ВАРИАНТ №1 НОВИКОВ А.А. СМ13-28

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

$V_{ves} := 0.1$ $м^3$ - объем баллона

$R_c := 0.25$ м - радиус цилиндрической части

$R_0 := 0.275 R_c = 0.069$ м - радиус полюсного отверстия

$P_{raz} := 20$ МПа - разрушающее давление

$\sigma_1 := 1500$ МПа - прочность углепластика на растяжение вдоль волокн

$\rho := 1500 \frac{кг}{м^3}$ - плотность углепластика

$w := 6 \cdot 10^{-3}$ м - ширина композитной ленты

$h_{len} := 1 \cdot 10^{-4}$ м - толщина композитной ленты

$\sigma_t := 170$ МПа - предел текучести фланца АМг6

$\sigma_B := 320$ МПа - предел прочности фланца АМг6

РЕШЕНИЕ:

$R := R_0, R_0 \cdot 1.01 .. R_c$ - текущая координата радиуса

$R_{otn} := \frac{R_0}{R_c}, \frac{R_0}{R_c} \cdot 1.01 .. \frac{R_c}{R_c}$ –относительная текущая координата радиуса

1. РАСЧЕТ ФОРМЫ ДНИЩА:

$\varphi := 0$ - для решения уравнения Клеро

Given

$R_0 = R_c \cdot \sin(\varphi)$ - уравнение Клеро на экваторе днища

$\varphi_R := \mathrm{Find}(\varphi) = 15.962 \deg$ - угол спиральной намотки на экваторе днища

$R_f := \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot R_0 = 0.084$ - координата точка перегиба

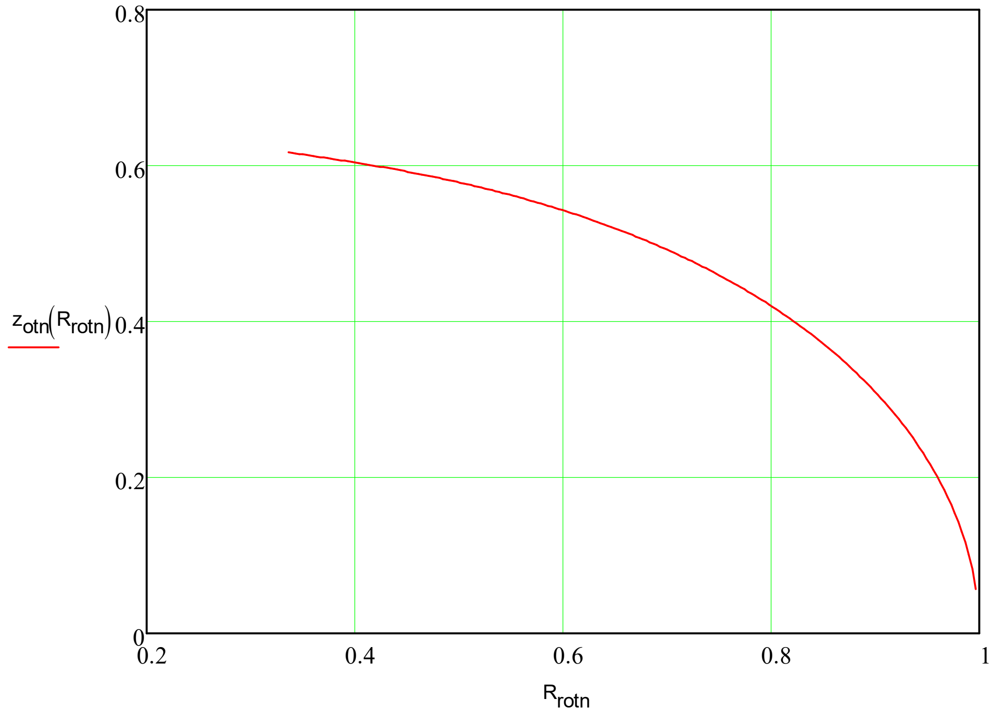
$R_{fotn} := \frac{R_f}{R_c} = 0.337$ - относительная координата точки перегиба

$R_{0otn} := \frac{R_0}{R_c} = 0.275$- относительная координата радиуса полюсного отверстия

$$z_{otn}(R_{otn}) := -\sqrt{1 - R_{0otn}^{\ 2}} \cdot \int_1^{R_{otn}} \frac{R_{otn}^{\ 3}}{\sqrt{(R_{otn})^2 - (R_{0otn})^2 - (R_{otn})^6 \cdot (1 - R_{0otn}^{\ 2})}} \, d(R_{otn})$$

