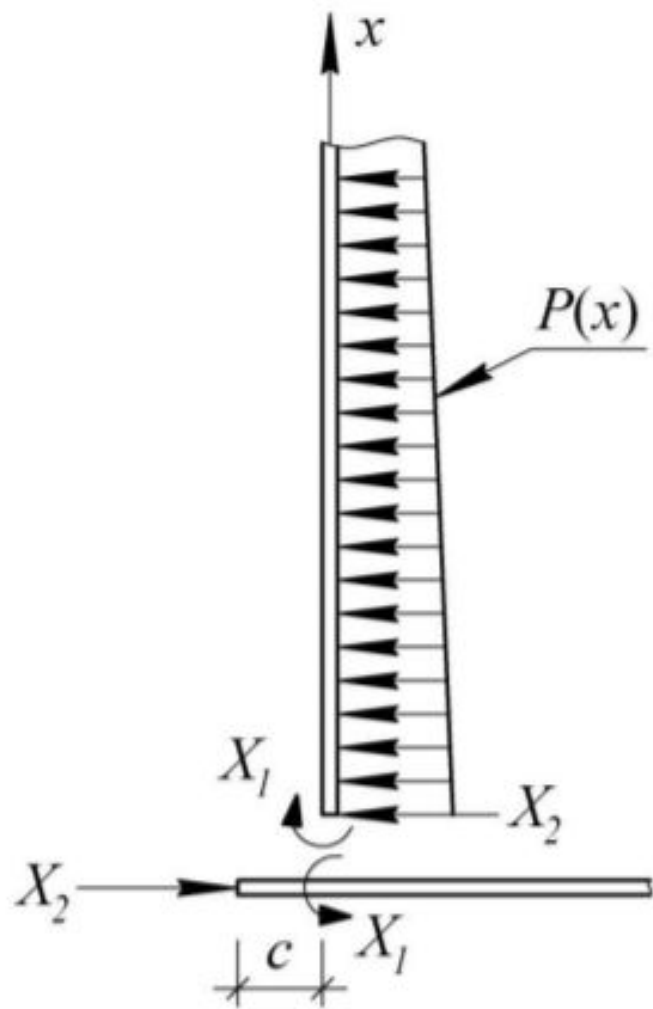
- Система **дважды статически неопределима**.
- Неизвестные изгибающий момент и поперечная сила могут быть получены решением системы **канонических уравнений** метода сил:

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \Delta_{1p} = 0; \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \Delta_{2p} = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} (\delta_{11}^{ст} + \delta_{11}^{дн}) \cdot X_1 + \delta_{12}^{ст} \cdot X_2 + \Delta_{1p}^{ст} + \Delta_{1p}^{дн} = 0; \\ \delta_{21}^{ст} \cdot X_1 + \delta_{22}^{ст} \cdot X_2 + \Delta_{2p}^{ст} = 0. \end{cases}$$



1 – стенка резервуара; 2 – днище



**Проверка условий прочности стенки и дна
в точках сопряжения :**

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{6X_1}{t^2} \leq R_{\text{wy}} \cdot \gamma_c,$$

$$\sigma_{\text{дн}} = \frac{6M_{\text{дн}}}{t_{\text{дн}}^2} \leq R_y \cdot \gamma_c.$$

Проверка прочности сварных швов:

$$\sqrt{\left(\frac{X_1}{t}\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2}\right)^2} \leq \beta_f \cdot k_f \cdot \gamma_{\text{wf}} \cdot R_{\text{wf}};$$

$$\sqrt{\left(\frac{X_1}{t}\right)^2 + \left(\frac{X_2}{2}\right)^2} \leq \beta_z \cdot k_f \cdot \gamma_{\text{wz}} \cdot R_{\text{wz}}.$$

An overhead view of a white desk with technical drawings. A large pair of compasses and a smaller pair are resting on the drawings. A black pencil is also visible. A white keyboard is partially visible in the bottom left corner.

РАСЧЕТ ПОКРЫТИЯ

Подбор и проверка сечений резервуара

СБОР НАГРУЗОК НА КРОВЛЮ



«Сверху вниз»:

- Собственный вес крыши и теплоизоляции
- Снеговая нагрузка
- Нагрузка от вакуума

«Снизу вверх»

- Избыточное давление
- Ветровой отсос



НАГРУЗКА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ «СВЕРХУ ВНИЗ»

Нормативная нагрузка по первой комбинации:

$$q_{n\downarrow} = g_{кр} + g_{ут} + 0,9 \cdot (S \cdot 0,7 + P_{\text{вак}}),$$

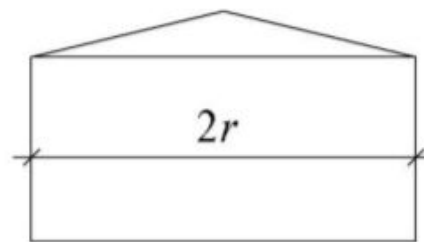
Расчётная нагрузка по первой комбинации:

$$q_{\downarrow} = G_{O}^n \cdot \gamma_{fg} + G_{Y}^n \frac{S_{\text{пов}}}{\pi \cdot r^2} \cdot \gamma_{fy} + 0,9 \cdot (S + P_{\text{вак}} \cdot \gamma_{\text{фвак}})$$

