

**О. Л. Брицький, інженер,  
В. П. Пурдик, к.т.н. доцент,  
В. А. Підлубний, студент**

*Вінницький національний технічний університет*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ РЕГУЛЯТОРА ВИТРАТИ**

Робочим органом (РО) регулятора витрати (РВ) (рис. 1) є пружна оболонка, тому теоретичне дослідження РВ рідини можливо тільки на основі аналітичних залежностей, які описують поведінку оболонки під дією керуючих та збурюючих сил. Оскільки оболонка знаходиться в умовах осесиметричного навантаження нормальним тиском  $p(x)$  та стаціонарного температурного поля  $T(x, z)$ . Крім того на оболонку діє в повздовжньому напрямку діє зусилля розтягу  $N_x = \text{const}$ . У випадку осесиметричного закріплення оболонки при вказаному вище навантаженні всі внутрішні силові фактори залежать тільки від координати  $x$ . Напружений стан оболонки описаний тензором напружень та задача визначення напружено-деформованого стану є осесиметричною та одномірною.

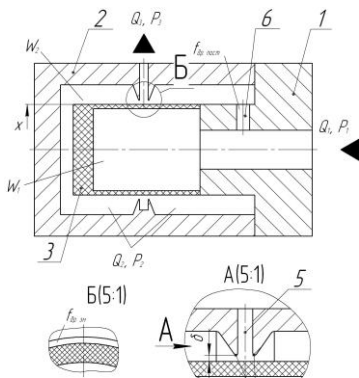


Рисунок 1 – Конструктивна схема регулятора витрати

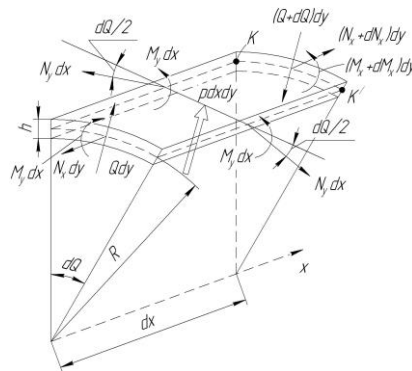


Рисунок 2 – Рівновага не скінчено малого елемента пружної циліндричної оболонки

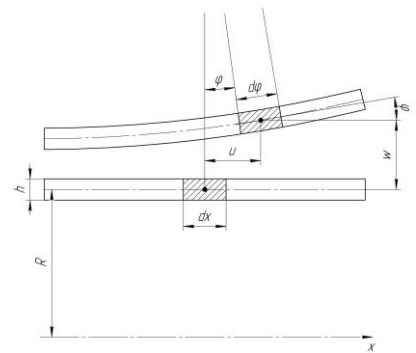


Рисунок 3 – Переміщення при осесиметричній деформації циліндричної оболонки

Розглянемо рівновагу елемента оболонки розмірами  $dx$ ,  $dy = Rd\Theta$  (рис. 2). На рисунку вказані позитивні напрямки внутрішніх силових. Проектуємо всі сили на вісь  $Ox$ , лінія  $KK'$ , нормаль до середньої поверхні, отримаємо рівняння (1).

$$dN_x = 0, \frac{dQ}{dx} + \frac{N_y}{R} = p, \frac{dM_x}{dx} = Q. \tag{1}$$

$$\epsilon_x = \frac{du - zd\phi}{dx} = \frac{du}{dx} - z \frac{d\phi}{dx} = \frac{du}{dx} - z \frac{d^2w}{dx^2}, \epsilon_y = \epsilon_\Theta = \frac{(R + w)d\Theta}{Rd\Theta} = \frac{w}{R}. \tag{2}$$

Оскільки система рівнянь має невідомі силові фактори  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $M_x$ ,  $Q$ , та  $M_y$  який не увійшов в рівняння, то задача по їх визначенню є статично невизначеною. Для розкриття статичної невизначеності розглянемо деформацію оболонки. Визначаємо відносну деформацію в коловому та повздовжньому напрямках рівняння (2). Запишемо узагальнений закон Гука (3) з врахуванням температурних деформацій (співвідношення Дюамеля-Неймана):

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu\sigma_y) + \alpha T, \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu\sigma_x) + \alpha T \quad (3)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу оболонки.

Звідси отримаємо рівняння рівноваги циліндричної оболонки в переміщеннях, яка знаходиться під дією осесиметричного внутрішнього навантаження:

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} + 4k^4 w = \frac{1}{D} \left( p - \mu \frac{N_x}{R} \right) + 4k^4 R \varepsilon_T - (1 + \mu) \frac{d^2 k_T}{dx^2}, \quad (4)$$

Загальний розв'язок цього рівняння має вигляд:

$$w(x) = e^{\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) + w_{*p} + w_{*e} + w_{*k}. \quad (5)$$

Постійні інтегрування  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , які входять в розв'язку визначається з граничних умов – в даному випадку вільний не навантажений край.

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -(1 - \mu) k_T, \quad \frac{d^3 w}{dx^3} = -(1 + \mu) \frac{dk_T}{dx} \quad (6)$$

Математична модель РО РВ була реалізована в MATLAB-Simulink. Результатом математичного моделювання є ряд залежностей. На рис. 4 зображено залежність деформації РО з полімерного матеріалу від тиску керування. Залежність має характер, наближений до лінійного за виключенням кураєвого ефекту. Оскільки температура не змінюється по товщині стінки, тому її вплив носить лінійний характер (рис.5). Проаналізувавши рис. 6 можна вибрати величину деформації РО під необхідні значення тиску керування.

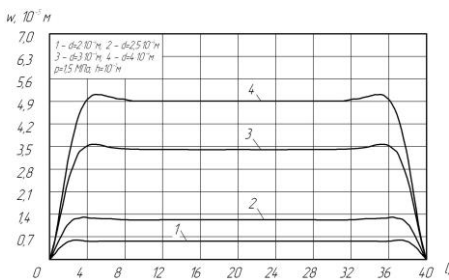


Рисунок 4 – Залежність радіальної деформації від діаметру робочого органу РВ

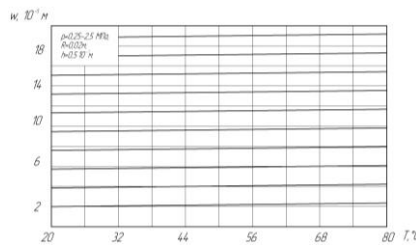


Рисунок 5 – Вплив температури на радіальну деформацію робочого органу РВ

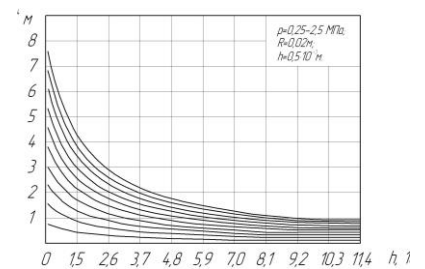


Рисунок 6 – Вплив товщини стінки на радіальну деформацію РО РВ

## Література

1. Механика материалов и конструкций. / [Окопный Ю.А. и др.] Учебник для вузов. – М. Машиностроение, 2001, – 408с.
2. Конструирование и расчет элементов тонкостенных сосудов. / [Виноградов С.Н., Таранцев К.В.] Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. Гос. Ун-та, 2004. – 136с.
3. Соппротивление материалов. Том второй. / [Тимошенко С.П.] – М. 1965, – 480с.