$z_{otn}(R_{fotn}) = 0.617$ $z_{otn}(1) = 0$

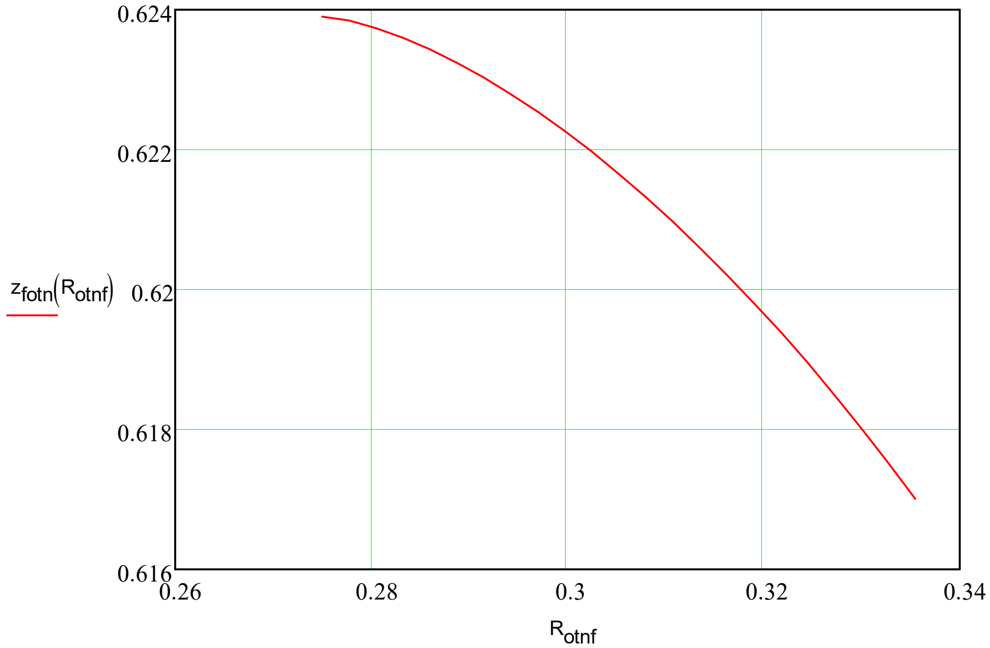
$R_{rotn} := R_{fotn}, R_{fotn} \cdot 1.01 .. \frac{R_c}{R_c}$ - относительная координата изменения радиуса регулярной части баллона



$$In1(R_{otn}) := \int_{R_{fotn}}^{R_{otn}} \frac{R_{otn}\cdot\sqrt{R_{otn}^2 - R_{0otn}^2}}{\sqrt{\left(R_{fotn}^2 - R_{0otn}^2\right)^2 - R_{otn}^2\cdot R_{fotn}^4\cdot\left(R_{otn}^2 - R_{0otn}^2\right)\cdot\left(1 - R_{0otn}^2\right)}}\, dR_{otn}$$

$$z_{fotn}(R_{otn}) := z_{otn}(R_{fotn}) - R_{fotn}^2\cdot\sqrt{1 - R_{0otn}^2}\cdot In1(R_{otn})$$

$R_{otnf} := R_{0otn}, 1.01R_{0otn} .. R_{fotn}$ - относительная координата изменения радиуса для зоны фланца



ПРОВЕРКА НЕПРЕРЫВНОСТИ МЕРИДИАНА ДНИЩА В ТОЧКЕ ПЕРЕГИБА:

$z_{otn}(R_{fotn}) = 0.617$ $z_{fotn}(R_{fotn}) = 0.617$ $z_{fotn}(R_{0otn}) \cdot R_c = 0.156$

2. ОПРЕДЕЛИТЬ ОПТИМАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ СТЕНКИ БАЛЛОНА (ДНИЩА И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ); ПОСТРОИТЬ ГРАФИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА АРМИРОВАНИЯ СЛОЕВ ПО МЕРИДИАНУ ДНИЩА

$h := \frac{3 \cdot P_{raz} \cdot R_c}{2 \cdot \sigma_1} = 5 \times 10^{-3}$ м - толщина цилиндрической части баллона

$h_{otn90} := 0$ $h_{otn\varphi} := 0$ - для решения системы уравнения

Given

$h_{otn90} + h_{otn\varphi} = 1$ условие равенства 1 суммы относительных толщин слоев

$\frac{h_{otn90}}{h_{otn\varphi}} = 2 \cdot \cos(\varphi_R)^2 - \sin(\varphi_R)^2$ - уравнение оптимальной структуры днища

