Верхнее днище топливного бака.

Мы убедились что сфер. полусфер. днище работает в целом хорошо. Но по техн.ол., констр.укт. и др. соображениям применяют другие виды днищ. Например сферическое, эллипт., торосферическое (коробовое)

сфер.   эллипт.   торосфер.
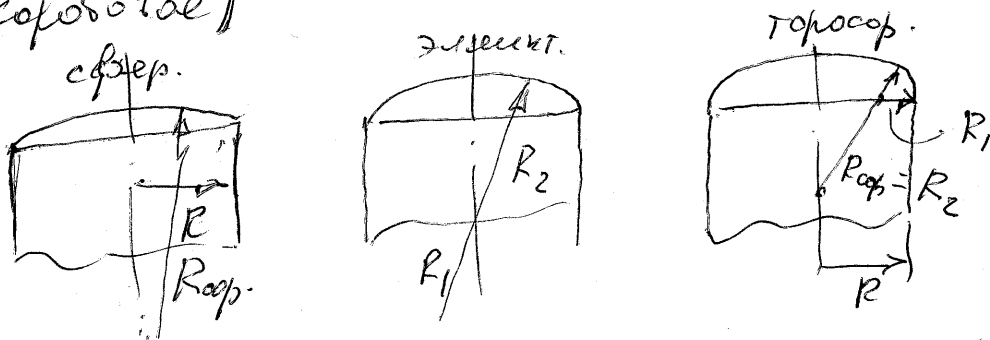
Выбор днища определяется технологическими соображениями (проще сферическое), прочностными (это мы обсудим), объёмом ($V_{тор} > V_{элл.} > V_{сф}$).

Ванное устройство межд. отсека. Для больших ракет как правило сфер. дн., там днище особо не важна, для малых ракет с ЖРД применяют торосф. т.к оно более полно заполняет межбак отсек.
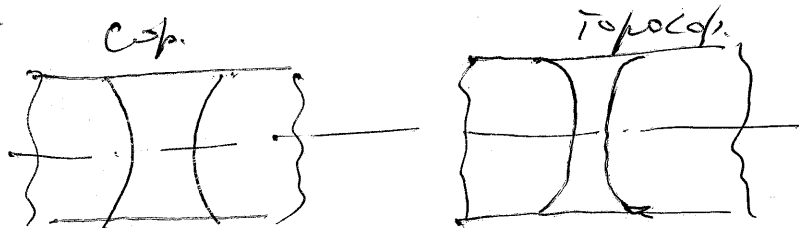
сф.   торосф.

Сравним эти днища. Для цилиндр оболочки

$$P_{нд} \pi R^2 = 2\pi R T_1, \quad T_1 = \frac{P_{нд} R}{2}$$

Из Лапласа

$$\frac{T_1}{R_1} + \frac{T_2}{R_2} = P_{нд} \qquad T_2 = P_{нд} \cdot R$$

$$P \pi R^2 = 2\pi R T$$

$$T = \frac{P R_{сф}}{2}$$

Рассмотрим днища с одинаковым вылетом

$$\xi = \frac{\delta}{R} = 0,5. \quad \text{иногда относят к } D, \text{ тогда}$$

