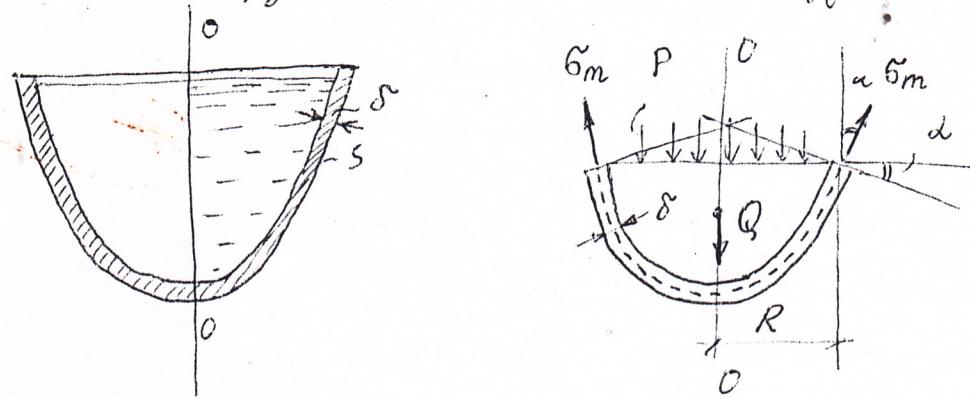


(1)

Расчёт тонкостенных сосудов

Стенки сосудов, испытывающие внутреннее давление воды, пара, или газа, находятся в состоянии двутороннего растяжения. К такими сосудам относятся паровые котлы, резервуары водонапорных башен, нефтебаки и др. Одной из особенностей такого рода конструкции является то, что толщина стенок δ по сравнению с общим характером её толщины. Это позволяет обходиться их тонкостенными сосудами.

Тонкостенные сосуды представляют собой тело вращения, чья их поверхность имеет форму образованную вращением некоторой кривой S вокруг оси $O-O$. Сечение сосуда тонкостенным содержит



диск ось $O-O$, называем меридианальным, а сечение по нормали к меридиану, т.е. к кривой S — окружностным сечением. Поверхность, которая делит толщину стенок сосуда пополам, называется срединной поверхностью.

В общем случае при действии нагрузки, которая не является в окружности напряжением, а имеет место лишь в меридианальной плоскости срединной поверхности сосуда, возникает убывание меридианального и двумя окружностным сечениям, расщепляется во взаимно перпендикулярных направлениях, кроме того (изгибаются) искривается. Двутороннее расщепление соответствует продольному сдвигу, а искривление же — сдвигу в меридианальной и окружностных направлениях — изгибу сдвигу сдвигу.

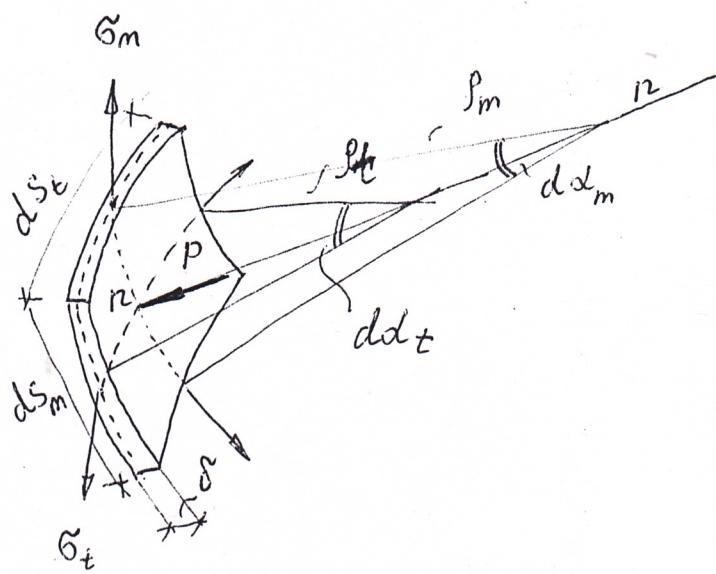
Во многих задачах оказывается возможным пренебречь меридианальное напряжение от изгиба, так как преобладающее значение имеет продольное сдвиг.

Напряжение сжатия стенок сосуда, когда изгибанием сдвигом преобнебрежимо сдвиг, называемый беззигзагийским, а меридианальный расчет без учета сдвига — беззакручиванием.

(2)

Определение напряжений в стенах сосудов по безмоментной теории

Давление передаваемое и действующее окружением стены сосуда из стекла сосуда бесконечно малой толщиной и распределенное равномерно.



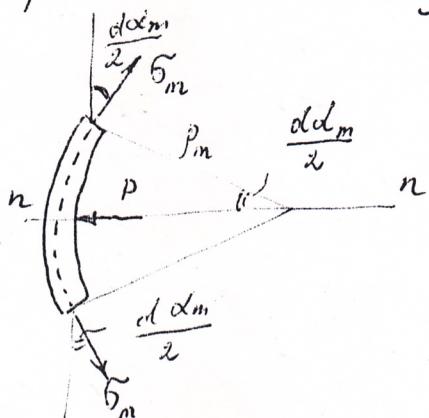
Безмоментная теория предполагает, что нагрузка действует на границах поперечных сечений.

