

**ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ НА НИТКОНОСІЙ З НЕЛІНІЙНОЮ
ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ПОДАТЛИВОСТІ**

Одним з напрямків теорії формування тіл намотки є дослідження їх напруженого стану. Для текстильних паковок така задача має важливе практичне спрямування, оскільки саме характер напруженого стану визначає якісні характеристики паковки та впливає на процес її подальшої переробки.

Складність математичного описання напруженого стану обумовлена великою кількістю геометричних та фізико-механічних параметрів процесу намотування нитки в паковку. До таких параметрів відносяться: розміри та форма тіла намотки; закон руху ниткорозкладача; наявність притискного ролика; характер зміни намоточного натягіння нитки; лінійна щільність, фізичні та реологічні властивості нитки; податливість нитконосія та ін. Важливою специфічною особливістю тіл намотки є також те, що їх фізико-механічні характеристики, пружні та деформативні властивості суттєво відрізняються від однорідних суцільних середовищ.

Відомо, що найбільш вагомий вплив на напружений стан паковки має намоточне натягіння нитки. Рівень намоточного натягіння та закон його зміни в процесі намотування є визначальними для таких взаємопов'язаних характеристик напруженого стану тіла намотки, як: щільність паковки та її радіальний розподіл; пружність шарів паковки; рівень міжшарового тиску та рівень залишкових напружень у витках нитки.

По зазначеній проблемі на сьогодні існує велика кількість аналітичних та експериментальних досліджень. Зокрема, математичні моделі напруженого стану текстильних паковок розглянуто в роботах [1] - [4]. Внаслідок складності та прийнятих в існуючих моделях спрощень, задача дослідження напруженого стану тіл намотки залишається актуальною і потребує подальшого розвитку.

Метою даної роботи є аналітичне дослідження рівня тиску на нитконосій, який має нелінійну характеристику податливості – залежності між радіальним переміщенням його точок і зовнішнім тиском.

При дослідженні напруженого стану паковки за основу прийнято математичну модель, запропоновану в роботі [4]:

$$\frac{d^2\sigma_r(\rho)}{d\rho^2} + \frac{k(\rho)}{\rho} \cdot \frac{d\sigma_r(\rho)}{d\rho} + \frac{\gamma(\rho)}{\rho^2} \cdot \sigma_r(\rho) = \frac{L(\rho)}{\rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\sigma_0(\rho)}{d\rho}, \quad (1)$$

де $\sigma_r(\rho)$ – функція розподілу міжшарового тиску в тілі намотки; ρ – відносний радіус тіла намотки; $k(\rho)$, $\gamma(\rho)$, $L(\rho)$ – параметри анізотропії тіла намотки; σ_0 – намоточне натягіння нитки.

В результаті інтегрування (1) отримано:

$$\sigma_r(\rho) = S_1 \sqrt{\rho} \cdot D_1 D_2 + S_2 \sqrt{\rho} \cdot D_2 D_3 + \frac{L(\rho)}{\gamma(\rho)} + \frac{d\sigma_0(\rho)}{d\rho} \cdot \frac{\rho}{\gamma(\rho) + k(\rho)}, \quad (2)$$

де

$$D_1 = \exp(-0.5 \cdot \sqrt{(k(\rho) - 1)^2 - 4 \cdot \gamma(\rho)} \cdot \log \rho),$$

$$D_2 = \exp(-0.5 \cdot k \cdot \log \rho),$$

$$D_3 = \exp(0.5 \cdot \sqrt{(k(\rho) - 1)^2 - 4 \cdot \gamma(\rho)} \cdot \log \rho)$$

Намоточне натяжіння для нитки з лінійною щільністю 1,67 текс в розрахунках прийнято сталим: $\sigma_0(\rho) = 20 \text{ МПа} = \text{const}$.

Константи інтегрування S_1, S_2 визначалися з граничних умов:

1) на зовнішньому контурі паковки ($\rho = \rho_H$) радіальний тиск відсутній: $\sigma_r(\rho_H) = 0$;

2) на зовнішній поверхні нитконосця ($\rho = 1$): $\sigma_\theta = \nu(\sigma_r) \cdot E_\theta \cdot \sigma_r / r_B$,

де σ_θ – колове напруження в витках паковки, що створено дією з боку вищерозташованих шарів намотки; $\nu(\sigma_r)$ – податливість нитконосця, як функція радіального тиску; E_θ – модуль пружності тіла паковки в коловому напрямку; r_B – зовнішній радіус нитконосця.

Функцію податливості прийнято у вигляді

$$\nu(\sigma_r) = \nu_0 \cdot (c_1 \cdot \sigma_r + c_2), \quad (3)$$

де $\nu_0 = 2 \cdot 10^3$ мм/Мпа; c_1, c_2 – константи (табл.1).

Розрахунок тиску на нитконосій реалізовано методом ітерацій в послідовності:

– для вибраного початкового наближення функції $\sigma_{ri}(\rho)$ визначалися параметри анізотропії $k(\rho), \gamma(\rho), L(\rho)$, функція податливості (3) та граничні умови;

– для $\sigma_{ri}(\rho)$ визначалися константи інтегрування S_1, S_2 і за наступне наближення $\sigma_{r_{i+1}}(\rho)$, приймалася функція (2) та відповідні параметри $k(\rho), \gamma(\rho), L(\rho)$;

– при виконанні умови $|\sigma_{r_{i+1}} - \sigma_{ri}| < \varepsilon$, де ε - деяке мале додатне число, ітераційний процес завершувався і отримане значення тиску на нитконосій $\sigma_{r_{i+1}}(\rho = 1)$ вважалося визначеним.

Результати розрахунків наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Залежність рівня тиску на нитконосій від характеристик його податливості

Рівень тиску на нитконосій, МПа	Характеристика податливості нитконосця		
-17,1	$\nu_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ МПа} = \text{const}$		
-15,4	$\nu(\sigma_r) = \nu_0 \cdot (c_1 \cdot \sigma_r + c_2)$	$c_1 = 0,5$	$c_2 = 10$
-10,2		$c_1 = 0,5$	$c_2 = 15$
-5,1		$c_1 = 0,5$	$c_2 = 28$

Отримані результати показують, що відповідний вибор нитконосця з нелінійною податливістю дозволяє суттєво зменшити рівень тиску у внутрішніх шарах тіла намотки.

Список посилань

1. Александров С.А. Формирование ткацких паковок / С.А. Александров, В.Б. Кленов. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 120 с.
2. Гордеев В.А. К расчету давлений намотки текстильных материалов. – Л.: ЛТИ, 1957. – №9.
3. Степанов В.А. Теоретическое и экспериментальное исследование формирования текстильных паковок и разработка методов их расчета: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Кострома: КТИ, 1978.
4. Сухарев В.А., Матюшев И.И. Расчет тел намотки. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.

