

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ В ПЛОСКОМУ ГУМОТРОСОВОМУ КАНАТІ СТУПІНЧАСТОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ЙОГО БАГАТОШАРОВОМУ НАМОТУВАННІ

Досліджено розподіл напружень при багатошаровому намотуванні плоского гумотросового каната ступінчастої конструкції. Показано, що тиск вузької ступені каната призводить до локальної зміни напруженого стану намотаної частини каната.

Исследовано распределение напряжений при многослойном наматывании плоского резинотросового каната ступенчатой конструкции. Показано, что давление более узкой ступени каната приводит к локальному изменению напряженного состояния намотанной части каната.

The analysis of tensions is executed at the multi-layered laying of rope of variable width. Pressure of more narrow part of rope is provided by the local change of tensions in the put part of rope.

Вступ. Розробка підйомної машини для надвеликих глибин пов'язана із впровадженням канатів ступінчастої конструкції, в якому кількість тросів за його довжиною ступінчасто змінюється – збільшується від кінцевого (корисного) вантажу до барабана підйомної машини. Аналогом такого каната є плоский гумотросовий канат. В такому канаті поперечний переріз залишається незмінним по усій довжині каната. На підйомній машині канат розташований вертикально і зусилля розтягнення змінюється за його довжиною – воно залежить від маси каната, розташованої нижче розглядуваного перерізу. Збільшення довжини каната веде до зростання його маси, що зменшує реальну вантажопідйомність машини. Отже, недоліком плоского гумотросового каната постійного поперечного перерізу при застосуванні його на шахтних підйомних установках як головного є його нерівномірність за довжиною, яка обмежує масу кінцевого вантажу і глибину добутку корисних копалин.

В канаті ступінчастої конструкції зміною конструктивних елементів та поперечного перерізу досягається можливість забезпечення рівномірності тягового каната за довжиною при зменшенні маси каната та збільшенні кінцевого навантаження та глибини підйому, за рахунок чого покращуються експлуатаційні характеристики підйомної машини – збільшується глибина підйому при існуючих її габаритних розмірах.

Застосування нових канатів вимагає розв'язання багатьох актуальних науково-технічних задач. До таких задач відноситься і задача визначення впливу змінної ширини каната на його напружено-деформований стан (НДС) в бобіні (рис. 1), утвореній багатошаровим намотуванням.

Стан питання. Плоскі канати (стрічки) незмінної ширини використовуються понад 100 років в підйомно-транспортних машинах. В такій конструкції тиск верхнього шару практично рівномірно розподілений по ширині. Результати досліджень напружено-деформованого стану таких органів широко висвітлені в науковій літературі [1-3].

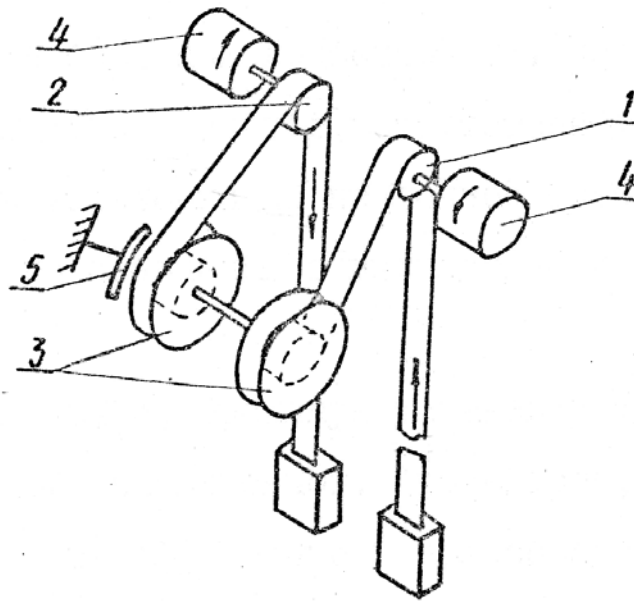


Рис. 1. Схема бобінної установки с ведучими шківками тертя: 1, 2 – ведучі шківки; 3 – бобіни; 4 – електродвигуни; 5 – гальма

Мета роботи полягає у визначенні основних закономірностей напружено-деформованого стану намотаного в декілька шарів плоского гумотросового каната та навантаженого тиском шару меншої ширини.