$$\xi_1 = \frac{\delta}{2R} = 0,25.$$

Сферическое днище.
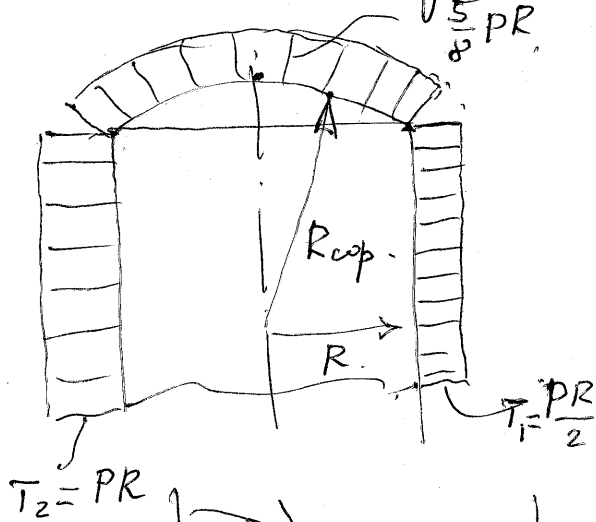
$$\frac{5}{8}PR$$

$R_{сф}$

R

$T_1 = \frac{PR}{2}$

$T_2 = PR$

Для $\gamma = 0{,}5$ $\quad R_{сф} = \frac{5}{4}R$

Для цилиндра $T_1 = \frac{PR}{2}$, $T_2 = PR$

Тогда $\quad T_2 = \frac{PR_{сф}}{2} = \frac{P}{2} \cdot \frac{5}{4}R = \frac{5}{8}PR$

α_0

$T_{1ц}$ $\quad T_{1сф}$

$90 - \alpha_0$

α_0

$T_{1сф}$

$T_{1сф} \cdot \cos \alpha_0$
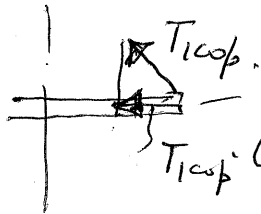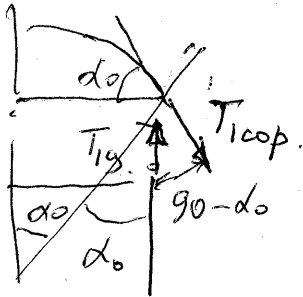
Сила $T_{1сф}$ передается на шпангоут. Если его нет, кольца то будет изгиб оболо-чки.

Если материал пласти-чен, то он образует пласт. шарнир и материал буде-держать давление. Если материал хрупкий (композ-то может быть трещина.
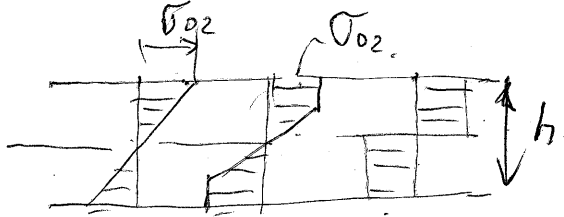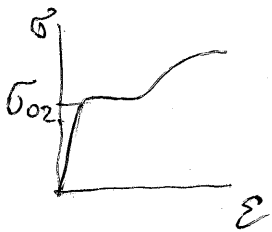
Для точного решения за-дачи надо решать с учетом краевого эффекта.

σ

σ_{02}

ε

σ_{02}

σ_{02}

h

Эллиптическое днище.

Главные радиусы кривизны можно записать через вылет ξ.

$$R_1 = \frac{R}{\xi\left(\cos^2\alpha + \frac{1}{\xi^2}\sin^2\alpha\right)^{3/2}}$$

$$R_2 = \frac{R}{\xi\left(\cos^2\alpha + \frac{1}{\xi^2}\sin^2\alpha\right)^{1/2}}$$

Для замкнутого купола

$$T_1 = \frac{PR_2}{2} \qquad T_2 = T_1\left(2 - \frac{R_2}{R_1}\right).$$

$$T_1 = \frac{PR}{2}\cdot\frac{1}{\xi\left(\cos^2\alpha + \frac{1}{\xi^2}\sin^2\alpha\right)^{1/2}}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R\left(\quad\right)^{3/2}\xi}{\xi\left(\quad\right)^{1/2}R} = \left(\cos^2\alpha + \frac{1}{\xi^2}\sin^2\alpha\right)$$

$$T_2 = T_1\left[2 - \left(\cos^2\alpha + \frac{1}{\xi^2}\sin^2\alpha\right)\right]$$

при $\alpha = 0$ $\quad$ $T_1 = \frac{PR}{2}\cdot\frac{1}{\xi\cdot\frac{1}{2}} = PR = T_2$
$\xi = 0,5$