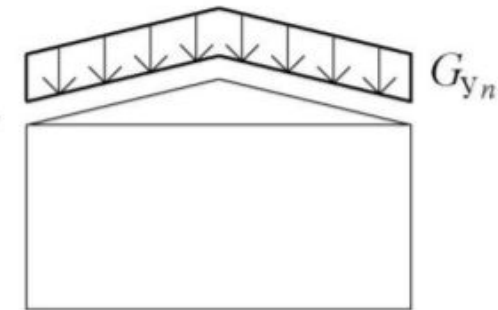
Собственный вес крыши



Собственный вес
утеплителя



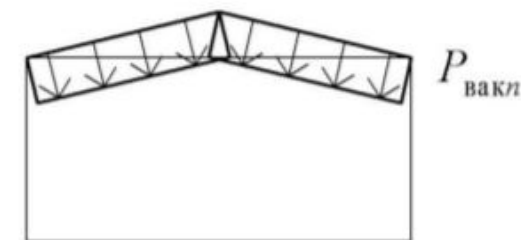
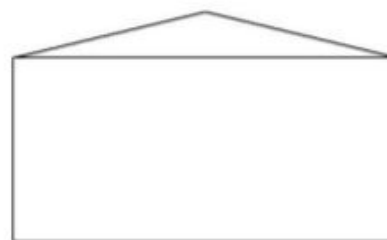
$h_{кр}$



Снеговая нагрузка



Вакуум



НАГРУЗКА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ «СНИЗУ ВВЕРХ»

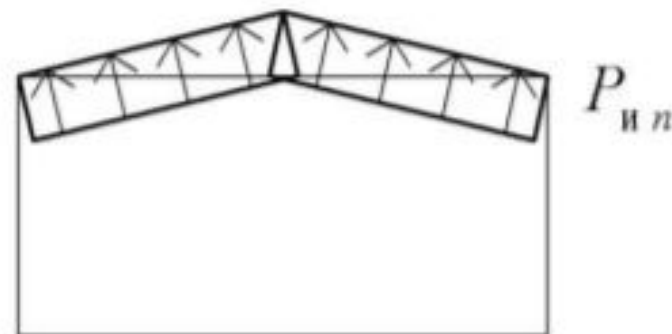
Нормативная нагрузка по второй комбинации

$$q_{n\uparrow} = 0,9 \cdot (P_{ин} + P_{ветн}) - G_{он},$$

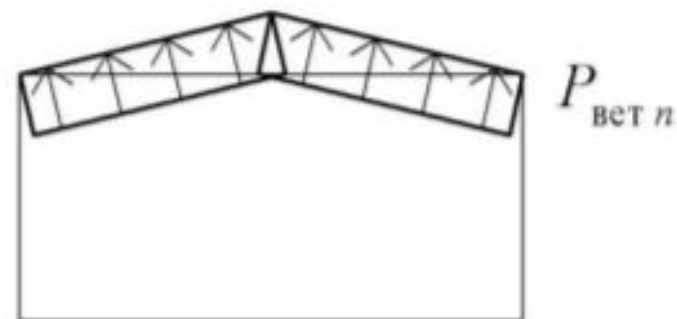
Расчётная нагрузка по второй комбинации:

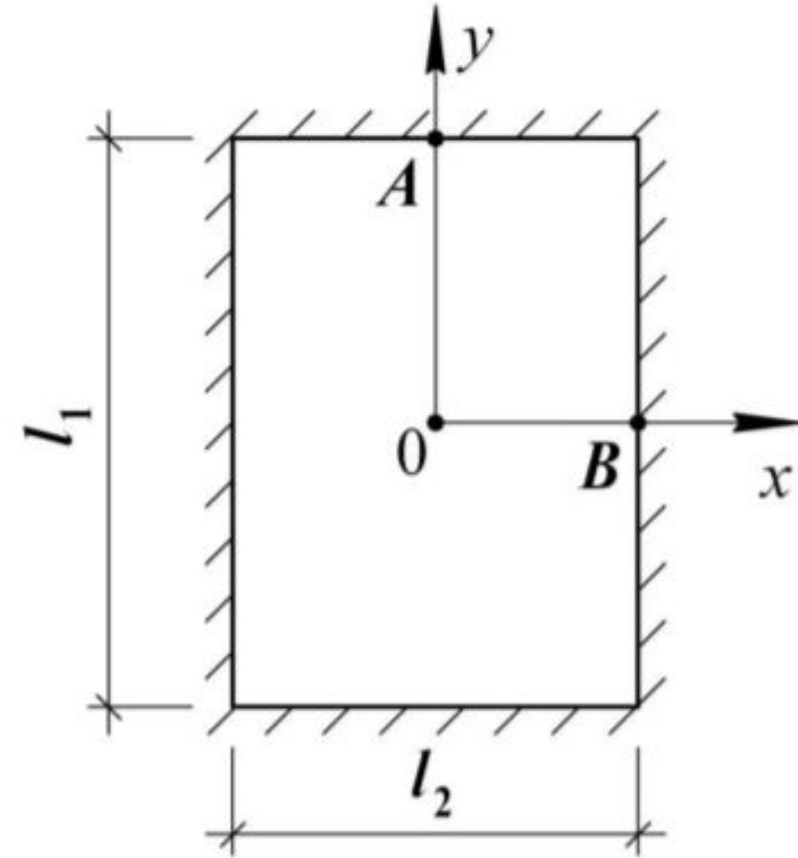
$$q_{\uparrow} = 0,9 \cdot (\gamma_{fн} \cdot P_{ин} + \gamma_{fвет} \cdot P_{ветн}) - G_{он} \cdot \gamma_{fg}$$

Избыточное давление



Ветровая нагрузка





В зависимости от **отношения** большей стороны l_1 пластины к меньшей l_2 , возможны два варианта расчёта:

$$\frac{l_1}{l_2} > 2$$

«длинная»
пластина

$$\frac{l_1}{l_2} \leq 2$$

«короткая»
пластина

«ДЛИННЫЕ» ПЛАСТИНЫ

При нагрузках не более 50 кН/м² и предельном относительном прогибе не более 1/150 прочность шарнирно закреплённого по краям стального настила всегда будет **обеспечена**, и его надо рассчитывать только на прогиб.

