

УДК 622.673: [531.391+539.4]

**ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР МАТРИЦІ ГУМОТРОСОВОГО ТЯГОВОГО ОРГАНУ****І.В. Бельмас<sup>1</sup>, Д.Л. Колосов<sup>2</sup>, І.Т. Бобильова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, завідувач кафедри технології машинобудування, Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

<sup>2</sup>доктор технічних наук, завідувач кафедри будівельної, теоретичної та прикладної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: [evolyuta@gmail.com](mailto:evolyuta@gmail.com)

<sup>3</sup>асистент кафедри машинобудування, Дніпродзержинський державний технічний університет, м. Дніпродзержинськ, Україна

**Анотація.** В роботі встановлено закономірність впливу форми матриці гумотросового тягового органу на її властивість проводити струм. Отримані результати мають бути враховані при розробці моделі розподілу струмів та потенціалів та створенні системи безперервного автоматичного контролю технічного стану тросів, що забезпечить підвищення безпеки експлуатації підйомних машин з гумотросовими тяговими органами.

**Ключові слова:** гумотросовий тяговий орган, гума матриця, електротехнічні параметри, контроль технічного стану.

**ELECTRICAL RESISTANCE OF THE MATRIX OF A RUBBER-ROPE TRACTION BODY****Ivan Belmas<sup>1</sup>, Dmytro Kolosov<sup>2</sup>, Inessa Bobyleva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, Dniprodzerzhins'k State Technical University, Dniprodzerzhins'k, Ukraine

<sup>2</sup>Ph.D., Head of the Department of Structural, Theoretical and Applied Mechanics, State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovs'k, Ukraine, e-mail: [evolyuta@gmail.com](mailto:evolyuta@gmail.com)

<sup>3</sup>Assistant of the Department of Mechanical engineering, Dniprodzerzhins'k State Technical University, Dniprodzerzhins'k, Ukraine

**Abstract.** The article establishes the law of the influence of the matrix form of the rubber-rope traction body on its property to conduct current. The results should be considered in developing the model of distribution of currents and potentials and for creation of continuous automatic condition monitoring of cables. This will improve the safe operation of the winders with rubber-rope traction bodies.

**Keywords:** rubber-rope traction body, rubber matrix, electrotechnical parameters, control of technical state.

**Вступ.** Гумотросові тягові органи (стрічки та канати) використовуються в промисловості понад 50 років на потужних конвеєрах і підйомних машинах. Ведуться розробки, спрямовані на використання цих тягових органів, як канатів ліфтів.



В гумотросових тягових органах система паралельних тросів, розташованих в одній площині з постійним кроком, запресована в гумову матрицю. Гума захищає троси тягового органу від негативного впливу доквілля та взаємодії з конструктивними елементами машини. Захищеність від впливу доквілля практично повністю виключає руйнування тросів внаслідок їх корозії. Відсутність контакту тросів з елементами машини унеможливорює знос тросів. Відсутність корозії, механічного зносу забезпечує підвищення терміну використання тягових органів та дозволяє зменшити діаметр дроту, з якого виготовляються троси.

Як правило, дріт меншого діаметра має більш високу границю міцності. Відповідно троси, що виготовлені на його основі, мають більшу міцність на розрив. На підйомних машинах з тросами меншого діаметра можуть бути застосовані барабани меншого діаметра. Останнє дає можливість зменшити габарити приводу, включно і за рахунок зменшення передавального числа приводу. Вищеперераховане забезпечує зменшення металомісткості машини та витрат енергії на її експлуатацію.

Разом з тим, наявність гумової оболонки каната унеможливорює застосування традиційного періодичного візуального контролю його стану. Це стримує використання гумотросових тягових органів на підйомних машинах в різноманітних галузях економіки країни та вимагає розробки альтернативного методу контролю. В його основі має лежати не періодичне візуальне спостереження, а автоматичне, практично безперервне спостереження за зміною властивостей тросів та тягового органу внаслідок розриву тросів. Такими змінами є зменшення міцності тягового органу, деформування його нормальних перерізів, зміна електричного опору. Зміна електричного опору, як діагностувальний параметр, більш за інші підходить для створення системи автоматичного контролю стану тросів гумотросового тягового органу.

**Стан питання та постановка задачі дослідження.** Довжина гумотросового тягового органу значно перевищує відстань між тросами в ньому. Гума, як провідник струму, поміж двома сусідніми тросами має велику площу перерізу та малу довжину. Вказане, навіть за значного питомого електричного опору гуми, зумовлює появу струму в гумовій матриці складної форми та впливає на властивість гумотросового тягового органу проводити струм. Дослідження та встановлення закономірностей впливу форми гумової матриці на її властивість та властивість тягового органу в цілому проводити струм дозволить створити систему контролю постійної дії і, тим самим, розв'язати *актуальну науково-технічну задачу*.

На можливість використання системи контролю поривів тросів було вказано в роботі [1]. Зокрема було показано, що форма гумової матриці впливає на електричний опір, визначений поміж кінцями тросів каната.