Постановка задачі та основний зміст роботи. Під час намотування плоского каната ступінчастої конструкції шари кожної ступені укладаються на шари більшої ширини (рис. 2). Дослідимо НДС тіла, що утворене багатошаровим намотуванням плоского каната і навантаженого силами тиску шарів меншої ширини (рис. 3). При цьому врахуємо, що троси в канаті обмежують нормальні деформації поперечного перерізу каната. Аналітичний розв'язок задачі з урахуванням поперечних деформацій тросів в канаті практично неможливий. З метою отримання результатів, які б дозволили відтворити механізм деформування пакета з шарів плоского каната, розглянемо два випадки. В першому випадку приймемо, що троси не впливають на деформування оболонки каната. В другому випадку приймемо, що шар з тросами не стискається, але не обмежує зсув тросів в площинах, паралельних торцям каната.

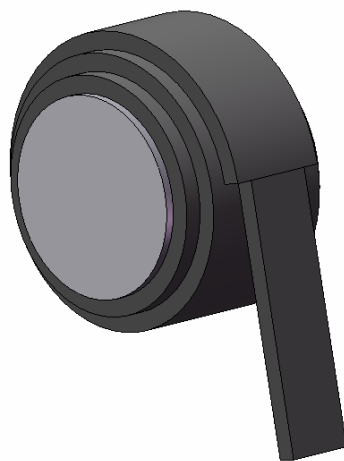


Рис. 2. Тяговий орган ступінчастої конструкції у намотці

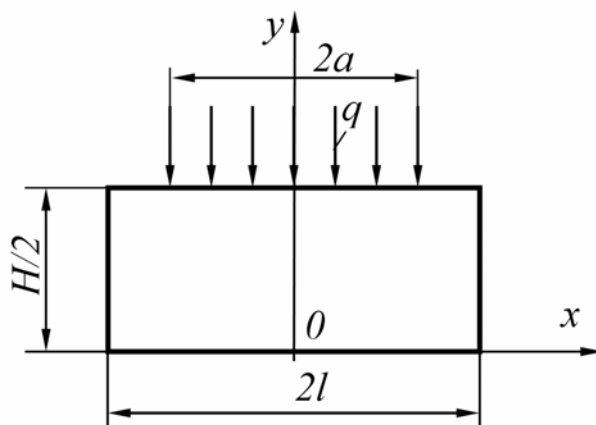


Рис. 3. Розрахункова схема навантаження ступені каната

Ці два випадки приводять до фізичної моделі, в якій канат ізотропний та виготовлений з матеріалу його оболонки. В першому випадку товщина каната дорівнює його дійсній товщині. В другому – товщині, зменшеній на діаметр тросів каната.

Радіус згину каната в тілі, утвореному намотуванням плоского каната, значно перевищує його товщину. Це дозволяє знехтувати згином та вважати кожний шар плоским. Визначимо напружено-деформований стан незначної кількості шарів як суцільного тіла, скориставшись функцією Ері у формі

$$\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\alpha_n x) F(y), \quad (1)$$

де $F(y)_n = C_{n1}sh(\alpha_n y) + C_{n2}ch(\alpha_n y) + C_{n3}y sh(\alpha_n y) + C_{n4}y ch(\alpha_n y)$.

Напруження для випадку плоского деформування

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\alpha_n x) F(y)_n'', & \sigma_y &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -\sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n^2 \cos(\alpha_n x) F(y)_n, \\ \tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n \sin(\alpha_n x) F(y)_n'. \end{aligned} \quad (2)$$

Відносні деформації

$$\varepsilon_x = \frac{1+\mu}{E} [(1-\mu)\sigma_x - \mu\sigma_y], \quad \varepsilon_y = \frac{1+\mu}{E} [(1-\mu)\sigma_y - \mu\sigma_x], \quad \gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}, \quad (3)$$

де μ , E – коефіцієнт Пуассона та модуль пружності матеріалу оболонки тягового органа (гуми).

