



УДК 622.673:[531.391+539.4]

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПЛОСКОГО КАНАТА ЛІФТА

Д.Л. Колосов¹, О.І. Білоус², Г.І. Танцура³

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельної, теоретичної та прикладної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ, Україна, evolyuta@gmail.com

²кандидат технічних наук, доцент кафедри металургійного обладнання, Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування, Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

Анотація. Отримані аналітичні вирази, що дозволяють встановити закономірності зміни електротехнічних параметрів гумотросового каната при руйнуванні тросової основи та на їх основі розробити систему автоматичного безперервного контролю технічного стану канатів.

Ключові слова: гумотросовий канат, ліфт, гума оболонка, порив троса, електротехнічні параметри, контроль технічного стану.

CONTROL OF FLAT LIFT ROPE TECHNICAL STATE

D. Kolosov¹, O. Bilous², G. Tantsura³

¹PhD, associate professor of the Department of Structural, Theoretical and Applied Mechanics, State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: evolyuta@gmail.com

²PhD, associate professor of the Department of Metallurgical Equipment, Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine

³PhD, associate professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine

Abstract. Analytical expressions, which allow to establish the laws of the change in electrotechnical parameters of rubber-rope cable in destructing of its rope basis and on their basis to work out the system of continuous automatic control of the technical state of the lift ropes, are obtained.

Keywords: rubber-rope cable, lift, rubber shell, rope break, electrotechnical parameters, control of technical state.

Вступ. Ліфти застосовуються в різних галузях економіки. Застосування безредукторних ліфтів вимагає значного зменшення діаметрів барабанів ліфтових лебідок. Зменшення діаметрів барабанів можливе із заміною традиційних круглих канатів плоскими гумотросовими. Реалізація такого технічного рішення дозволить в декілька разів підвищити довговічність тя-



гового органа лебідки ліфта, суттєво знизити енергоспоживання ліфтової установки, усунути потребу в спорудженні машинного поверху, зменшити габарити ліфтової лебідки, рівень шуму та покращити плавність ходу ліфта.

Стан питання та постановка задачі дослідження. В гумотросових канатах система паралельних тросів, розташованих в одній площині з постійним кроком, запресована в гумову оболонку. Гума захищає троси каната від довкілля та взаємодії з конструктивними елементами машини. Захищеність від впливу довкілля практично повністю виключає руйнування тросів каната внаслідок корозії. Разом з тим, наявність гумової оболонки каната унеможлиблює застосування традиційного періодичного візуального контролю його технічного стану. Останнє стримує використання гумотросових канатів на підйомних машинах в різноманітних галузях економіки країни.

Гумова оболонка каната не є абсолютним діелектриком, вона проводить струм, що впливає на перерозподіл струмів в канаті, який залежить і від взаємного розташування тросів, електричної провідності тросів та гуми. В роботі [1] досліджувався вплив форми гуми, розташованої поміж тросами, на величину її електричного опору. Електричний опір тросів каната змінюється з порушенням цілісності тросів. Його можна визначати як для цілого каната, так і для каната з ушкодженим тросом. Відхилення електричного опору від нормативної величини може бути використане в якості діагностичного параметру. Рівень зміни нормативної величини має бути визначений для випадку пориву тросів каната. Дослідження таких відхилень, визначення залежності опору тросів каната від поривів тросів, спрямоване на розробку неперервного автоматичного контролю технічного стану гумотросових канатів – **актуальна науково-технічна задача** створення ліфтів нового покоління.