Отношение наибольшего пролёта настила к его толщине l / t :

$$\frac{l}{t} = \frac{4 \cdot n_0}{15} \left(1 + \frac{72 \cdot E_1}{n_0^4 \cdot q_n} \right),$$

где $n_0 = l / f = 150$ – заданное отношение пролёта настила к его предельному прогибу;

$\nu = 0,3$ – коэффициент Пуассона;

q_n – нормативная нагрузка на настил.

$$E_1 = \frac{E}{1 - \nu^2} = \frac{2,06 \cdot 10^4}{1 - 0,3^2} = 2,26 \cdot 10^4 \text{ кН/см}^2;$$

«КОРОТКИЕ» ПЛАСТИНЫ

Необходимо учитывать напряжения σ_x вдоль короткой стороны l_2 и напряжения σ_y вдоль длинной стороны l_1 .

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n}.$$

Максимальный прогиб и полные фибровые напряжения в центре пластины:

$$f_{max} = \xi \cdot t \leq [f], \quad \sigma_x = 4k_x \cdot E \cdot \left(\frac{t}{l_2}\right)^2, \quad \sigma_y = 4k_y \cdot E \cdot \left(\frac{t}{l_1}\right)^2$$

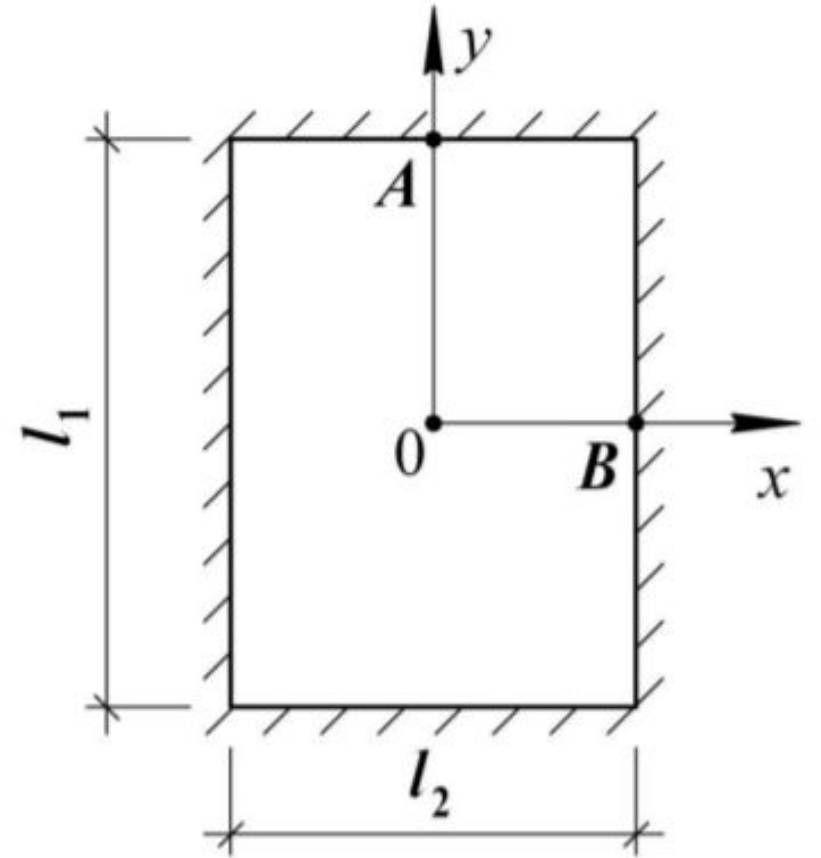
Мембранные напряжения посередине краёв пластины:

$$\sigma_{0x}^B = 4k_{0x}^B \cdot E \cdot \left(\frac{t}{l_2}\right)^2, \quad \text{при } x = \frac{l_2}{2}, y = 0;$$

$$\sigma_{0y}^A = 4k_{0y}^A \cdot E \cdot \left(\frac{t}{l_1}\right)^2, \quad \text{при } x = 0, y = \frac{l_1}{2}.$$

