

УДК 622.673:539.4

Черниш П.В., аспірант гр. 133А-20-2 спеціальності 133 Галузеве машинобудування
Науковий керівник: Колосов Д.Л., д.т.н., завідувач кафедри механічної та біомедичної інженерії

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ГУМОТРОСОВОГО ТЯГОВОГО ОРГАНА ПОРУШЕНОЇ СТРУКТУРИ З УРАХУВАННЯМ ТЕРМІНУ СТАРІННЯ ЙОГО ЕЛАСТИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Композитні тягові органи (гумотросові канати) підйомних машин, стрічки конвеєрів входять до складу виконавчих органів ряду підйомно-транспортних машин. Вони мають значні дожини. Конвеєрні стрічки значної довжини створюють шляхом з'єднання стрічок, що постачаються виробниками, довжиною до 300 м. Стрічка конвеєра не має кінця – вона замкнена, що забезпечується стикуванням її кінців.

Стрічки складені з паралельних тросів, розташованих в одній площині в еластичній оболонці. Експлуатуються протягом значного часу. Механічні властивості їхніх складових дещо змінюються. Накопичуються ушкодження. В стикових з'єднаннях троси стрічок, канатів не з'єднані між собою механічно. Передача сил від тросів відбувається прошарками гуми, що розташована поміж тросами. Також не є з'єднаними механічно і частини тросів на ділянці відновлення тягової спроможності каната (стрічки). Загальною особливістю і стикових з'єднань на ділянках з розривами тросів є локальне порушення структури стрічки (каната), наявність розривів суцільності тросів та, як наслідок, значні деформації зсуву прошарків гуми, що розташована між тросами, та нерівномірне розподілення сил між останніми.

Канати та стрічки навантажені силами розтягу. Ці сили для кожного перерізу каната (стрічки) циклічно змінюються. Кожен цикл навантажень призводить до зростання залишкових деформацій. Змінюється взаємне розташування тросів. Змінюється кількісний та якісний характер їх взаємодії. Залежність напружено-деформованого стану каната (стрічки) з локальними порушеннями від механічних властивостей складових каната (стрічки), викликає зміну їх напружено-деформованого стану в процесі експлуатації. Врахування останнього є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої сприяє підвищенню безпеки та ефективності використання підйомно-транспортних машин з плоским гнучким гумотросовим тяговим органом.

Сили навантаження тросів та їхні переміщення без урахування старіння гуми, відповідно з [1] визначаються залежностями

$$p_i = EF \sum_{m=1}^{M-1} \left[(A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x}) \beta_m \cos(\mu_m (i-0,5)) \right] + P, \quad (1)$$

$$u_i = \sum_{m=1}^{M-1} \left[(A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) \cos(\mu_m (i-0,5)) \right] + \alpha + \frac{P x}{EF}, \quad (2)$$

де M – кількість тросів в канаті; i – порядковий номер троса ($1 \leq i \leq M$); A_m, B_m – сталі інтегрування; E, F – відповідно, приведений модуль пружності на розтяг та площа поперечного перерізу троса каната (стрічки); x – вісь координат, спрямована вздовж

каната; P – середнє навантаження тросів каната; $\beta_m = \sqrt{2 \frac{G b k_G}{(h-d) E F} [1 - \cos(\mu_m)]}$;

$\mu_m = \frac{\pi m}{M}$; h – відстань між тросами; b – товщина каната; d – діаметр троса; G – модуль зсуву еластичного (гумового) прошарку, що з'єднує троси; k_G – коефіцієнт впливу

форми гуми, розташованої між тросами на жорсткість зсуву; α – переміщення каната як жорсткого тіла.

Природна зміна механічних властивостей в процесі старіння еластичної оболонки пов'язана зі зміною модуля пружності та модуля зсуву. Згідно (1) та (2) останній впливає на напружено-деформований стан каната. Прийемо, що нам відомий закон зміни модулю зсуву еластичного (гумового) прошарку. Його значення задамо наступним виразом

$$G = G_0 f(t), \quad (3)$$

де G_0 – модуль зсуву після виготовлення каната (стрічки) ($t = 0$).

Сформулюємо фізичну модель деформування каната з M тросів значної довжини. Трос за номером J має розрив неперервності. Розташований він в перерізі, що безмежно віддалений від обох країв каната. Канат навантажено силою розтягу. Сила розтягу забезпечує середнє навантаження його тросів, що дорівнює одиниці. Вздовж каната спрямуємо вісь x . Початок осі координат розташуємо в перерізі розриву троса. Розглянемо його частину для якої ($0 \leq x \leq \infty$).

З умови обмеженості переміщень тросів та сил їх навантажень при безмежному зростанні координати x прийемо $A_m = 0$. Переміщення каната, як жорсткого тіла будемо вважати рівним нулю. Тоді (1) та (2) набувають вигляду

$$p_i = -EF \sum_{m=1}^{M-1} \left[B_m e^{-\beta_m^* x} \beta_m^* \cos(\mu_m (i-0,5)) \right] + P, \quad (4)$$

$$u_i = \sum_{m=1}^{M-1} \left[B_m e^{-\beta_m^* x} \cos(\mu_m (i-0,5)) \right] + \frac{P x}{EF}, \quad (1 \leq i \leq M), \quad (5)$$

де $\beta_m^* = \sqrt{\frac{2G_0 f(t) b k_G}{(h-d)EF} [1 - \cos(\mu_m)]}$.

Переміщення усіх тросів, за винятком ушкодженого, в перерізі $x = 0$ відсутні. Переміщення ушкодженого троса позначимо як U_0 . Переміщення тросів в перерізі $x = 0$ задамо як добуток U_0 та δ -функції на обмеженій довжині осі дискретних номерів тросів. Вказане дозволяє з виразу (5) визначити вектор невідомих сталих інтегрування через одну невідому величину

$$B_m = \frac{2}{M} U_0 \cos(\mu_m (J-0,5)). \quad (6)$$

Невідому U_0 знайдемо з умови, що сила навантаження (4) ушкодженого троса дорівнює нулю

$$U_0 = \frac{PM}{2EF \sum_{m=1}^{M-1} \cos^2(\mu_m (J-0,5)) \beta_m^*}. \quad (7)$$

Висновки. Вирази (4) – (7) дозволяють визначити напружено-деформований стан каната значної довжини у разі ушкодження довільного троса з урахуванням терміну старіння його еластичної оболонки на момент розриву троса.

Перелік посилань

1. Bel'mas, I.V. (1993). Stress state of rubber-rope tapes during their random damages. *Problemy Prochnosti i Nadezhnos'ti Mashin*, (6), 45-48.