

РОЗРОБКА СПОСОБУ КОНТРОЛЮ ПОРИВІВ ТРОСОВОЇ ОСНОВИ ГУМОТРОСОВОГО КАНАТА

Д.Л. Колосов, Національний гірничий університет, Україна

Г.І. Таницура, О.І. Білоус, Дніпродзержинський державний технічний університет, Україна

Одержані аналітичні залежності, які дозволяють визначати струми, що виникають в тросах в точках підведення різниці потенціалів для каната з цілими тросами та у разі їх ушкодження. Задані значення різниці потенціалів та визначених струмів дозволяють встановлювати внутрішній опір каната з урахуванням його конструкції та властивостей елементів тросової основи. Отримані результати мають бути використані в інженерній практиці при проектуванні та використанні підйомних машин з гумотросовими канатами.

Вступ. Гумотросові канати мають суттєву перевагу перед звичайними канатами підйомних машин. В них 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. Захищеність від взаємодії з елементами машини – від їх механічного зносу. Наведені властивості гумотросових канатів забезпечили збільшення терміну їх використання на шахтах Криворізького басейну в декілька разів.

Стан питання і постановка задачі дослідження. Водночас наявність гумової оболонки каната унеможливорює застосування традиційного періодичного візуального контролю його стану персоналом, що обслуговує та експлуатує машину. Останнє стримує використання гумотросових канатів на підйомних машинах в різноманітних галузях економіки країни. Тому розробка методу контролю стану тросів каната, який би здійснювався автоматично та безперервно забезпечував подачу відповідного сигналу, включно і на відключення приводу підйомної машини, у разі руйнування тросів каната – **актуальна науково-технічна задача** підвищення терміну експлуатації канатів та забезпечення безпеки їх експлуатації.

Основний зміст роботи. 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 – цьому питанню присвячена робота.

В роботі [1] досліджувався вплив форми гуми, розташованої поміж тросами на величину її електричного опору. Гумотросовий канат – композитна конструкція з неперервними та дискретними параметрами. 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

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

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

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

Струми та потенціали залежать від значення координати, спрямованої вздовж каната, помноженої на значення β_m . Величина останньої залежить від електричних властивостей тросів та гуми – їх електропровідності. Вказане дозволяє зробити висновок, що для канатів з однаковою кількістю тросів та різними значеннями електричних опорів гуми та тросів, закономірності розподілу струмів та потенціалів за однакових схем їх підведення до тросів будуть збігатися, коли збігатимуться добутки $\beta_m x$.

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 (рис. 1).

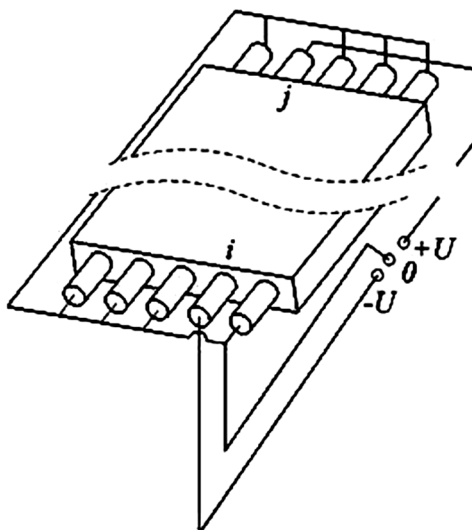


Рис. 1. Схема підведення напруги до тросів каната

Умови прикладення електричних напруг до протилежних кінців тросів сформулюємо наступним чином:

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

$$U_{i \text{ лів}} = \begin{cases} 0 & i \neq n, \\ 0,5 & i = n; \end{cases} \quad (4)$$

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

$$U_{i \text{ прав}} = \begin{cases} 0 & i \neq j, \\ -0,5 & i = j. \end{cases} \quad (5)$$