$\mathrm{Find}(h_{otn90}, h_{otn\varphi}) = \begin{pmatrix} 0.639 \\ 0.361 \end{pmatrix}$ - относительные толщины кольцевого и спирального слоя

$h_{90} := h \cdot 0.639 = 3.195 \times 10^{-3}$ м - абсолютная толщина кольцевого слоя

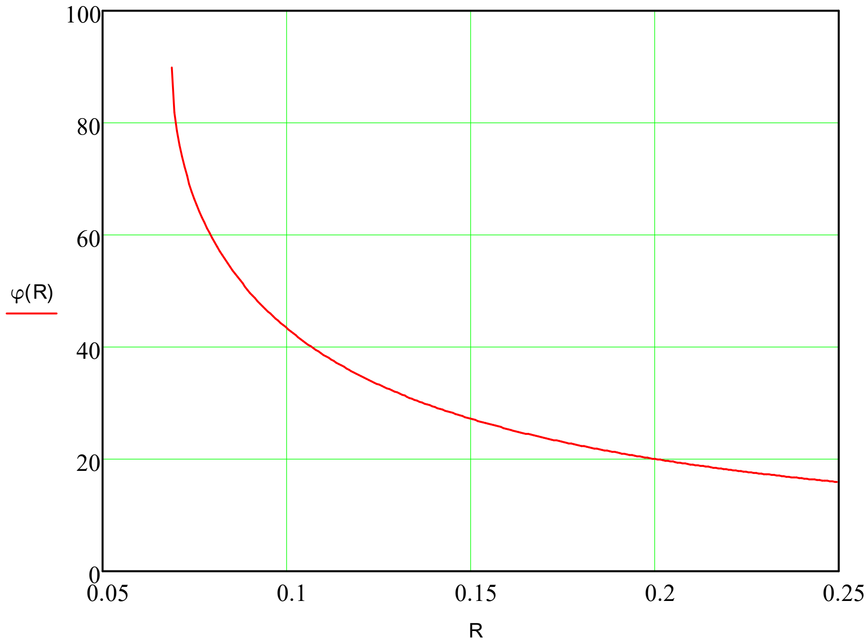
$h_{\varphi} := h \cdot 0.361 = 1.805 \times 10^{-3}$ м - абсолютная толщина спирального слоя

КОЛИЧЕСТВО СЛОЕВ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ:

$\frac{h_{90}}{h_{len}} = 31.95$ - 32 кольцевых слоя

$\frac{h_{\varphi}}{h_{len}} = 18.05$ - 18 спиральных слоя

$\varphi(R) := \mathrm{asin}\left(\frac{R_0}{R}\right)\cdot\frac{180}{\pi}$ - изменение угла армирования для меридиана днища



3. ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДИЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ БАЛЛОНА

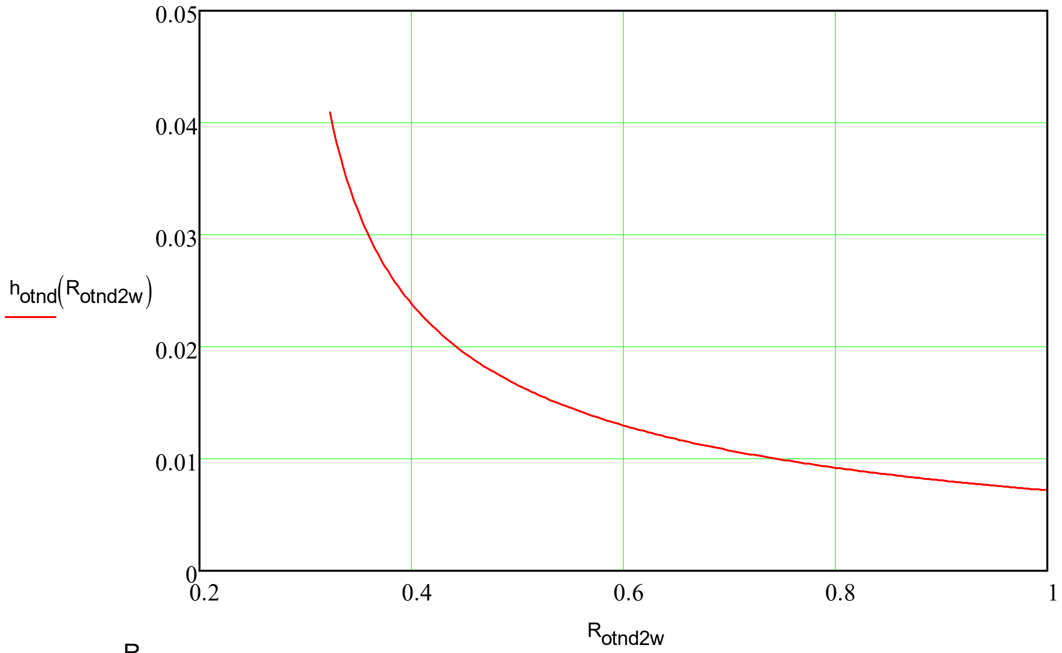
$h_R := h_\varphi = 1.805\times 10^{-3}$ м - толщина спирального слоя на экваторе днища