**Основний зміст роботи.** Із гумотросового тягового органу регулярної конструкції виріжмо повторюваний елемент довжиною  $2Z$  (рис. 1).

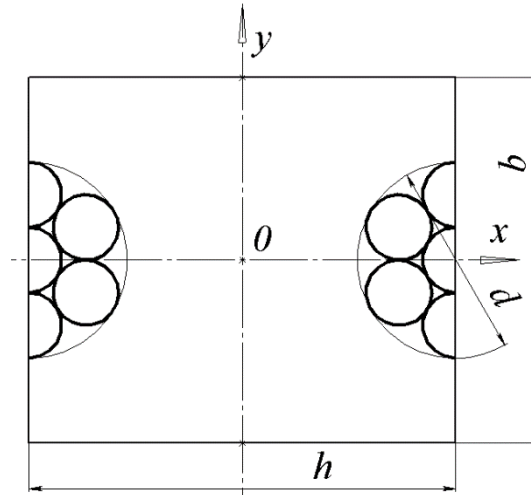


Рисунок 1 – Форма нормального перерізу гумового осердя, розташованого поміж двома суміжними тросами каната

Будемо вважати, що троси мають круговий переріз, струм в гумовому прошарку прямо пропорційний напрузі. На обидва кінця правого троса подано потенціал  $0,5B$ , лівого –  $-0,5B$ .

Розподіл потенціалів в неперервному середовищі описується рівнянням Лапласа

$$\frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dz^2} = 0. \quad (1)$$

Використавши симетричність гумового елемента (рис. 1), складемо граничні умови для однієї четвертої частини

$$\text{коли } y = 0, \quad \frac{dU}{dy} = 0 \text{ (умова симетрії);} \quad (2)$$

$$\text{коли } y = \frac{b}{2}, \quad \frac{dU}{dy} = 0 \text{ (умова відсутності струму);} \quad (3)$$

коли  $x = 0, U = 0$  (умова косиметричного підведення потенціалів до протилежних тросів); (4)

$$\text{коли } x = \frac{h}{2} \wedge y \geq \frac{d}{2}, \quad \frac{dU}{dy} = 0 \text{ (умова симетрії);} \quad (5)$$

$$y < \frac{d}{2} \wedge x = \frac{h}{2} - \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - y^2}, \quad z = \pm Z, \quad U = 0,5B \text{ (умова незмінності потенціалу в тросі)} \quad (6)$$

Врахувавши граничні умови (2) – (6), розв’язок рівняння (1) будемо шукати у формі

$$U = \sum_i \sum_j A_{i,j} \cos(v_j x) \cos(\mu_j y) \operatorname{ch}(c_{i,j} x), \quad (7)$$

де  $A_{i,j}$  – сталі інтегрування;  $\mu_j = \frac{2 \pi j}{b}$ ;  $v_i = \frac{i \pi}{h}$ ;  $c_{i,j} = \sqrt{\mu_j^2 + v_j^2}$ .

Розподіл потенціалів дозволяє визначити розподіл струмів, що мають місце поміж тросами

$$I = \rho \sum_i \sum_j A_{i,j} \cos(v_j x) \sin(\mu_j y) \operatorname{ch}(c_{i,j} x) \mu_j, \quad (8)$$

де  $\rho$  – питома електрична провідність гуми.

Умову (6) задамо функцією двох змінних

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 + y^2 \leq \left(\frac{d}{2}\right)^2; \\ 0, & \text{якщо } \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 + y^2 > \left(\frac{d}{2}\right)^2. \end{cases} \quad (9)$$

Невідомі сталі визначимо з використанням подвійної суми для перерізу  $z = 0$

$$A_{i,j} = \frac{4}{h b} \int_0^{h/2} \int_0^{d/2} f(x, y) \cos(\mu_i x) \cos(v_j y). \quad (10)$$

На рис. 2 показана поверхня, що відповідає заданому розподілу потенціалів в одній четвертій частині перерізу поміжтросового гумового елемента, коли  $z = 0$ .

Виконання математичних розрахунків вимагає призначення обмеженої та фіксованої кількості доданків у сумі подвійного ряду Фур’є. В розрахунках обрано складання до десяти складових. Наведена на рис. 2 поверхня достатньо повно відповідає заданим умовам прикладення потенціалу до металевого троса гумотросового каната.

Значення струмів в частині гумової оболонки каната поміж тросами, до яких прикладені потенціали протилежних знаків, наведено на рис. 3.

Отриманий закон розподілу відповідає уяві про розподіл струмів в гумі поміж тросами – на частині перерізу, де відсутні троси та на частині перерізу, де відстань поміж поверхнями двох тросів круглого перерізу, струми значно менші. Максимальних значень розподілені струми набувають в гумі, де відстань поміж поверхнями суміжних тросів мінімальна.

Конструктивно гумотросові тягові органи відрізняються поміж собою діаметрами тросів, кроком їх розташування, товщиною конструкції. Отримавши сумарні значення струмів та їх середні значення в гумовій оболонці каната, визначали вплив форми гумової оболонки каната на її електричний опір. Розрахунки виконували для відносних значень  $d/b$  та  $h/b$ . Результати розрахунків наведені в графічній формі на рис. 4.