Коэффициенты ξ , k_x , k_y , k_{0x}^B , k_{0y}^A принимают в зависимости от соотношения размеров сторон пластин и значения безразмерного параметра нагрузки

$$\bar{q} = \frac{q \cdot l_1^4}{E \cdot t^4}$$





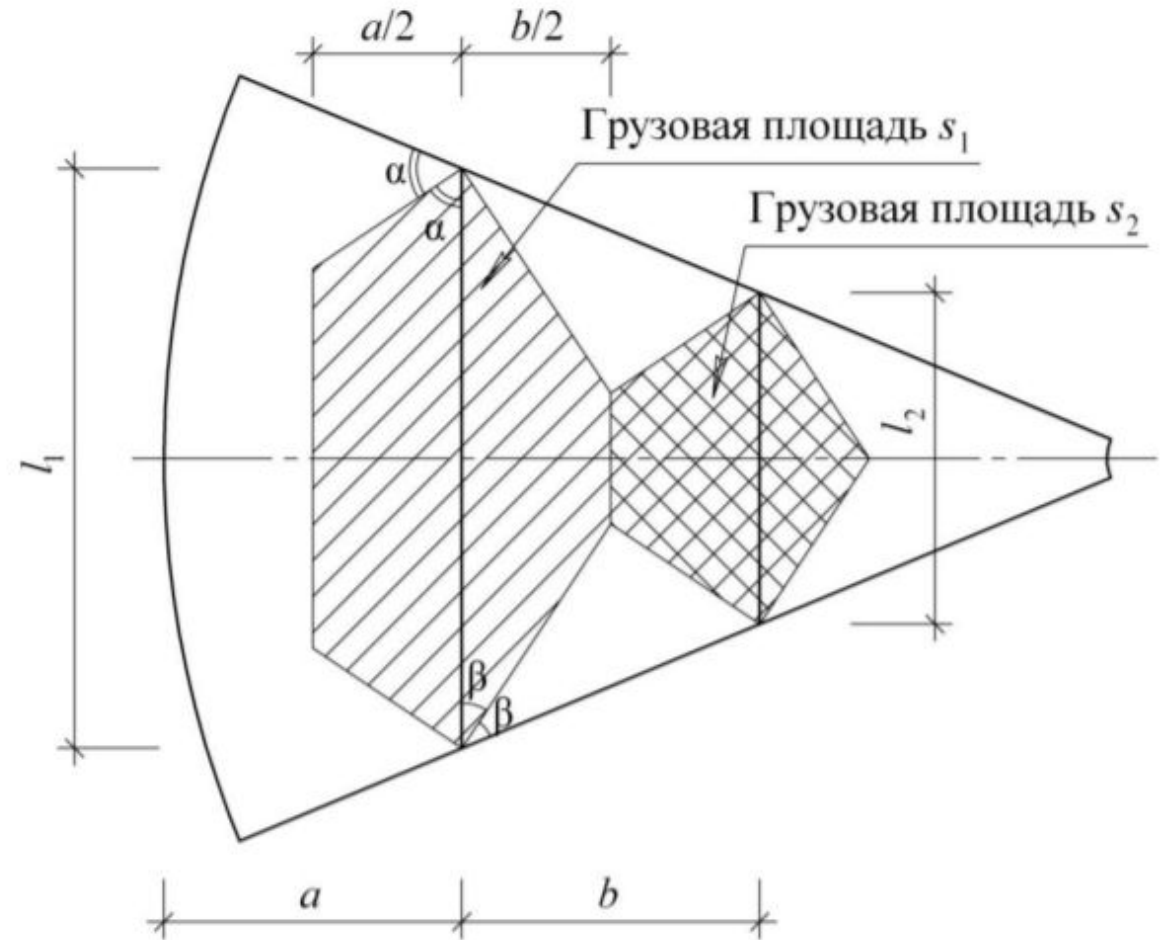
РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ И РАДИАЛЬНЫХ РЕБЕР

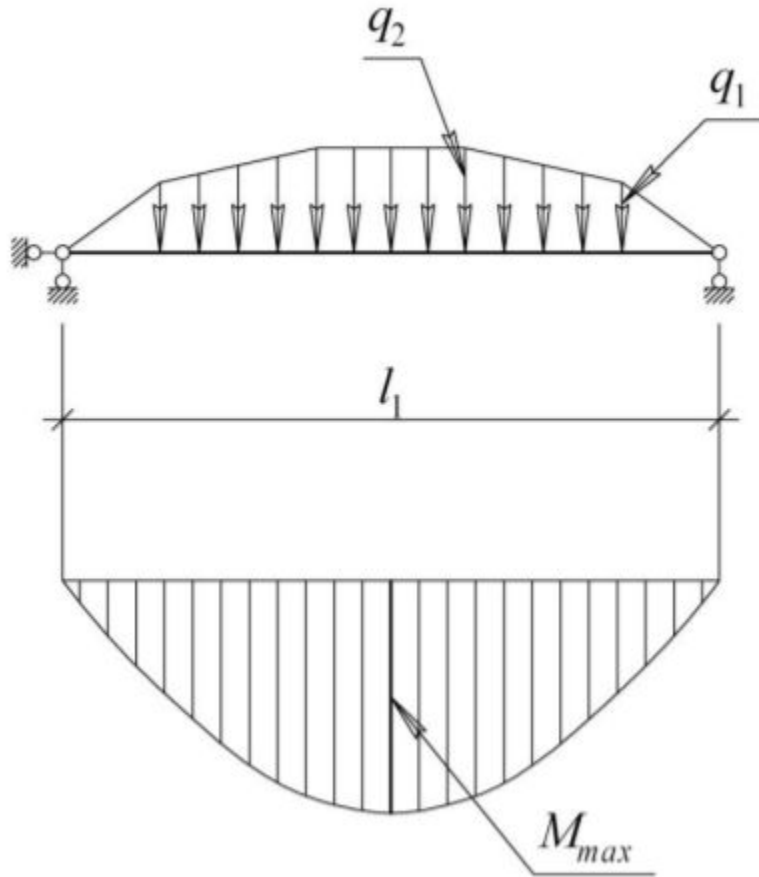
Подбор и проверка сечений резервуара

РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ РЕБЕР

Требуемый момент сопротивления:

$$W_{\text{треб}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot \gamma_n}{R_y \cdot \gamma_c}$$