Основний зміст роботи. Гумотросовий канат – композитна конструкція з неперервними та дискретними параметрами. Для створення математичної моделі гумотросового каната як провідника струму, спрямуємо координатну вісь x вздовж каната. Тросам надамо номери від 1 до M . Номер тросів будемо розглядати як дискретну координату. Струми будемо вважати лінійно залежними від різниці потенціалів. Розподіл потенціалів поміж тросами каната описується системою диференціальних рівнянь



$$\begin{cases} \frac{d^2U_1}{dx^2} + rq(U_2 - U_1) = 0; \\ \frac{d^2U_i}{dx^2} + rq(U_{i+1} - 2U_i + U_{i-1}) = 0, \quad 1 < i < M; \\ \frac{d^2U_M}{dx^2} + rq(U_{M-1} - U_M) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де i – порядковий номер троса; r – питомий електричний опір троса; q – електропровідність гуми, розташованої поміж тросами на одиничній довжині.

Рішення системи рівнянь (1) має вигляд

$$U_i = \sum_{m=1}^M (A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + ax + b, \quad (2)$$

де A_m, B_m, a, b – сталі інтегрування; $\beta_m = \sqrt{2rq(1 - \cos(\mu))}$; $\mu_m = \frac{\pi m}{M}$.

Залежність (2) та закон Ома дозволяють визначити значення струму в тросах

$$I_i = \frac{1}{r} \sum_{m=1}^M (A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x}) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a. \quad (3)$$

Для визначення розподілів струмів та потенціалів розглянемо відрізок гумотросового каната довжиною L . Товщину каната позначимо b , крок розташування тросів – h , діаметр тросів – d . Будемо вважати, що до кінців i -того та j -того тросів підведена напруга U , яка забезпечує величину струму, що дорівнює одиниці (рис. 1).

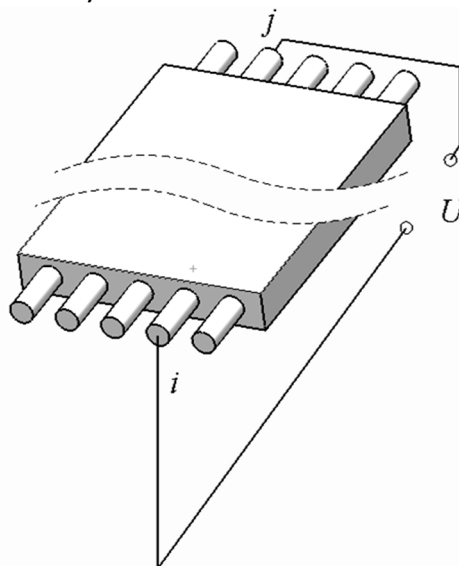


Рисунок 1 – Схема підведення різниці потенціалів для забезпечення проходження струмів через визначені троси каната



Граничні умови:

для лівого краю каната ($x = X_{лів}$)

$$I_{i \text{ лів}} = \begin{cases} 0 & i \neq n; \\ 1 & i = n, \end{cases} \quad (4)$$

де I_0 – величина струму, яку приймемо рівною одиниці;

для правого краю каната ($x = X_{прав}$)

$$I_{i \text{ прав}} = \begin{cases} 0 & i \neq j; \\ 1 & i = j. \end{cases} \quad (5)$$

Дискретні умови забезпечимо прийнявши струми, як суми

$$I_{i \text{ лів}} = \frac{1}{M} \sum_m^M \cos(\mu_m (i - 0,5)) \cos(\mu_m (n - 0,5)) + \frac{1}{2 M}, \quad (6)$$

$$I_{i \text{ прав}} = \frac{1}{M} \sum_m^M \cos(\mu_m (i - 0,5)) \cos(\mu_m (j - 0,5)) + \frac{1}{2 M}. \quad (7)$$

Скориставшись рішенням (3), знайдемо невідомі сталі з наступних залежностей

$$\begin{aligned} I_{i(x=X_{лів})} \frac{1}{r} \sum_{m=1}^M (A_m e^{\beta_m X_{лів}} - B_m e^{-\beta_m X_{лів}}) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + \frac{a}{r} = \\ = \frac{1}{M} \sum_m^M \cos(\mu_m (i - 0,5)) \cos(\mu_m (n - 0,5)) + \frac{1}{2 M}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{i(x=X_{прав})} \frac{1}{r} \sum_{m=1}^M (A_m e^{\beta_m X_{прав}} - B_m e^{-\beta_m X_{прав}}) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + \frac{a}{r} = \\ = \frac{1}{M} \sum_m^M \cos(\mu_m (i - 0,5)) \cos(\mu_m (j - 0,5)) + \frac{1}{2 M}. \end{aligned}$$