при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ $\quad$ $T_1 = \frac{PR}{2}\cdot\frac{1}{0,5\cdot\left(\frac{1}{0,5^2}\cdot 1\right)^{1/2}} = \frac{PR}{2}$

$$T_2 = \frac{PR}{2}\left[2 - \frac{1}{0,5^2}\cdot 1\right] = \frac{PR}{2}(2-4) = -PR$$

В месте перехода эллипса и цилиндра
$T_{1ц} = T_{1элл}.$ нет радиальной силы. Но изгиб
стенки все равно есть т.к T_2 изменяется от $+PR$
до $-PR$ Цилиндр растянут а эллипс сжат. м.б.
было потеря устойчивости.
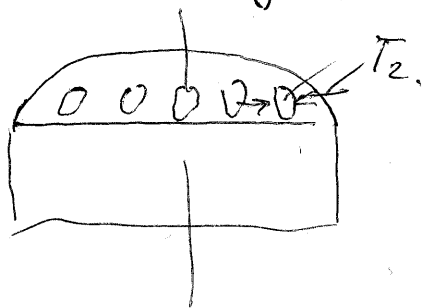
Торосферическое днище.
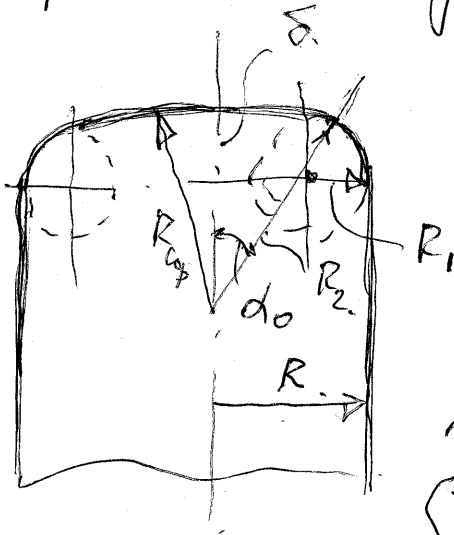
Условие сопряжения сферы и тора $R_{сф} = R_2$

Можно составить два уравнения

$$(R_{сф} - R_1)\sin\alpha_0 = R - R_1$$
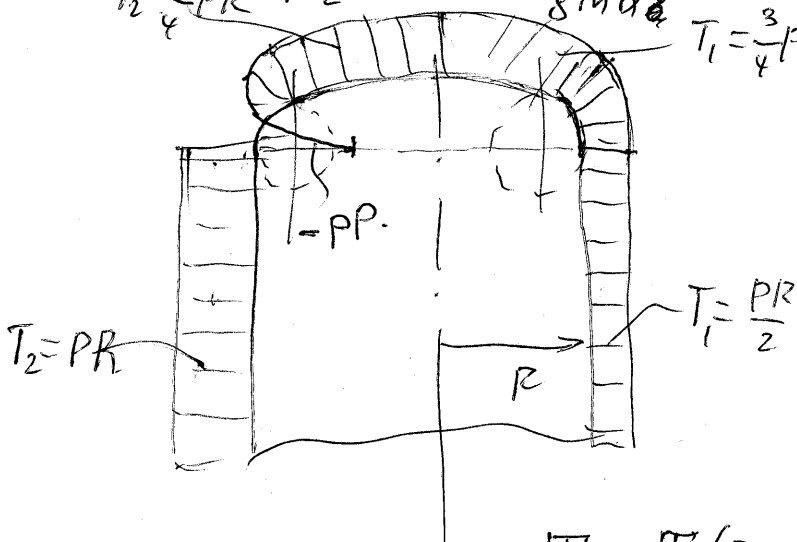
$$(R_{сф} - R_1)\cos\alpha_0 = R_{сф} - \delta.$$

Из последнего уравнения

$$\begin{cases} \xi = \dfrac{\delta}{R} = [R_{сф} - (R_{сф} - R_1)\cos\alpha_0]\dfrac{1}{R} \\ (R_{сф} - R_1)\sin\alpha_0 = R - R_1 \end{cases}$$