$R_{2w} := R_0 + 2\cdot w = 0.081$ м - 2 толщины ленты от полюсного отверстия

$h_d(R) := h\cdot R\cdot\sqrt{\frac{R_c^{\,2} - R_0^{\,2}}{R^2 - R_0^{\,2}}}$ - толщина днища до R_{2w}

$h_{otnd}(R_{otn}) := \frac{h_R}{R_c}\cdot\sqrt{\frac{1 - R_{0otn}^{\,2}}{R_{otn}^{\,2} - R_{0otn}^{\,2}}}$ - отлносительная толщина днища до R_{2w}

$$R_{otnd2w} := \frac{R_{2w}}{R_c}, 1.01 \cdot \frac{R_{2w}}{R_c} .. \frac{R_c}{R_c}$$ - изменение координаты радиуса для толщины стенки баллона до R_{2w}



$$R_{otn2w} := \frac{R_{2w}}{R_c} = 0.323$$ - относительная величина 2 ширины ленты от полюсного отверстия

$$h_{otn0} := 2 \cdot \frac{h_R}{R_c} = 0.014$$ - относительная толщина оболочки в точке R_0

$a_0 := 0 \quad a_1 := 0 \quad a_2 := 0 \quad a_3 := 0$ - для решения уравнения

$$ph_{otnd}(R_{otnd2w}) := \frac{d}{d(R_{otn2w})} h_{otnd}(R_{otnd2w})$$

$$ph_{otnd}(R_{otn2w}) = 0$$

Given

$$a_0 + a_1 \cdot R_{0otn} + a_2 \cdot R_{0otn}^2 + a_3 \cdot R_{0otn}^3 = h_{otn0}$$

$$a_0 + a_1 \cdot R_{otn2w} + a_2 \cdot R_{otn2w}^2 + a_3 \cdot R_{otn2w}^3 = h_{otnd}(R_{otn2w})$$

$$a_1 \cdot R_{otn2w} + 2a_2 \cdot R_{otn2w} + 3a_3 \cdot R_{otn2w}^2 = ph_{otnd}(R_{otn2w})$$

$$\int_{R_{0otn}}^{R_{otn2w}} \left(a_0 + a_1 \cdot R_{otn} + a_2 \cdot R_{otn}^2 + a_3 \cdot R_{otn}^3\right) \cdot R_{otn} \, dR_{otn} = \int_{R_{0otn}}^{R_{otn2w}} h_{otnd}(R_{otn}) \cdot R_{otn} \, dR_{otn}$$

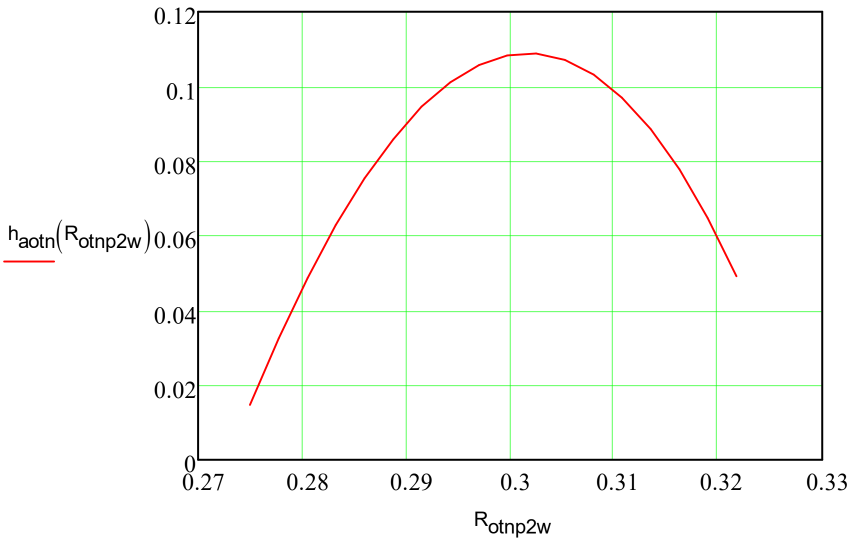
$$\mathrm{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) = \begin{pmatrix} -3.214 \\ -9.596 \\ 173.139 \\ -347.453 \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} -3.214 \\ -9.596 \\ 173.139 \\ -347.453 \end{pmatrix}$$