Дискретні умови (4)-(5) задамо обмеженими сумами рядів Фур'є

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

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

Вказане дозволяє знайти невідомі сталі для визначення потенціалів та струмів в (2) та (3)

$$B_m = \frac{\frac{\cos(\mu_m(n-0,5))}{e^{\beta_m X_{\text{лів}}}} + \frac{\cos(\mu_m(j-0,5))}{e^{\beta_m X_{\text{прав}}}}}{M(e^{-2\beta_m X_{\text{лів}}} - e^{-2\beta_m X_{\text{прав}}})}, \quad A_m = \frac{e^{-\beta_m X_{\text{лів}}}}{M} \cos(\mu_m(n-0,5)) - B_m e^{-2\beta_m X_{\text{лів}}},$$

$$a = \frac{1}{M(X_{\text{лів}} - X_{\text{прав}})}, \quad b = -\frac{1}{2M} - aX_{\text{прав}}.$$

Розрив одного з тросів змінює електричний опір тросів каната. Для визначення такої зміни, враховуючи лінійність задачі, новий розподіл напружень 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, які враховані першою схемою. Порив троса 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 унеможливорює використання рішень (2) та (3). Врахувавши останнє, перерізом з координатою $x = X_{\text{порив}}$ розділимо канат на дві ділянки. Ділянкам надамо номери 1 та 2. Ці цифри додамо в індекси позначень невідомих сталих. Складемо умови, яким мають відповідати зміни струмів на потенціалів, що виникли внаслідок розриву троса

$$U_{1i \text{ прав}} - U_{2i \text{ лів}} = U_0 \begin{cases} 0 & i \neq k, \\ 1 & i = j. \end{cases} \quad (8)$$

де U_0 – невідома величина різниці потенціалів поміж кінцями троса в місці його руйнування.

$$I_{1i \text{ прав}} - I_{2i \text{ лів}} = 0 \wedge I_{1k \text{ прав}} = I_{2k \text{ лів}} = 0. \quad (9)$$

Врахуємо залежності (8, 9) та те, що зміни, викликані руйнуванням тросів, не повинні змінювати граничні умови для усього відрізка каната. Розривну функцію задамо обмеженим рядом Фур'є. Складемо систему рівнянь для визначення невідомих сталих та визначимо їх

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^M (A_{1m} e^{\beta_m X_{\text{лів}}} + B_{1m} e^{-\beta_m X_{\text{лів}}}) \cos(\mu_m(i-0,5)) + a_1 X_{\text{лів}} + b_1 = 0; \\ & \sum_{m=1}^M \left((A_{1m} - A_{2m}) e^{\beta_m X_{\text{порив}}} + (B_{1m} - B_{2m}) e^{-\beta_m X_{\text{порив}}} \right) \cos(\mu_m(i-0,5)) + (a_1 - a_2) X_{\text{порив}} + b_1 - b_2 = \\ & = \left[\frac{2}{M} \sum_m^M \cos(\mu_m(i-0,5)) \cos(\mu_m(k-0,5)) + \frac{1}{M} \right] U_0; \\ & \sum_{m=1}^M \left((A_{1m} - A_{2m}) e^{\beta_m X_{\text{порив}}} - (B_{1m} - B_{2m}) e^{-\beta_m X_{\text{порив}}} \right) \beta_m \cos(\mu_m(i-0,5)) + (a_1 - a_2) = 0; \\ & \sum_{m=1}^M (A_{2m} e^{\beta_m X_{\text{прав}}} + B_{2m} e^{-\beta_m X_{\text{прав}}}) \cos(\mu_m(i-0,5)) + a_2 X_{\text{прав}} + b_2 = 0. \end{aligned}$$

Звідки маємо

$$\begin{aligned}
 & A_{1m}e^{\beta_m X_{\text{лів}}} + B_{1m}e^{-\beta_m X_{\text{лів}}} + a_1 X_{\text{лів}} + b_1 = 0; \\
 & (A_{1m} - A_{2m})e^{\beta_m X_{\text{порів}}} + (B_{1m} - B_{2m})e^{-\beta_m X_{\text{порів}}} + (a_1 - a_2)X_{\text{порів}} + b_1 - b_2 = \\
 & = \left[\frac{2}{M} \cos(\mu_m(k-0,5)) + \frac{1}{M} \right] U_0; \\
 & \sum_{m=1}^M \left((A_{1m} - A_{2m})e^{\beta_m X_{\text{порів}}} - (B_{1m} - B_{2m})e^{-\beta_m X_{\text{порів}}} \right) \beta_m \cos(\mu_m(i-0,5)) + (a_1 - a_2) = 0; \\
 & A_{2m}e^{\beta_m X_{\text{прав}}} + B_{2m}e^{-\beta_m X_{\text{прав}}} + a_2 X_{\text{прав}} + b_2 = 0.
 \end{aligned}$$