Следовательно на бесконечно малой толщине действует только нормальное напряжение.

σ_m - меридианальное напряжение, действующее в окружном сечении в сечении.

σ_t - окружное напряжение, действующее в меридианальном сечении.

Найдем соотношение между радиальным распределением давления и средней поверхностью сосуда. Все радиальные усилия отнесены к срединной поверхности его стенок. Срединные поверхности сосуда представляют собой поверхности гладкой кривизны. Радиус кривизны меридиана в расстоянии r_m от оси P_m , а окружного сечения $-P_t$.



Соединим все сечения на $n-n$

$$2\sigma_m \cdot \delta \cdot dS_t \cdot \sin \frac{d\alpha_m}{2} + 2\sigma_t \cdot \delta \cdot dS_m \cdot \sin \frac{d\alpha_t}{2} - dS_m \cdot dS_t \cdot P = 0$$

В будущем у нас будет дробь делим на $\sin \frac{d\alpha_m}{2} \approx \frac{d\alpha_m}{2}$ и $\sin \frac{d\alpha_t}{2} \approx \frac{d\alpha_t}{2}$.

Разделим на $dS_m \cdot dS_t \cdot \delta$

$$\frac{\sigma_m \cdot d\alpha_m}{dS_m} + \frac{\sigma_t \cdot d\alpha_t}{dS_t} = \frac{P}{\delta}, \text{ значит, } \frac{d\alpha_t}{dS_t} = \frac{1}{P_t}, \frac{d\alpha_m}{dS_m} = \frac{1}{P_m}$$

Определение напряжений

$$\boxed{\frac{\sigma_m}{P_m} + \frac{\sigma_t}{P_t} = \frac{P}{\delta}}$$

①

уп-ие Нанссе

③

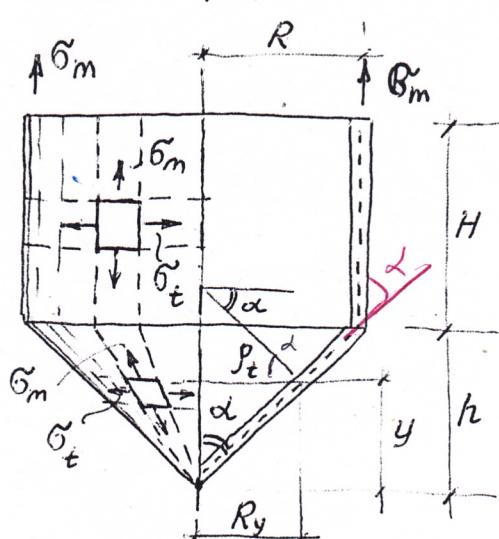
В уравнение Пашкаса входит неизвестное σ_m и σ_t .
Определение σ_m . Для этого составим сумму проекций на ось O-O отсечённой частию сосуда

$$\sigma_m \cdot 2\pi R \cdot \delta \cdot \cos \alpha - p \cdot \pi R^2 - Q = 0 \quad \text{отсюда}$$

$$\sigma_m = \frac{pR}{2\delta \cos \alpha} + \frac{Q}{2\pi R \cdot \delta \cdot \cos \alpha}, \quad ②$$

где Q - все части сосуда и псевдокости, лежащие ниже рассматриваемого окружного сечения;
 p - давление в псевдокости, по закону Паскаля одинаковое во всех направлениях и равное γh , h -глубина рассматриваемой точки, а γ -вес единицы объема псевдокости. Если псевдокость характеризуется под некоторым избыточным давлением q то в этом случае $p = \gamma h + q$. Уравнение ① и формула ② позволяют найти оба напряжения σ_t и σ_m в каждой точке отсечки сосуда.

Принцип расчета



Изогидрическое резервуар с конической днищем

I Определение окружных напряжений σ_t

a) коническая часть

$$P_m = \infty$$

тогда из ①

$$\sigma_t = \frac{P_t \cdot p}{\delta} \quad ③$$

На глубине $H+h-y$ давление p составит

$$p = \gamma(H + h - y) \quad ④$$

$$\frac{R}{h} = \frac{R_y}{y}; \quad R_y = \frac{R \cdot y}{h}; \quad P_t = \frac{R_y}{\cos \alpha} \quad \text{или} \quad P_t = \frac{R \cdot y}{h \cos \alpha} \quad ⑤$$

Подставив ⑤ и ④ в ③

$$③ \quad \sigma_t = \frac{R \cdot y \cdot \gamma (H + h - y)}{\delta \cdot h \cdot \cos \alpha}$$

при $y=0$

$$\sigma_t = 0$$

при $y = \frac{h}{2}$

$$\sigma_t = \frac{R \cdot \frac{h}{2} \cdot \delta (H+h-\frac{h}{2})}{\delta \cdot h \cdot \cos \alpha} = \frac{R \cdot \delta (H+\frac{h}{2})}{2 \delta \cdot \cos \alpha} \quad \text{или}$$

$$\sigma_t = \frac{R \cdot \delta (2H+h)}{4 \delta \cos \alpha}$$

при $y=h$

$$\sigma_t = \frac{R \cdot h \cdot \delta (H+h-h)}{\delta \cdot h \cdot \cos \alpha} = \frac{R \delta H}{\delta \cos \alpha}$$