Переміщення в напрямку осей x та y

$$\begin{aligned} u_x &= \int \frac{1+\mu}{E} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \cos(\alpha_n x) \left[(1-\mu)F(y)_n'' + \mu\alpha_n^2 F(y)_n \right] \right] dx + f(y); \\ v_y &= -\int \frac{1+\mu}{E} \left[\sum_{n=1}^{\infty} \cos(\alpha_n x) \left[(1-\mu)\alpha_n^2 F(y)_n + \mu F(y)_n'' \right] \right] dy + f_1(x), \end{aligned} \quad (4)$$

де $f_1(x)$, $f_1(y)$ – невідомі функції інтегрування.

Аналіз залежностей (4) показав, що $f'(y) = 0$, $f_1'(x) = 0$. Відповідно приймаємо $f(x)$ і $f_1(x)$, що описують лише переміщення зразку як твердого тіла вздовж координатних осей.

Результати дослідження. Граничні умови для розрахункової моделі

$$x=l, \quad \begin{matrix} \sigma_x = 0, \\ \tau_{xy} = 0; \end{matrix} \quad y = \frac{H}{2}, \quad \begin{matrix} \sigma_y = q, \\ \tau_{xy} = 0; \end{matrix} \quad y=0, \quad v_y = 0. \quad (5)$$

З метою виконання першої умови, прийmemo $\alpha_n = \frac{(n+0,5)\pi}{l}$. Другу умову виконаємо наближено, прийнявши $\int_0^{H/2} \tau_{xy} = 0$. Тиск задамо рядом Фур'є $q = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\alpha_n x)$.

Для отриманої системи рівнянь невідомі сталі визначаються залежностями

$$C_{n1} = \frac{a_n(\mu - 1 + \alpha_n^2 \mu)}{2\alpha_n^2} \cdot \frac{\left(\alpha_n H + 2ch\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right)sh\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right) - ch\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right)\alpha_n H - 2sh\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right) \right)}{\left(\mu - 1 + \alpha_n^2 \mu \right) \left[ch\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right)^2 + \frac{1}{4}\alpha_n^2 H_n \right] + (1 - \mu - \alpha_n^2 \mu)},$$

$$C_{n4} = -C_{n1} \alpha_n \frac{1 - \mu + \alpha_n^2 \mu}{\mu - 1 + \alpha_n^2 \mu}, \quad C_{n2} = \frac{a_n}{\alpha_n^2},$$

$$C_{n3} = \frac{-\frac{a_n}{\alpha_n^2} \left(ch\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right) - 1 \right) - C_{n1} \left[sh\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right) - \frac{1 - \mu + \alpha_n^2 \mu}{\mu - 1 + \alpha_n^2 \mu} \alpha_n ch\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right) \frac{H}{2} \right]}{sh\left(\frac{\alpha_n H}{2}\right) \frac{H}{2}}.$$

З використанням отриманих залежностей дослідимо вплив багат шарового намотування тягового органа на напружений стан утвореного тіла. У якості тягового органа прийmemo ступінчастий тяговий орган з параметрами, що відповідають гумотросовому канату типу ГТК-3250. Розподілене навантаження задамо з урахуванням тиску окремих тросів. Середнє значення інтенсивності тиску прийнято рівним одиниці. При завданні тиску верхнього шару на нижні шари врахуємо перші десять членів ряду Фур'є.

На рисунках 4-8 показані поверхні, що демонструють розподіл напружень та деформування трьох шарів тягового органа з чотирьох тросів у разі тиску на нього ступені тягового органа з двох тросів. Оскільки тяговий орган симетричний, то на рисунках показані розподіли напружень лише для половини зразка.

Наведені на рисунках поверхні свідчать про суттєвий вплив наявності дискретних тросів в канаті. Нерівномірний тиск призводить до нерівномірного розпо-

ділу напружень та деформацій. Екстремальні нормальні напруження паралельні осі x одного порядку з екстремальними значеннями розподіленого тиску.

