

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК И СОСУДОВ ПО БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ

Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю. Капуза М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Широко распространенными типовыми элементами теплообменных аппаратов являются оболочки вращения и сосуды. Если толщина стенки в 5-10 раз меньше, чем ширина профиля или отношение толщины стенки к наименьшему диаметру кривизны срединной поверхности меньше $1/20$, то такую оболочку относят к тонкостенной конструкции. Оболочка вращения, на которую действует нагрузка симметричная относительно оси вращения, называется осесимметричной.

Распространенной теорией, на которой основывается методика расчета оболочек, является безмоментная теория, согласно которой считают, что в поперечных сечениях оболочки изгибающие и крутящие моменты, а также поперечные силы равны нулю; нормальные напряжения по толщине стенки распределены равномерно, т. е. изгиб оболочки отсутствует.

Кривизна в любой точке оболочки характеризуется радиусом ρ_m - радиус кривизны меридионального сечения и радиусом ρ_t - радиус кривизны нормального сечения перпендикулярного к меридиану. В следствие тонкостенности конструкции указанные радиусы принимаются относительно внутренней поверхности оболочки и называются главными радиусами поверхности вращения.

Пусть оболочка нагружена внутренним давлением p . Выделим двумя меридиональными и двумя коническими сечениями нормальными к дуге меридиана малый элемент (рисунок 1)

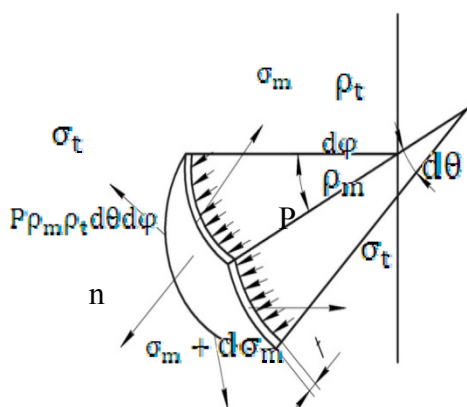


Рисунок 1
Нагрузка, действующая на выделенный элемент оболочки.

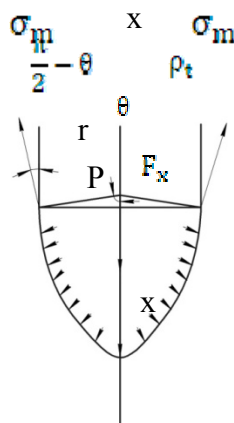


Рисунок 2
Отсеченная часть оболочки и действующая на нее нагрузка.

Из уравнения равновесия, составленного в виде суммы проекций сил на нормаль n к поверхности выделенного элемента

$$P \cdot \rho_m \cdot \rho_t d\theta d\varphi - \sigma_m t \rho_t d\varphi \sin \frac{d\theta}{2} - (\sigma_m + d\sigma_m) t \rho_t d\varphi \sin \frac{d\theta}{2} - 2\sigma_t t \rho_m d\theta \sin \frac{d\varphi}{2} = 0, \quad (1)$$

после простых преобразований получим уравнение Лапласа[1] для определения напряжений σ_m и σ_t

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{P}{t}, \quad (2)$$

Напряжение σ_m определяется из условия равновесия части оболочки, отсеченной коническим нормальным сечением, рисунок 2,

$2\pi r t \sigma_m \sin \theta = F_x$, где F_x - осевая равнодействующая внешних сил, равная произведению внутреннего давления P на площадь круга, расположенного нормально к оси $x-x$.

Из уравнения равновесия имеем

$$\sigma_m = \frac{F_x}{2\pi r t \sin \theta}, \quad (3)$$

В качестве практического применения теории приведем решение конкретной задачи. Расчет корпуса теплообменного аппарата и трубок выполним используя теорию тонкостенных труб.

Пусть внешний корпус теплообменного аппарата представляет замкнутый тонкостенный цилиндр диаметром d , находящийся под внутренним давлением $p=10$ ат, материал 08X18H10T; $[\sigma]=600$ МПа,

$$[\sigma]_T = 250 \text{ МПа.}$$

Выполним расчет, выполняется ли условие прочности для:

1) $d=80$ мм, $t=1$ мм; 2) $d=100$ мм, $t=1,2$ мм; 3) $d=125$ мм, $t=1,5$ мм ?

В данном случае $\rho_m = \infty$; $\rho_t = \frac{d}{2}$.

Из (2) имеем $\sigma_{t1} = p \rho_t / t = 40$ МПа, $\sigma_{t2} = \sigma_{t3} = 41,7$ МПа.

По формуле (3) получим $\sigma_{m1} = \frac{p d}{4 t} = 20$ МПа, $\sigma_{m2} = \sigma_{m3} = 20$ МПа.

Рассчитаем эквивалентные напряжения по энергетической теории

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \leq [\sigma]_T$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{40^2 + 20^2 - 40 \cdot 20} = 34,6 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{41,7^2 + 20,8^2 - 41,7 \cdot 20,8} = 36,1 \text{ МПа.}$$

Коэффициент безопасности по текучести

$$n_T = \frac{250}{36,1} = 6,9.$$

Таким образом, прочность оболочки обеспечена.

1. Подскребко М.Д. Соппротивление материалов. – Минск: Выш. шк., 2009. – 688 с.