Проверка прочности:

$$\frac{M}{W} = \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n}.$$

Проверка по предельному прогибу:

$$f_{max} \leq [f],$$



РАСЧЕТ РАДИАЛЬНЫХ РЕБЕР

Нормативное значение нагрузки p^n :

$$p_n = q_n \cdot b,$$

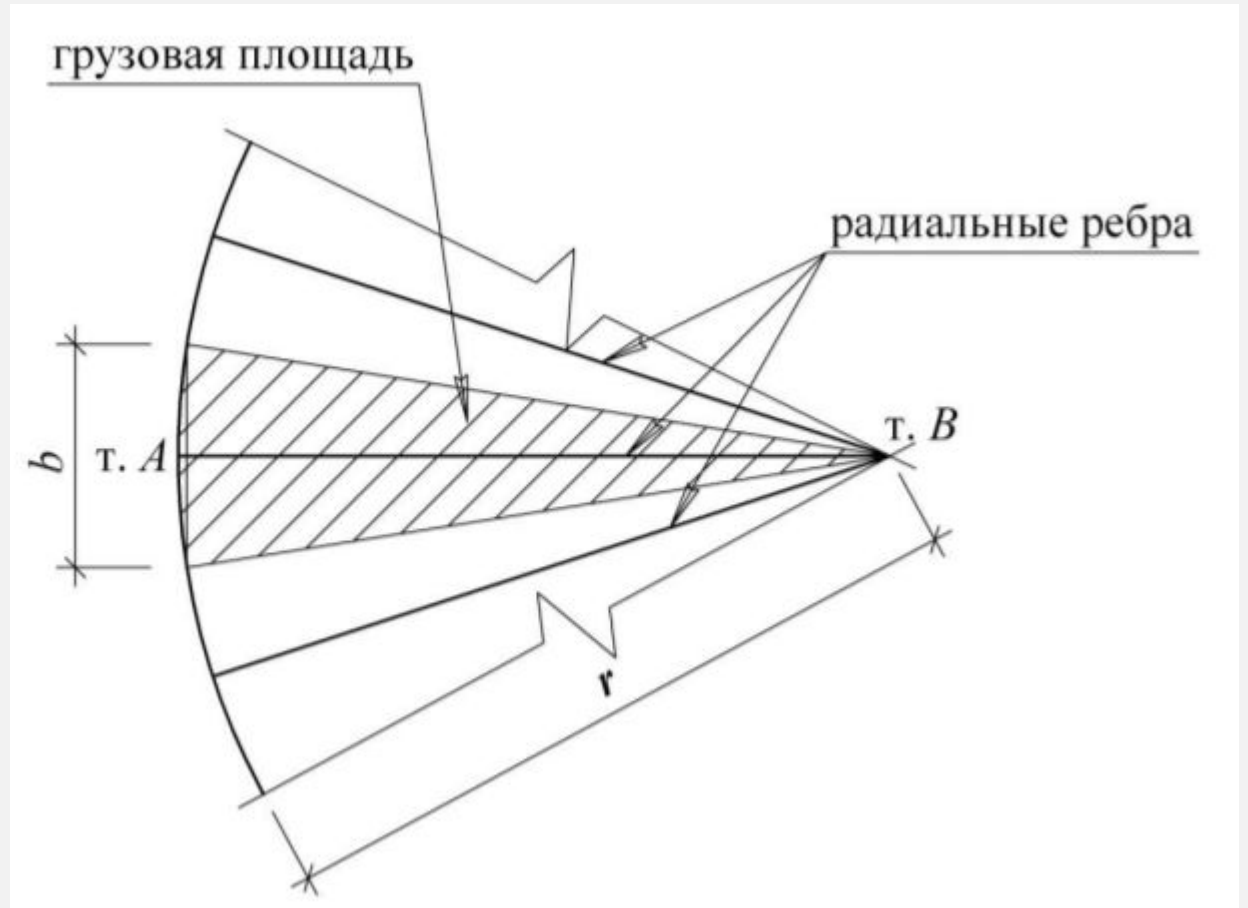
Расчётное значение нагрузки p :

