

УДК 622.673:539.4+624.21

Колосов Д.Л., д.т.н., зав. каф. механічної та біомедичної інженерії
 Онищенко С.В., к.т.н., доц. каф. механічної та біомедичної інженерії
 Краснокутський О.М., аспірант гр. 131А-23 спеціальності 131 Прикладна механіка
 (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ВПЛИВ ЗМІНИ МОДУЛЯ ЗСУВУ ВНАСЛІДОК РЕОЛОГІЇ ЕЛАСТОМЕРНОЇ ОБОЛОНКИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН УШКОДЖЕНОЇ КОМПОЗИТНОЇ ВАНТИ

Композитні тягові органи підйомних машин, стрічки конвеєрів входять до складу виконавчих органів ряду підйомно-транспортних машин. В мостових спорудах для утримання міжпрольотних конструкцій можуть використовуватися композитні вантові канати. Стрічка конвеєра не має кінця – вона замкнена. Замикання стрічки 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. Загальною особливістю і стикових з'єднань на ділянках з розривами тросів є наявність розривів суцільності тросів та, як наслідок, значні деформації зсуву прошарків гуми, що розташована між тросами, та нерівномірне розподілення сил між останніми. Залежність напружено-деформованого стану каната з локальними порушеннями від механічних властивостей складових каната, 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

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

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

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; $\beta_m = \sqrt{2 \frac{G b k_G}{(h-d) E F} [1 - \cos(\mu_m)]}$; $\mu_m = \pi m / M$; 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 приймемо $A_m = 0$. Переміщення каната, як жорсткого тіла будемо вважати рівним нулю. Тоді (1) та (2) набувають вигляду

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

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

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

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

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

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

Відомі переміщення тросів (5) дозволяють визначати взаємний зсув тросів. Різниця зсувів суміжних тросів супроводжується виникненням дотичних напружень в еластичній оболонці. Максимальних значень останні набувають в площині розташування осей тросів каната. В цій площині відстані між найближчими точками на поверхнях суміжних тросів мінімальні. Тангенси кутів зсуву визначаються наступним виразом

$$\text{tg}(\gamma_j) = \frac{u_j - u_{j+1}}{h}, \quad (1 \leq j < M), \quad (8)$$

де j – номер прошарку.

Виконано аналітичне встановлення залежностей зміни напруженого стану композитного (гумотросового) тягового органа з порушеною структурою з урахуванням реології гумової оболонки та сформульовано алгоритм визначення напруженого стану. Встановлено, що екстремальні значення внутрішніх сил навантаження тросів не залежать від зміни модуля зсуву матеріалу гуми в часі.

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.