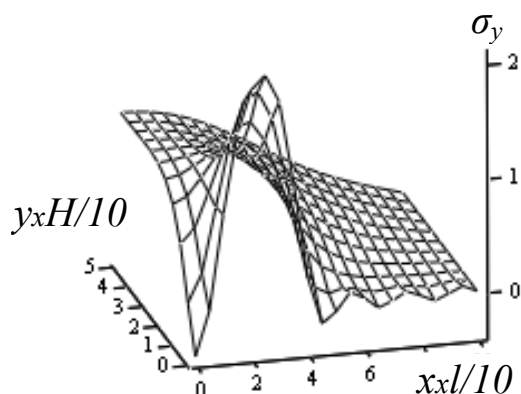


Рис. 4. Поверхня, що відтворює розподіл нормальних напружень в тілі бобіни з одного шару вздовж осі y

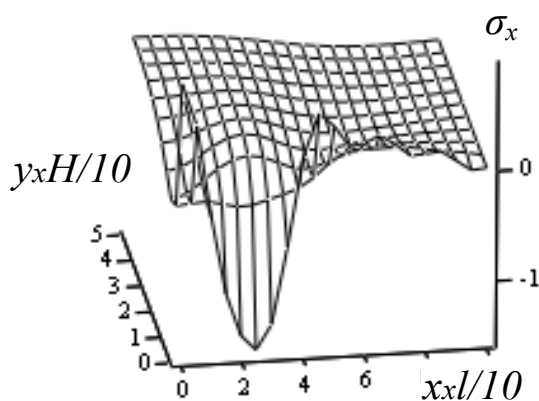


Рис. 5. Поверхня, що відтворює розподіл нормальних напружень в тілі бобіни з одного шару вздовж осі x

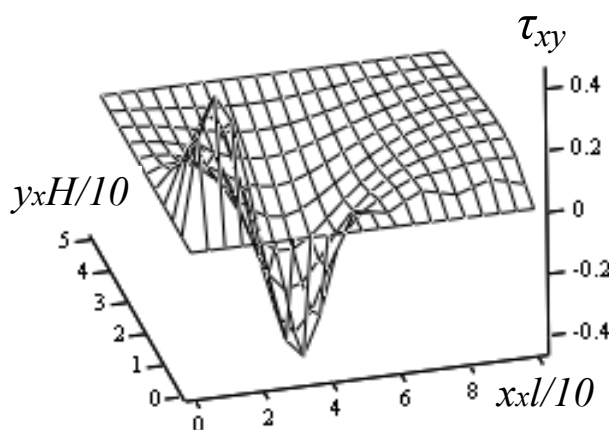


Рис. 6. Поверхня, що відтворює розподіл дотичних напружень в тілі бобіни з одного шару

Дотичні напруження, що виникають в зразку менші за величини навантажень. Це свідчить про відсутність умов ковзання одного шару каната по іншому

внаслідок нерівномірного тиску на шари більшої ширини шарами меншої. Це означає, що втрата форми у вигляді набуття бобіною телескопічної форми внаслідок нерівномірного тиску, неможлива. З іншого боку це вказує на прийнятність застосованого нами розгляду системи шарів каната, як суцільного тіла.

Разом з тим, деформації в напрямку осі y призводять до відхилення твірної поверхні намотування від прямої лінії. Таке відхилення може сприяти втраті форми тіла бобіни через можливу зміну кінематики процесу намотування каната, коли канат починає намотуватися не за спіраллю Архімеда, а за конічною гвинтовою лінією. При такому намотуванні канат може набувати телескопічної форми. Наведені графічні залежності відповідають першій фізичній моделі. В другій моделі товщина каната прийнята меншою за реальну товщину на величину, що дорівнює діаметру тросів каната.