$$p = q \cdot b,$$

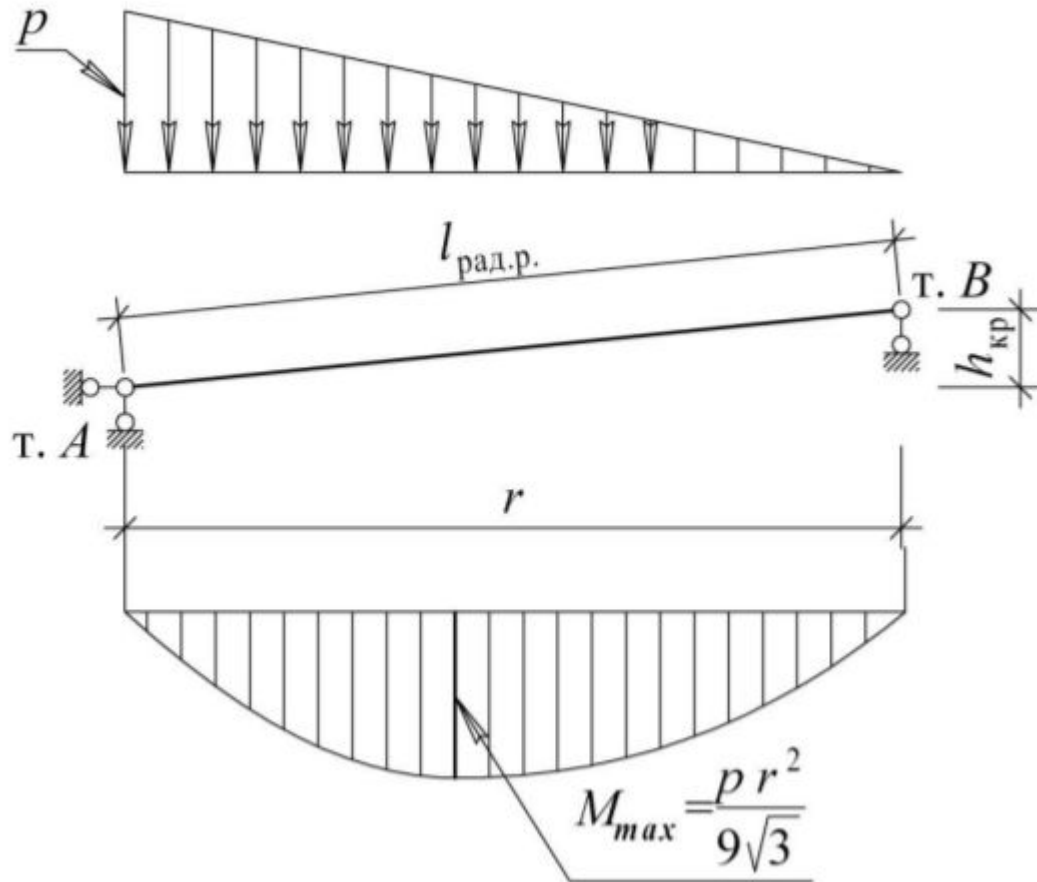
«сверху вниз» или «снизу вверх»

где q – расчётная равномерно распределённая нагрузка по площади;

b – ширина грузовой площади.



С ЦЕНТРАЛЬНОЙ СТОЙКОЙ



Максимальный **изгибающий момент** в шарнирно-опёртой балке, нагруженной сплошной нагрузкой треугольного вида:

$$M_{max} = \frac{p \cdot r^2}{9\sqrt{3}},$$

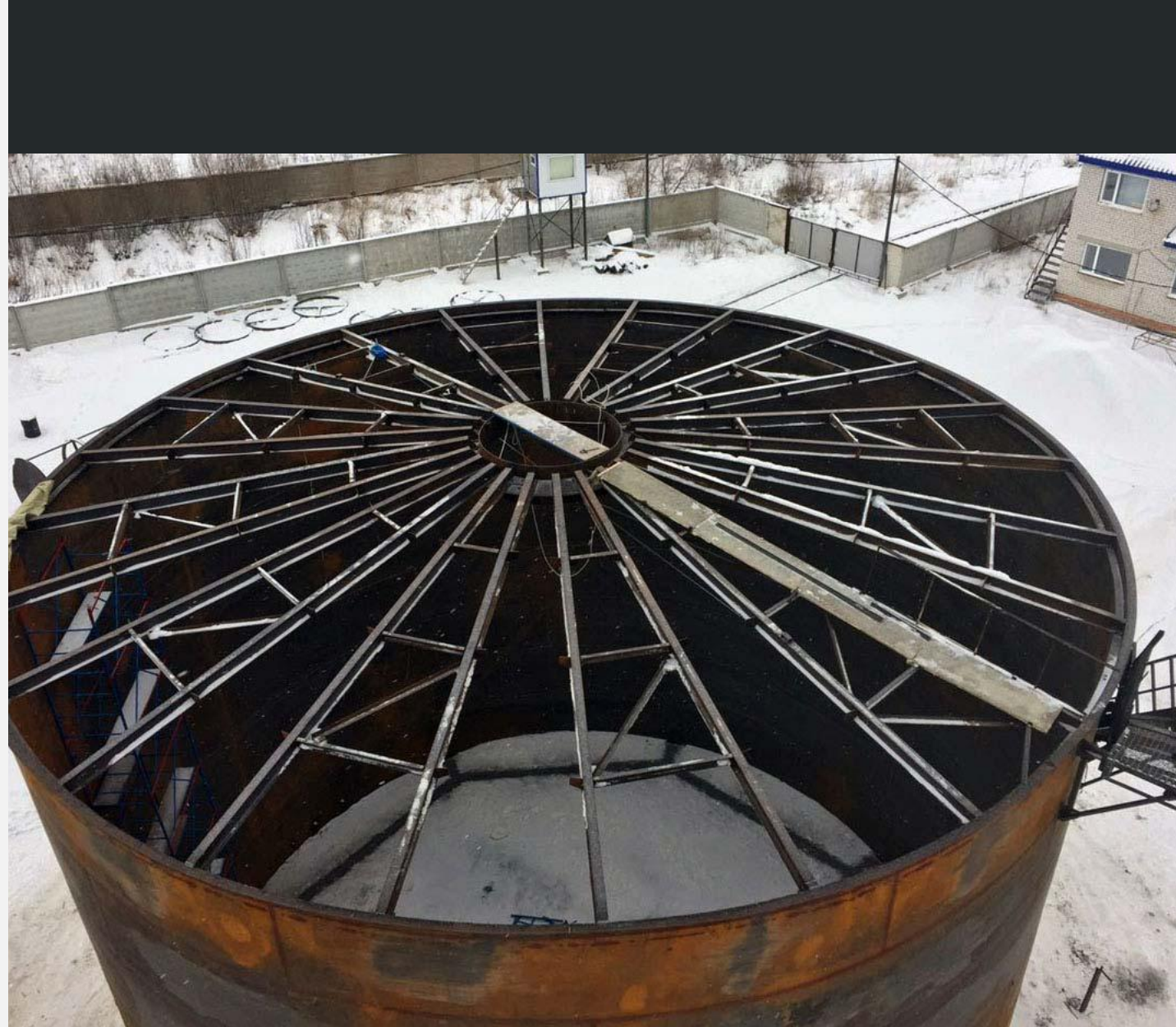
Максимальный **прогиб** шарнирно опёртой балки, нагруженной сплошной нагрузкой треугольного вида:

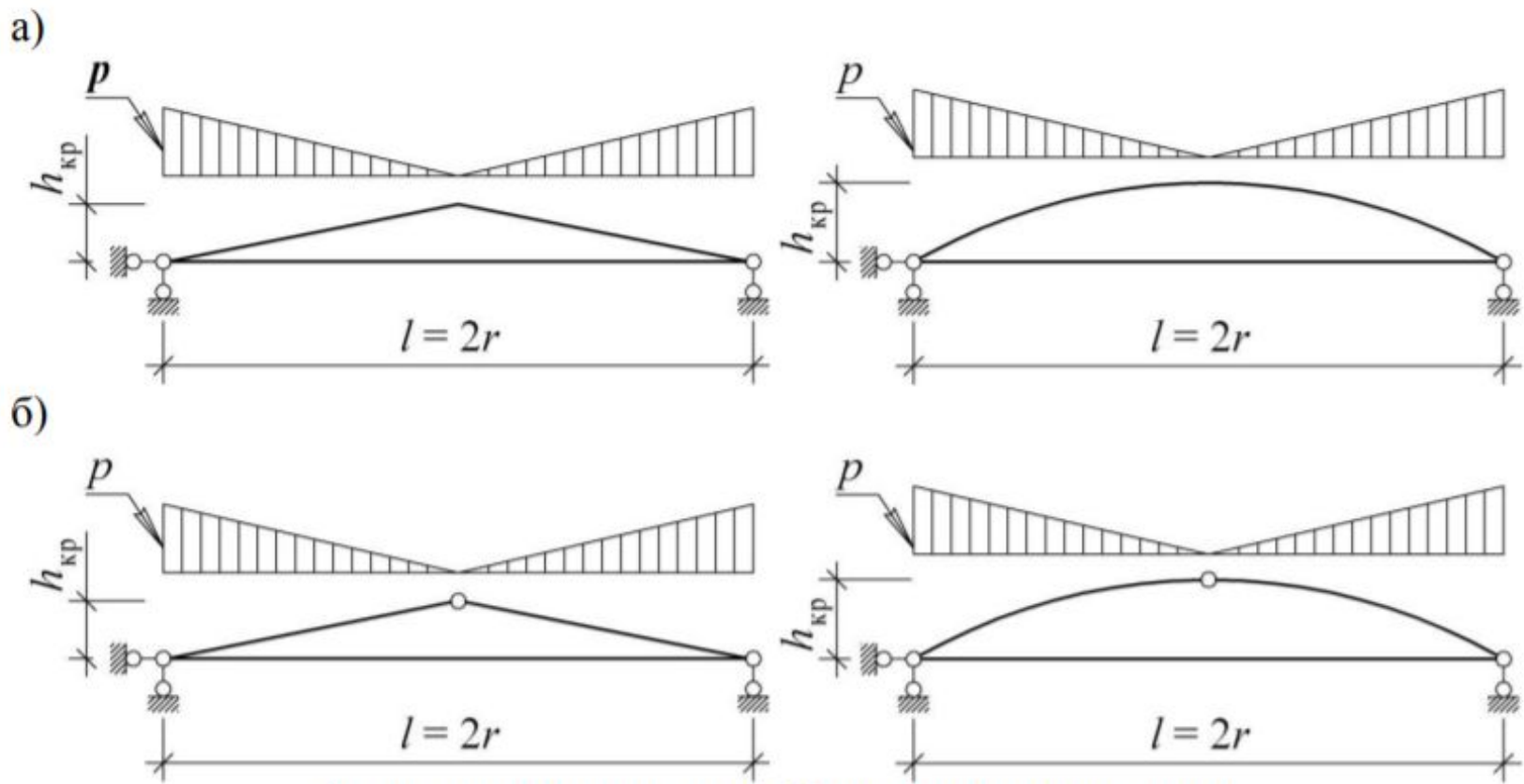
$$f_{max} = \frac{p_n \cdot r^4}{153 \cdot E \cdot I_x},$$

Требуемый **момент сопротивления** сечения из условия обеспечения прочности можно определить по формуле:

$$I_{\text{треб}} = \frac{p_n \cdot r^4}{153 \cdot E \cdot [f]}$$

Радиальные ребра проверяются на **прочность и жесткость** так же, как и поперечные ребра.