Звідки невідомі сталі

$$\begin{aligned} B_m = - \frac{r \left(\cos(\mu_m (n - 0,5)) e^{-\beta_m X_{лів}} - \cos(\mu_m (j - 0,5)) e^{-\beta_m X_{прав}} \right)}{M \beta_m \left(e^{-2\beta_m X_{лів}} - e^{-2\beta_m X_{прав}} \right)}, \\ A_m = \frac{r}{M \beta_m} \frac{\cos(\mu_m (j - 0,5))}{e^{\beta_m X_{прав}}} + B_m e^{-2\beta_m X_{прав}}, \\ a = \frac{r}{2 M}. \end{aligned} \quad (8)$$

Розрив одного з тросів змінює електричний опір тросів каната. Для визначення такої зміни, враховуючи лінійність задачі, новий розподіл напруг та струмів уявимо як суму двох станів. Першим будемо вважати вище розглянутий стан. Другим станом врахуємо зміни, які вносить порив троса без зміни умов на границях відрізка, що враховані першою схемою. Порив тро-



са перериває струм в місці розриву та між утвореними кінцями з'являється різниця потенціалів.

Будемо вважати, що в канаті ушкоджено k -тий трос в перерізі $x = X_{\text{порив}}$. Розрив троса локально змінює структуру каната. Це унеможливує використання рішень (2) та (3). Врахувавши останнє, в перерізі $x = X_{\text{порив}}$ розділимо канат на дві ділянки. Ділянкам надамо номери 1 та 2. Ці номери додамо в індекси позначень невідомих сталих, що використовувалися вище. Складемо умови, яким мають відповідати зміни струмів на потенціалів, що виникли внаслідок розриву троса.

Умови відсутності струмів в кінцях тросів каната та умова виникнення різниці потенціалів поміж утвореними розривом троса його новими кінцями U_0 в аналітичній формі мають вигляд та уявляють собою систему рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^M (A_{1m} e^{\beta_m X_{\text{ліс}}} - B_{1m} e^{-\beta_m X_{\text{ліс}}}) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a_1 = 0, \\ \sum_{m=1}^M \left((A_{1m} - A_{2m}) e^{\beta_m X_{\text{порив}}} + (B_{1m} - B_{2m}) e^{-\beta_m X_{\text{порив}}} \right) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + (a_1 - a_2) X_{\text{порив}} + \\ + b_1 - b_2 = \left[\frac{2}{M} \sum_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) \cos(\mu_m (k - 0,5)) + \frac{1}{M} \right] U_0, \\ \sum_{m=1}^M \left((A_{1m} - A_{2m}) e^{\beta_m X_{\text{порив}}} - (B_{1m} - B_{2m}) e^{-\beta_m X_{\text{порив}}} \right) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + (a_1 - a_2) = 0, \\ \sum_{m=1}^M (A_{2m} e^{\beta_m X_{\text{прає}}} - B_{2m} e^{-\beta_m X_{\text{прає}}}) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a_2 = 0. \end{array} \right. \quad (9)$$