Розв'язок системи рівнянь має вигляд

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

З наведеного видно, що невідомі сталі пропорційні величині U_0 . Її значення повинно забезпечувати рівність нулю суми струмів (3) в місці розриву троса. Визначимо її

$$U_0 = \frac{I(x = X_{\text{порів}}, i = k)}{\sum_{m=1}^M \left(A_{20m} e^{\beta_m X_{\text{порів}}} - B_{20m} e^{-\beta_m X_{\text{лів}}} \right) \beta_m \cos(\mu_m(k-0,5)) + a_{20}}.$$

Відзначимо, в наведеній залежності значення невідомих сталих визначені за вищенаведеними залежностями за умови $U_0 = 1$.

З використанням отриманих залежностей визначали відношення електричного опору, зам'яного поміж тросами протилежних кінців каната при різних довжинах та у разі ушкодження першого троса посередині каната. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Відношення електричного опору, зам'яного поміж тросами протилежних кінців каната

Довжина каната, м	Різниця потенціалів, що створена на кінцях тросів	
	першого та четвертого	першого
10	2,1	129
100	1,3	2
1000	1,1	1,05

Висновки. Наведене дозволяє зробити висновок, що при малих довжинах каната зміна електричного опору більша у разі вимірювання опору троса з ушкодженням. Для розглянутих

схем відношення опорів зменшується зі зростанням довжини відрізка каната та наближається до одиниці. Це обмежує можливість застосування контролю опору каната при значних його довжинах. Для розглянутого каната можна вважати такою довжиною меншу за 1000 м, що забезпечить зміну діагностувального параметру на величину, не меншу за 5% від нормативної.

Список літератури

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА

Н.Ю. Рухлова, Национальный горный университет, Украина

Показана актуальность использования главной водоотливной установки угольной шахты в качестве эффективного потребителя-регулятора. Разработан алгоритм имитационного моделирования режимов функционирования шахтного водоотлива, который позволяет повысить эффективность регулирования режимов электропотребления.

Шахтный водоотлив, по своей сути, является классическим потребителем-регулятором, однако эффективность его использования в этом качестве не для всех условий остается достаточно высокой. Участие главной водоотливной установки (ГВУ) в регулировании режимов электропотребления (РРЭ) должно быть экономически выгодным как потребителю (шахте), так и производителю (энергосистеме) при условии использования дифференцированного по периодам суток тарифа на электроэнергию. Исходя из этого экономический эффект от изменения режимов работы водоотлива, отключения насосов в часы пиковых нагрузок и интенсивного откачивания воды в часы ночного провала в энергосистеме должен быть высоким.

Функционирование шахтного водоотлива определяется режимом его работы, который зависит от ряда параметров и условий, таких как шахтный приток воды, объем водосборника, параметры основного оборудования ГВУ и т.п., а также управлением этим режимом. Энергоэффективность процесса откачки воды повышается при регулировании режимов электропотребления водоотливной установки, которое возможно только при наличии соответствующих режимов работы насосов. Такие режимы могут быть получены с помощью имитационного моделирования в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1. Разработанный алгоритм позволяет получить наиболее энергоэкономичный режим функционирования водоотливной установки с учетом действительных параметров ее оборудования, а также реализовать его с помощью обслуживающего персонала.

В блоке 1 задания исходных данных и начальных условий осуществляется ввод необходимой информации для конкретных условий шахты, т.е. горизонт водоотлива, общий объем водосборника, количество и диаметр трубопроводных ствов, количество насосов, их номинальные параметры, а также ограничивается общее количество включений насосов.

В блоке 2 определения параметров ГВУ осуществляется расчет рабочего объема водосборника с учетом заиливания, а также определяются параметры напорной характеристики трубопроводной сети и характеристики насосных агрегатов.

В блоке 3 определения и уточнения сопротивления трубопроводной сети определяется эквивалентное сопротивление для стандартной кольцевой схемы с возможностью уточнения фактического внутреннего диаметра трубопровода.