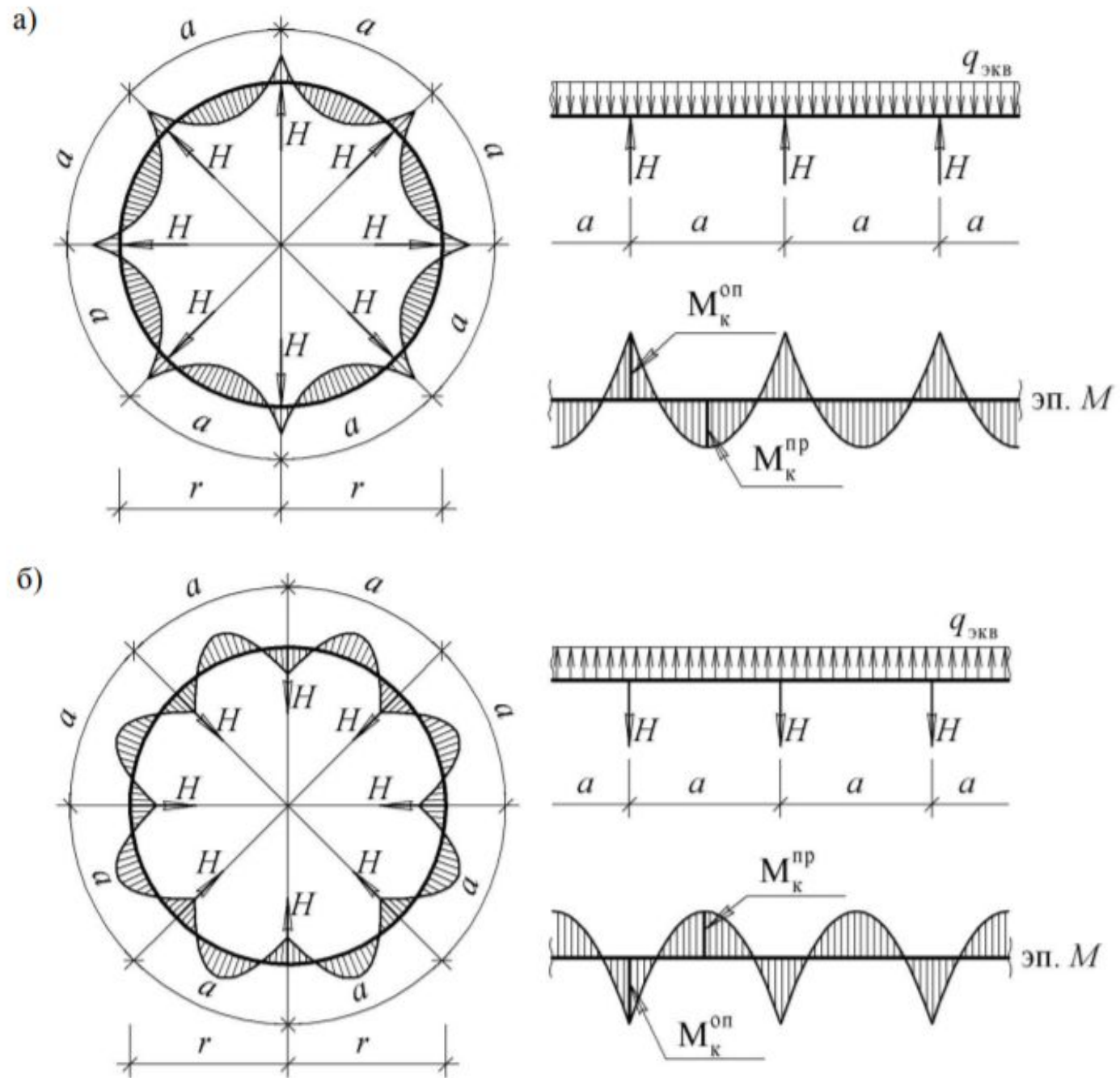


а) двухшарнирные арки, б) трёхшарнирные арки

БЕЗ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СТОЙКИ

ОПОРНОЕ КОЛЬЦО

- Возможными **расчётными сочетаниями** усилий для опорного кольца будут:
 - нагрузки «сверху-вниз» на покрытие и вакуум на стенку;
 - нагрузки «сверху-вниз» на покрытие, вакуум на стенку и ветровое давление на стенку;
 - нагрузки «снизу-вверх» на покрытие, избыточное давление на стенку, ветровая нагрузка на стенку



а) при нагрузке «сверху-вниз»; б) при нагрузке «снизу-вверх»

РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СТОЙКИ

Центрально приложенная осевая сила:

$$N_c = R \cdot n$$

Где R – реакция шарнирно опёртой радиальной балки:

$$R = \frac{p \cdot r}{6}$$

Расчёт стойки на устойчивость:

$$\frac{N_c}{\varphi \cdot A_c} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n}$$

Сжатая стойка проверяется по гибкости:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_c} \leq \lambda_u = 180 - 60\alpha$$



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. «КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ» Учебное пособие, А. А. Лапшин, А. И. Колесов, М. А. Агеева;
- 2. ГОСТ 31385-2016 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия (с Поправками)
- 3. Классификация резервуаров <https://r-stroitel.ru/klassifikaciya-rezervuarov/>