Можно задать ξ, R – известно, взять $R_1 = R/4$

и найти $R_{сф} = \dfrac{3}{2}R_ч$, $\sin\alpha_0 = 0,6.$

Найдем R_1 и R_2 для тора. $R_1 = R/4$.

$$T_2 = \dfrac{3}{4}PR \quad R_2 = R_1 + \dfrac{R - R_1}{\sin\alpha} = \dfrac{R - R_1(1 - \sin\alpha)}{\sin\alpha}$$

$T_1 = \dfrac{3}{4}PR.$

Для сферы $\alpha = 0$

$$T_1 = T_2 = \dfrac{PR_{сф}}{2} = \dfrac{P}{2}\cdot\dfrac{3}{2}R = \dfrac{3}{4}P$$

Для тора $\alpha = \dfrac{\pi}{2}$

$$T_1 = \dfrac{PR_2}{2} = \dfrac{PR}{2}\dfrac{[1 - \dfrac{R_1}{R}(1 - \sin\alpha)]}{\sin\alpha}$$

$$= \dfrac{PR}{2}\dfrac{1 - \dfrac{1}{4}\cdot 0}{1} = \dfrac{PR}{2}$$

$$T_2 = T_1\left(2 - \dfrac{R_2}{R_1}\right)$$

При $\alpha = \dfrac{\pi}{2}$ $\quad T_2 = \dfrac{PR}{2}\left(2 - \dfrac{R - R_1(1 - \sin\alpha)}{R_1 \sin\alpha}\right) =$

$$= \dfrac{PR}{2}\left(2 - \dfrac{R - R_1(1 - 1)}{R_1 \cdot 1}\right) =$$

$$= \dfrac{PR}{2}(2 - 4) = -PR$$

Вывод тот же как для эллипт. днище.

$T_2 = PR$

$T_1 = \dfrac{PR}{2}$

Результаты анализа днищ.

Для цилиндра напряжения $\sigma_1 = \dfrac{PR}{2h}$ $\sigma_2 = \dfrac{PR}{h}$
от внутреннего давления наддува.

Для днищ таблица

α	сфера	Эллипс	Торосфера	Макс-напр
0	$\sigma_1 = \dfrac{PR}{h}\dfrac{5}{8}$ $\sigma_2 = \dfrac{PR}{h}\dfrac{5}{8}$	$\sigma_1 = \dfrac{PR}{h}$ $\sigma_2 = \dfrac{PR}{h}$	$\sigma_1 = \dfrac{3}{4}PR$ $\sigma_2 = \dfrac{3}{4}PR$	Эллипс $\sigma_{нап} = \dfrac{PR}{h}$
$\dfrac{\pi}{2}$	$\sigma_1 = \dfrac{PR}{h}\dfrac{5}{8}$ $\sigma_2 = \dfrac{PR}{h}\dfrac{5}{8}$	$\sigma_1 = \dfrac{PR}{2h}$ $\sigma_2 = -\dfrac{PR}{h}$!	$\sigma_1 = \dfrac{PR}{2h}$ $\sigma_2 = -\dfrac{PR}{h}$!	Эллипс, торо сфера $\sigma_{экв} = 1,3\dfrac{PR}{h}$

Вывод

Максимальное напряжение в точке
днища при $\alpha = \dfrac{\pi}{2}$ в 1,3 раза превосходит
напряжение в цилиндрической оболочке.

Для пластичного материала б/м теория
в целом хорошо характеризует прочность.
В месте сопряжения оболочки и днища
б/м теория не даёт точной картины, т.к.
там обычно имеется концентрация скачок
напряжений вследствие краевого эффекта.
Желательно более точное решение, но
если его нет то пластичный материал
в случае скачка напряжений образует
пластический шарнир. Поэтому есть
надежда, что безмоментный расчёт будет
окончательным.