Определим, в какой мере σ_t^{\max} . Возьмем производную и приравняем к нулю

$$\begin{aligned} \frac{d \sigma_t}{dy} &= \frac{d}{dy} \left[\frac{R \cdot y \cdot \delta (H+h-y)}{\delta \cdot h \cdot \cos \alpha} \right] = \frac{d}{dy} \left(\frac{R y \cdot \delta \cdot H + R y \cdot h \cdot \delta - R y^2 \cdot \delta}{\delta h \cos \alpha} \right) = \\ &= \frac{R \delta H + R h \delta - 2y R \delta}{\delta h \cos \alpha} = \frac{R \delta}{\delta h \cos \alpha} (H+h-2y) = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{R \delta}{\delta h \cos \alpha} \neq 0 \text{ тогда } H+h-2y=0. \text{ Отсюда } y = \frac{H+h}{2}$$

$$\sigma_t^{\max} = \frac{R \cdot \frac{H+h}{2} \delta (H+h-\frac{H+h}{2})}{\delta \cdot h \cdot \cos \alpha} = \frac{R \delta (H+h)^2}{4 \delta \cdot h \cdot \cos \alpha}$$

5) изогнутопрессовая ракета

$$P_m = \infty, P_t = R, p = \delta (H+h-y)$$

$$\sigma_t = \frac{P \cdot P_t}{\delta} = \frac{\delta (H+h-y) R}{\delta}$$

$$\text{при } y=h \quad \sigma_t = \frac{\delta H R}{\delta}$$

$$\text{при } y=H+h \quad \sigma_t = 0$$

II Определение перегибанийных напряжений

a) коническая ракета.

Для конической ракеты можно ее толщиною в обеих конусах рассмотреть y :

$$Q = \frac{1}{3} \delta \cdot \pi R_y^2 \cdot y \quad R_y = \frac{R \cdot y}{h} \quad Q = \frac{\delta \pi R^2 \cdot y^3}{3 \cdot h^2} \quad (2)$$

Подставляем (8), (a) и (2) в (2) получим

$$\sigma_m = \frac{P R_y}{2 \delta \cos \alpha} + \frac{Q}{2 \pi R_y \delta \cos \alpha} = \frac{R \cdot y \cdot \delta (H+h-y)}{2 \delta \cdot h \cdot \cos \alpha} + \frac{\delta \pi R^2 \cdot y^3}{3 \cdot h^2 \cdot \pi \delta \cos \alpha} = = =$$

$$= \frac{\frac{3}{2} R \cdot y \cdot \delta (H+h-y)}{2 \cdot \delta \cdot h \cdot \cos \alpha} + \frac{\delta R y^2}{6 \delta h \cos \alpha} = \frac{\delta R y}{6 \delta \cdot h \cos \alpha} [3(H+h-y) + y],$$

$$\tilde{\sigma}_m = \frac{\delta R y}{6 \delta \cdot h \cos \alpha} [3(H+h)-2y].$$

Определение в какой точке $\tilde{\sigma}_m^{\max}$. Возьмем производную и приведем к нулю

$$\frac{d \tilde{\sigma}_m}{dy} = 3(H+h) - 4y = 0.$$

$$y = \frac{3}{4}(H+h) \quad \text{П. в. т.}$$

$$\tilde{\sigma}_m^{\max} = \frac{3}{16} \frac{\delta R (H+h)^2}{\delta \cdot h \cdot \cos \alpha}$$

точка находится где пределы касательных равны.

$$\tilde{\sigma}_m(y=0) = 0.$$

$$\tilde{\sigma}_m(y=h) = \frac{\delta R (3H+h)}{6 \delta \cdot \cos \alpha}$$

$$\tilde{\sigma}_m(y=\frac{h}{2}) = \frac{\delta R \cdot \frac{h}{2}}{6 \cdot \delta \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos \alpha} [3H+3h-2 \cdot \frac{h}{2}] = \frac{\delta R}{12 \delta \cos \alpha} (3H+2h)$$

5) цилиндрическая ракета

$$\rho_m = \infty \quad \rho_t = R, \quad Q = \delta(V_{\text{сна}} + V_{\text{внн}}) = \delta [\pi R^2 (y-h) + \frac{1}{3} \pi R^2 h] =$$

$$= \frac{\delta \pi R^2}{3} (3y-2h); \quad \cos \alpha = 1$$

$$\tilde{\sigma}_m = \frac{\delta (H+h-y)R}{2\delta} + \frac{\delta \pi R^2 (3y-2h)}{3 \cdot 2 \pi \cdot R \cdot \delta} =$$

$$= \frac{\delta R [3H+3h-3y+3y-2h]}{6 \delta} = \frac{\delta R (3H+h)}{6 \delta}$$