Після розв'язку системи рівнянь маємо значення невідомих сталих, віднесених до невідомої величини напруги U_0

$$\begin{aligned} a_1 = a_2 = b_1 = 0, \quad \frac{b_2}{U_0} &= -\frac{1}{M}, \\ \frac{B_{2m}}{U_0} &= -\frac{(e^{-2\beta_m X_{\text{порив}}} - e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}})}{M e^{\beta_m X_{\text{порив}}} e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}}} \cos(\mu_m (k - 0,5)), \\ \frac{A_{2m}}{U_0} &= -\frac{(e^{-2\beta_m X_{\text{порив}}} - e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}})}{M e^{\beta_m X_{\text{порив}}} e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}}} \cos(\mu_m (k - 0,5)) + \frac{B_{2m}}{U_0} 2e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}}, \\ \frac{B_{1m}}{U_0} &= \frac{2 \cos(\mu_m (k - 0,5))}{M e^{\beta_m X_{\text{порив}}}} + \frac{B_{2m}}{U_0} e^{-2\beta_m X_{\text{порив}}} + \frac{A_{2m}}{U_0}, \\ & \frac{e^{-2\beta_m X_{\text{порив}}} + e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}}}{e^{-2\beta_m X_{\text{порив}}} + e^{-2\beta_m X_{\text{ліс}}}} \end{aligned}$$



$$\frac{A_{1m}}{U_0} = \frac{B_{1m}}{U_0} e^{-2\beta_m X_{\text{порив}}}.$$

Значення невідомої U_0 знайдемо з умови рівності нулю суми струмів в перерізі $x = X_{\text{порив}}$, визначених за залежністю (3) та струму, визначеного з використанням знайдених для цього випадку відносних значень сталих

$$U_0 = - \frac{\sum_{m=1}^M \left(A_m e^{\beta_m X_{\text{порив}}} - B_m e^{-\beta_m X_{\text{порив}}} \right) \beta_m \cos(\mu_m (k - 0,5)) + a}{\sum_{m=1}^M \left(\frac{A_{2m}}{U_0} e^{\beta_m X_{\text{порив}}} - \frac{B_{2m}}{U_0} e^{-\beta_m X_{\text{порив}}} \right) \beta_m \cos(\mu_m (k - 0,5))}.$$

Остаточно, значення потенціалів та струмів, як суми двох станів

$$U_i = \sum_{m=1}^M \left(A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x} \right) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a +$$

$$+ \begin{cases} \sum_{m=1}^M \left(A_{1m} e^{\beta_m x} + B_{1m} e^{-\beta_m x} \right) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a_1, & x \leq X_{\text{порив}} \\ \sum_{m=1}^M \left(A_{2m} e^{\beta_m x} + B_{2m} e^{-\beta_m x} \right) \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a_2, & x > X_{\text{порив}} \end{cases},$$

$$I_i = \sum_{m=1}^M \left(A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x} \right) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a +$$

$$+ \begin{cases} \sum_{m=1}^M \left(A_{1m} e^{\beta_m x} - B_{1m} e^{-\beta_m x} \right) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a_1, & x \leq X_{\text{порив}} \\ \sum_{m=1}^M \left(A_{2m} e^{\beta_m x} - B_{2m} e^{-\beta_m x} \right) \beta_m \cos(\mu_m (i - 0,5)) + a_2, & x > X_{\text{порив}} \end{cases}.$$

Висновки. Отримані аналітичні вирази дозволяють встановити закономірності зміни електротехнічних параметрів гумотросового каната та на їх основі розробити систему автоматичного безперервного контролю технічного стану тросів, що забезпечить підвищення безпеки експлуатації ліфтів з плоскими гумотросовими канатами. Максимальна довжина гумотросового каната, при якій порив троса призводить до зміни електричного опору, заміряного поміж тросами відрізка каната, пропорційна кореневі з відношення електричних опорів гумової оболонки, розташованої поміж двома сусідніми тросами та троса одиничних довжин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бельмас І.В. Електричний опір гумової оболонки гумотросового канату / І.В. Бельмас, І.Т. Сабурова, Я.П. Поліщук // Сб. научн. тр. Керченського морського технологічного університету. Механізація виробничих процесів рибного господарства, промислових і аграрних підприємств. Вып. 8. – 2007. – С. 89-92.