$h_{aotn}(R_{otn}) := a_0 + a_1 \cdot R_{otn} + a_2 \cdot R_{otn}^2 + a_3 \cdot R_{otn}^3$

уравнение апроксимации толщины стенки днища

$R_{otnp2w} := R_{0otn}, R_{0otn} \cdot 1.01 .. R_{otn2w}$

изменение координаты для стенки днища вблизи полюсного отверстия



$h_{otnd}(0.323) = 0.041 \qquad h_{aotn}(0.323) = 0.041$

4. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ И ШИРИНЫ ФЛАНЦА:

$\tau_{sr} := 210$ МПа - предел прочности на срез

$n := 2$ - коэффицент запаса

$h_f := \dfrac{n \cdot P_{raz} \cdot R_0}{2 \cdot \tau_{sr}} = 6.548 \times 10^{-3}$ м - высота фланца

$b := R_f - R_0 = 0.015$ м - ширина фланца

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ РЕГУЛЯРНОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ:

$$V_R := \pi \cdot R_c^3 \cdot \sqrt{1 - R_{0otn}^2} \cdot \int_{R_{fotn}}^{1} \frac{R^5}{\sqrt{R^2 - R_{0otn}^2 - R^6 \cdot \left(1 - R_{0otn}^2\right)}} \, dR = 0.022 \text{ м}^3$$

- объем регулярной части днища

$$In2 := \int_{R_{0otn}}^{R_{fotn}} \frac{R^3 \cdot \sqrt{R^2 - R_{0otn}{}^2}}{\sqrt{\left(R_{fotn}{}^2 - R_{0otn}{}^2\right)^2 - R_{fotn} \cdot R^2 \cdot \left(1 - R_{0otn}{}^2\right) \cdot \left(R^2 - R_{0otn}{}^2\right)}} \, dR$$

$V_f := R_{fotn}{}^2 \cdot \pi \cdot R_c{}^3 \cdot \sqrt{1 - R_{0otn}{}^2} \cdot In2 = 5.821 \times 10^{-5}$ $м^3$ - объем в зоне фланца

$V_d := V_R + V_f = 0.022$ $м^3$ - объем днища

$V_c := V_{ves} - V_d \cdot 2 = 0.056$ $м^3$ - объем цилиндрической части

$L_c := \dfrac{V_c}{\pi \cdot R_c{}^2} = 0.283$ м - длина цилиндрической части

$L_R := R_c{}^3 \cdot \displaystyle\int_{R_{fotn}}^{1} \frac{R}{\sqrt{R^2 - R_{0otn}{}^2 - R^6 \cdot \left(1 - R_{0otn}{}^2\right)}} \, dR = 0.017$ м- длина одного композитного жгута реглярной части днища

$$L_f := R_c \cdot \left(R_{fotn}{}^2 - R_{0otn}{}^2\right) \cdot \int_{R_{0otn}}^{R_{fotn}} \frac{R}{\sqrt{R^2 - R_{0otn}{}^2} \cdot \sqrt{\left(R_{fotn}{}^2 - R_{0otn}{}^2\right) - R_{fotn}{}^4 \cdot R^2 \cdot \left(1 - R_{0otn}{}^2\right) \cdot \left(R^2\right.}}$$

$L_f = 9.455 \times 10^{-3}$ м - длина одного композитного жгута в области фланца

$L_\Sigma := L_R + L_f = 0.027$ м - длина одного композитного жгута днища

$L_{otn} := \dfrac{L_\Sigma}{R_c} = 0.107$ - относительная длина одного композитного жгута днища

$V_{otn} := \dfrac{V_{ves}}{R_c{}^3} = 6.4$ - относительный объем баллона

$k := \dfrac{\pi \cdot L_{otn}}{V_{otn} \cdot \sqrt{1 - R_{0otn}{}^2}} = 0.055$ - коэффицинет весовой эффиктивности днища

$M_d := k \cdot \rho \cdot \dfrac{P_{raz} \cdot V_{ves}}{\sigma_1} = 0.11$ кг - масса днища

$M_c := 2 \cdot \pi \cdot R_c \cdot h \cdot L_c \cdot \rho = 3.333$ кг - масса цилиндрической части

$M_{ves} := 2 \cdot M_d + M_c = 3.552$ кг - масса баллона

$$\frac{\qquad}{\overline{\quad} - R_{0otn}{}^{2}\big)} dR$$