

УДК 622.673.1

Ковирєв М.В. аспірант спеціальності 133 Галузеве машинобудування**Наукові керівники: Заболотний К.С.,** д.т.н., професор кафедри ІДМБ;**Панченко О.В.,** к.т.н., зав. кафедри ІДМБ*(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)***МОДЕЛЮВАННЯ ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА В БАГАТОШАРОВОМУ
НАМОТУВАННІ В ПРОГРАМІ SOLIDWORKS SIMULATION**

Актуальність використання гумотросової стрічки (РГС, РТК) як тягового органу обґрунтовано в працях професорів Бельмаса І.В. [1], Колосова Д.Л. [2], Заболотного К.С. [3].

Для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору проєктних параметрів бобінного органа намотування підймальних машин з гумотросовими канатами вирішено задачу визначення характеристик жорсткості шарів РТК у багатошаровому намотуванні.

Для знаходження значень пружних постійних ввели безрозмірні інтегральні характеристики: коефіцієнт поздовжньої і поперечної жорсткості та коефіцієнт розширення шару пакета ГТС

$$B_{mp} = \pi E_{mp1} / 4 E_2 t_{\delta} h_{\delta}; \quad B = B_2 h / m t E_2; \quad K_{розш} = u_3 / u_2,$$

де E_2 , ν_2 – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона гуми; E_{mp1} , E_{mp2} , ν_{mp1} , ν_{mp2} – модулі пружності та коефіцієнти Пуассона тросів у напрямках; $t_{\delta} = t/d$, $h_{\delta} = h/d$; P – тиск на шар пакету ГТК; u_x – горизонтальне середнє подовження (розширення) шару наведеного пакета; u_y – вертикальне середнє стиснення шару.

Прийнявши таке допущення, коефіцієнти поперечної жорсткості й розширення шару пакета ГТС представили у вигляді добутку двох коефіцієнтів:

$$B = B_n f_n; \quad K_{розш} = k_{розш} w_n,$$

тут B_n , $k_{розш}$ – відповідно коефіцієнти поперечної жорсткості та розширення шару пакета, що враховує тільки геометрію конструкції та фізико-механічні властивості компонентів; f_n , w_n – коефіцієнти обмеженості шару ГТС у поперечному напрямі, що врахували крайовий ефект під час контакту ГТС із поверхнею органа намотування.

Аналіз виконано за допомогою програмного комплексу скінченно-елементного моделювання SOLIDWORKS SIMULATION [1]. Граничні умови: по лівій кромці прямокутника – умова симетрії, по нижній – заборона вертикальних переміщень, а по верхній – наказано переміщення; крайовий ефект змодельовано шляхом заборони вертикальних і горизонтальних переміщень нижньої крайки шару ГТС (обмежений стан). Для обмеження розміру задачі за заданої точності обчислення послідовно визначено максимальний крок скінченно-елементної сітки, мінімальну кількість тросів у шарі ГТС і мінімальну кількість шарів у пакеті. Отримали, що максимальний крок скінченно-елементної сітки – 1 мм, мінімальна кількість тросів – 8, кількість шарів у пакеті – 1. При цьому похибка не перевищує 3 %.

Відповідно до припущення розділили задачу на два етапи:

1) Визначення B_n , $k_{розш}$. У чисельному експерименті варіювалися геометричні параметри ГТС. Після опрацювання показано, що за відсутності обмеженості слабо залежить від геометричних параметрів каната і приймається рівним 0,993 з точністю до 1 %, а для визначення коефіцієнтів поперечної жорсткості пакета ГТС отримано

апроксимуючий поліном.

2) Визначення f_n , w_n . У чисельному експерименті змінювали кількість шарів стрічки в пакеті та визначали коефіцієнти поперечної жорсткості й розширення кожного шару пакета ГТС. У результаті опрацювання експерименту отримано матриці $f_{i,j}$ і $w_{i,j}$, а також їхні апроксимувальні функції. З урахуванням цих значень остаточно отримано вирази для коефіцієнтів поперечної жорсткості та розширення i -го шару ГТС у поперечному напрямку пакета із загальною кількістю шарів j :

$$B = (s_1 + s_2 \eta + s_3 \tau + s_4 \eta^2 + s_5 \eta \tau + s_6 \tau^2) \left(1 + k_1 k_2^{-(i-1)k_3} (1 - k_4^{i-j}) + k_5 k_6^{-(i-1)k_7} k_4^{i-j} \right),$$

$$K_{\text{розш}} = 0,993 \left(1 + \kappa_1 \kappa_2^{-(i-1)k_3} (1 - \kappa_4^{i-j}) + \kappa_5 \kappa_6^{-(i-1)k_7} \kappa_4^{i-j} \right).$$

Тут $\eta = 1/(h_0 - 1)$; $\tau = 1/(t_0 - 1)$; $\{s\}$, $\{k\}$, $\{\kappa\}$ – вектори невідомих, встановлені методом найменших квадратів.

Достовірність отриманих результатів. Встановили розбіжність результатів між реальними значеннями коефіцієнтів поперечної жорсткості та розширення шару в пакеті ГТС і таких самих коефіцієнтів, отриманих за запропонованими формулами. Для цього проведено чисельний експеримент, аналогічний за визначенням f_n : для скінченно-елементної моделі задано граничні умови і досліджено напружено-деформований стан пакетів зі стрічок ГТС-2500, ГТС-5000, ГТС-6000. У чисельному експерименті з 30 шарами в пакеті визначено коефіцієнти поперечної жорсткості та розширення 1, 3, 5, 10, 15, 30 шарів пакета ГТС. Порівняння показало, що похибка при визначенні B і $K_{\text{розш}}$ не перевищила 6 %. Значення коефіцієнтів поперечного стиснення і розширення порівняно з відповідними значеннями фізичного експерименту. Незалежно від числа шарів відповідність результатів – задовільна. Похибка не перевищує 15 %.

Висновки. Основним розрахунковим випадком для пакета ГТС є плоска деформація. Коефіцієнт поперечної жорсткості шару пакета B_n для заданих геометричних параметрів ГТС може бути визначено за допомогою апроксимувального полінома, де значення вектора-стовпця $\{s\}$ характеризують пружні постійні матеріалу ГТС. За відсутності обмеженості $k_{\text{розш}}$ слабо залежить від геометричних параметрів стрічки і може прийматися рівним 0,993 з точністю до 1 %. Матриці $[f_{i,j}]$ $[w_{i,j}]$ апроксимуюмо функцією, за певних $\{k\}$ і $\{\kappa\}$. Допускається подання B як добутку B_n і $f_{i,j}$. Похибка при визначенні B не перевищує 6 % порівняно з чисельним експериментом і 15 % – з фізичним.

Перелік посилань

1. Kolosov D., Dolgov O., Kolosov A. (2013). The stress-strain state of the belt on a drum under compression by flat plates. *Annual Scientific-Technical Collection. Mining of Mineral Deposits*. №1. P. 351–357.
2. Belmas I., Kolosov D. (2011). The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. *Technical and Geoinformational Systems in Mining*. P. 211–214.
3. Zabolotnyi K.S., Panchenko O.V., Zhupiiiev O.L., Polushyna M.V. (2018). Influence of parameters of a rubber-rope cable on the torsional stiffness of the body of the winding. *Науковий вісник національного гірничого університету*. № 5. P. 54–63.
4. Zabolotny K., Panchenko E. (2010). Definition of rating loading in spires of multilayer winding of rubberrope cable. *New Techniques and Technologies in Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*. P. 223–229.