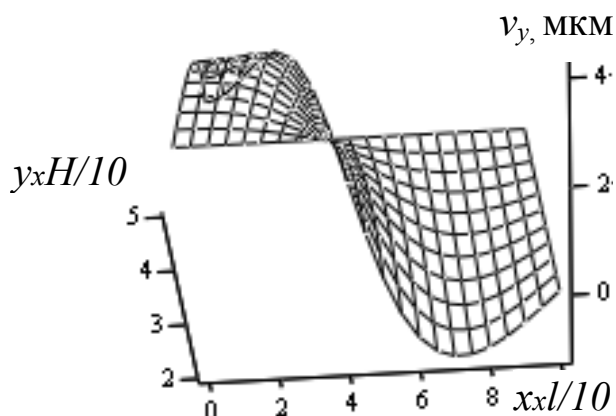


Рис. 7. Поверхня, що відтворює розподіл деформацій тіла бобіни з одного шару вздовж осі y

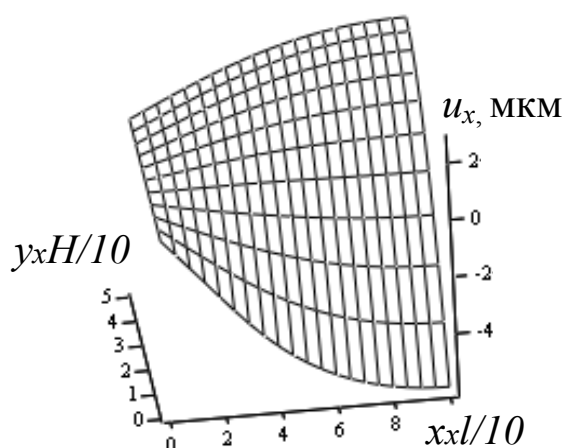


Рис. 8. Поверхня, що відтворює розподіл деформацій тіла бобіни з одного шару вздовж осі x

Виконані дослідження показали якісну близькість характеру розподілу напружень та переміщень при зменшенні зони практично рівномірного розподілу напружень. Найбільше умовне зменшення товщини вплинуло на величини дотичних напружень – вони зросли в декілька раз, але залишилися значно мен-

шими за величини нормальних напружень. Виконані дослідження впливу кількості тросів в канаті на його НДС в тілі бобіни показують, що збільшення кількості тросів практично не впливає на екстремальні значення напружень та деформацій в напрямку осі y . Зростають деформації в напрямку осі x (поширення зразка), внаслідок зростання ширини каната при зростанні кількості тросів в ньому.

Висновки. Нерівномірний тиск верхнього шару меншої ширини на шари каната, намотаного на барабан, призводить до нерівномірного напружено-деформованого стану плоского каната ступінчастої конструкції підйомних машин для надвеликих глибин. В тілі бобіни виникають дотичні напруження, менші за нормальні, які не можуть спричинити намотаним тілом бобіни телескопічної форми. Незначні дотичні напруження свідчать про припустимість розгляду тіла бобіни, як суцільного тіла. Нерівномірний тиск збільшує відхилення твірної поверхні намотування від прямої лінії. Таке відхилення може сприяти втраті форми тіла бобіни через можливу зміну кінематики процесу намотування каната, коли канат починає намотуватися не за спіраллю Архімеда, а за конічною гвинтовою лінією. При такому намотуванні канат може набувати телескопічної форми. Упередити кінематичну втрату форми каната в тілі бобіни має його спеціальна конструкція.

Список літератури

1. Колосов Л.В. Научные основы разработки и применения резинотросовых канатов подъемных установок глубоких рудников. – Дис... докт. наук: 05.05.06, 01.02.06. – Днепропетровск, 1987. – 426 с.
2. Бельмас И.В. Научные основы теории и расчета резинотросовой ленты конвейера с учетом его пространственной формы: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06, 01.02.06. – Днепропетровск, 1993. – 360 с.
3. Колосов Д.Л. Обоснование параметров и конструкций двухслойных резинотросовых конвейерных лент для горных предприятий. Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. – Днепропетровск, 2002. – 164 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Блохіним С.Є.
Надійшла до редакції 02.11.10*

УДК 622.6:622.33.012.2

© А.Я. Рибалко

ВЛИЯНИЕ НА АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОПРОВОЛОЧНОГО ПРОВОДА СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА

Проанализированы взаимосвязи показателей конструкции, геометрических размеров, формы сечения и электрические характеристики (омическое и активное сопротивления) многопроводного провода сплошного сечения для тяговой сети системы электроснабжения передвижных потребителей при частоте 4 – 10 кГц. Предложены базовые решения для исключения поверхностного эффекта и эффекта близости.