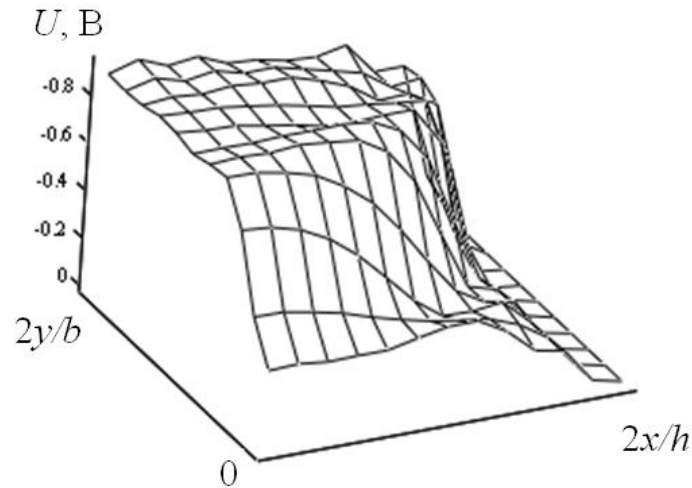


Рисунок 2 – Поверхня заданого розподілу потенціалів  $U$  в одній чвертій частині поміжтросового гумового елемента, коли  $z = 0$  у відносних ко-

ординатах  $\frac{x}{h/2}$  та  $\frac{y}{b/2}$

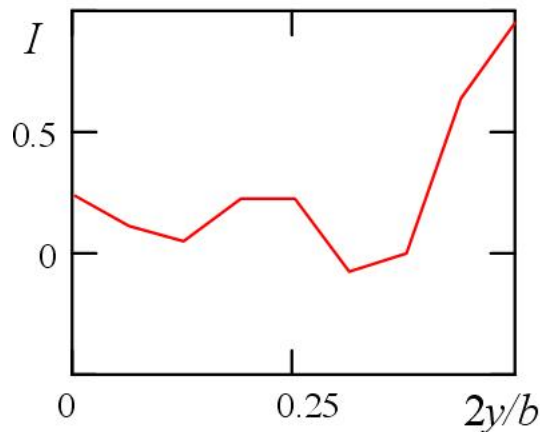


Рисунок 3 – Графік розподілу відносних струмів в гумовому зразку оболонки гумотросового каната поміж двома суміжними тросами в площині симетрії їх розташування

Наведений графік демонструє зменшення електричного опору гуми, розташованої поміж тросами у разі збільшення діаметру тросів по відношенню до товщини каната та до зростання опору при зростанні відно-

шення кроку розташування тросів до товщини конструкції. Вказане зумовлено тим, що кількість гуми, опір якої на декілька порядків вищий за електричний опір тросів, зменшується, а зростає частка металу.

Звернемо увагу на те, що нами розглянуті межі співвідношень  $d/b$  та  $h/b$  від 0,05 до 0,8 та від 0,6 до 2. Вказані межі охоплюють весь спектр гумотросових тягових органів, що використовуються в промисловості.

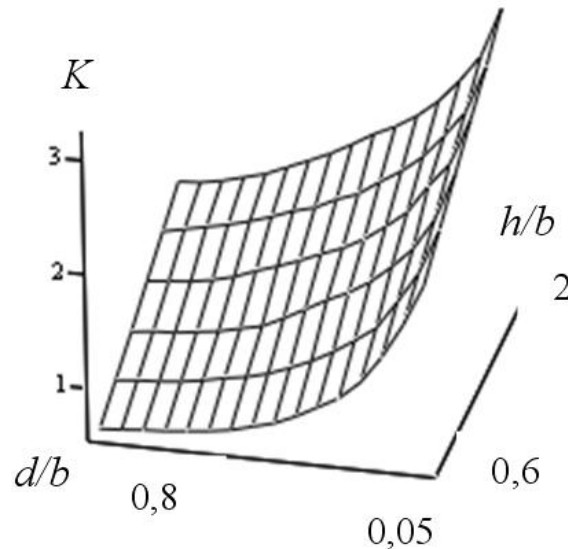


Рисунок 4 – Графік залежності відносного електричного опору гуми  $K$  поміж тросами від відношення діаметра тросу до товщини каната  $d/b$  та відношення кроку укладання тросів до товщини каната  $h/b$  при одиничному питомому електричному опорі матеріалу матриці

**Висновки.** Отримані результати встановлюють закономірність впливу форми гумової матриці на її властивість проводити струм та мають бути враховані при розробці моделі розподілу струмів та потенціалів в гумотросовому тяговому органі та створенні системи безперервного контролю технічного стану тросів, що забезпечить підвищення безпеки експлуатації підйомних машин з гумотросовими тяговими органами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Колосов Л.В. Научные основы разработки и применения резинотросовых канатов подъемных установок глубоких рудников / Л.В. Колосов. – Дис. докт. наук: 05.05.06, 01.02.06. – Днепропетровск, 1987. – 426 с.