

Дослідження умов ковзання окремих шарів в багатошаровому тілі намотки

ЛУБИНЕЦЬ О.М., БЕЛЬМАС І.В.

Дніпродзержинський державний технічний університет

Показана можливість та досліджені умови ковзання окремих шарів в багатошаровому тілі намотки. Показано, що механізм проковзування можна уявити як розділення тіла намотки на дві складові частини та поворот однієї частини відносно іншої, коли сила тертя між ними менша за дотичні напруження в тілі намотки.

Показана возможность и исследованы условия скольжения отдельных слоёв в теле многослойной намотки. Показано, что механизм проскальзывания можно представить как разделение тела намотки на две составные части и поворот одной части относительно другой, когда сила трения между ними меньше, чем касательные напряжения в теле намотки.

Possibility is rotined and the terms of sliding of separate layers are investigational in the tel of the multi-layered winding. It is rotined that the mechanism of slipping can be presented as dividing of winding body into two component parts and turn of one part in relation to other, cord force of friction between them menshe, what tangent tensions in the tel of winding.

Актуальність роботи. В наш час виникає необхідність створення потужних підйомників на глибини більш 1500 м у зв'язку із зростанням виробничих потужностей. Спеціалісти НГУ, «Кривбаспроекта», НКМЗ запропонували у якості тягового органу гумотросові стрічки та канати (РТЛ, РТК) з щільною упаковкою.

В бобінному підйомі присутня багатошарова намотка гумо тросового каната – новий невивчений елемент підйомної установки з великою податливістю, що зумовлена гумою стрічки, і що складається з деформацій здвигу, обтискання витків. Поява такої податливості може призвести до негативних явищ в роботі бобінного підйомника, а саме до руйнування каната, а також втрати стійкості усього тіла намотки.

Стан питання. Багатошарова намотка широко використовується при виробництві композиційних матеріалів, паперу, магнітної стрічки, текстильної промисловості та ін. Однак теорії намотки нитки та ізотропної стрічки, що існують не можуть застосовуватись щодо намотки гумотросового каната, оскільки впливають особливості його побудови.

В роботі Панченко О.В. розглянуто напружений стан в тілі багатошарової намотки. Цей напружений стан зумовлений діями сил стискання, які виникають в шарах під дією сил розтягу каната при його намотуванні. При цьому не враховано, що сила розтягу каната прикладена на відстані осі обертання і створює момент кручення. Прикладений момент викликає дотичні напруження в багатошаровій намотці. А оскільки тіло намотки – це система не з'єднаних між собою шарів, то за певних умов можливе ковзання окремих шарів.

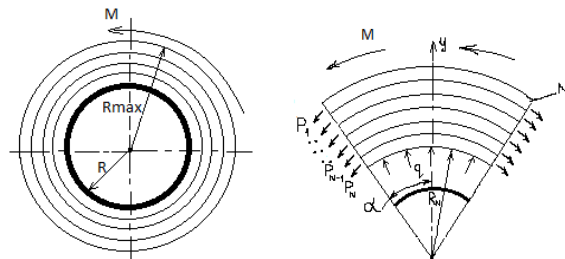
Мета роботи – визначення умов можливого ковзання одного шару по іншому в тілі намотки.

Постановка задачі. Канат в перерізі набігання на багатошарове тіло намотки навантажений силою розтягу, яка створює момент відносно осі тіла намотки - М. Розв'язання задачі з дискретним прикладенням зовнішнього навантаження пов'язано зі значними математичними труднощами. Розглянемо тіло намотки, навантажене рівномірно розподіленим зовнішнім навантаженням М.

Визначимо вплив параметрів таких як: кількість шарів, товщина шару, діаметр барабана, коефіцієнт тертя на умови ковзання окремих шарів в тілі намотки.

Прийняті допущення відповідають припущенням Панченко О.В. про те, що тіло намотки утворюється окремими кільцями, що поступово надіваються на тіло намотки та доповнені тим, що зовнішнє кільце навантажено моментом, який дорівнює моменту створеному прикладенням зовнішнього навантаження з боку каната в перерізі його набігання на тіло намотки.

Результати дослідження. Відповідно до прийнятих припущень маємо наступну схему тіла намотки (а) та його навантаження (б), яка показана на рисунку 1.



а) схема тіла намотки;

б) схема розподіленого навантаження

Рис. 1. Схема тіла намотки та його навантаження.

Схема навантаження отримана шляхом (рис. 1,б) вирізання довільної частини тіла намотки, для якої дії суміжних частин замінені силами.

З умови рівності суми проєкцій сил на вісь Y маємо:

$$\sum_{i=1}^N 2P_i \sin \frac{\alpha}{2} - q_N \alpha R_N = 0 \quad (1)$$

При малих значеннях кута α залежність має вигляд:

$$\sum_{i=1}^N P_N \alpha = q_N \alpha R_i \quad (2)$$

Звідки:

$$q_N = \frac{\sum_{i=1}^N P_1}{R_i} \quad (3)$$

Тиск n-го шару повинен забезпечувати силу тертя, момент від якої не має бути меншим за момент від дії зовнішнього зусилля:

$$q_N 2\pi R_i^2 f \geq P_1 R_{max} \quad (4)$$

де f – коефіцієнт тертя; q_N – розподілений тиск; R_i – радіус i-того витка; P_1 – сила натягнення каната в перерізі його набігання на тіло намотки.

В загальному випадку значення коефіцієнта тертя для гумотросового каната можуть лежати в межах $f = 0.1 \div 1$.

Значення зусиль в шарах каната запозичені зі статті О.В.Панченко [1], за умови:

$R = 0.35$ м – радіус барабана; $\delta = 0.025$ м – товщина шару; кількість шарів (M) прийемо рівним 225.

Для нерівності (4) при вибраних параметрах побудовані графіки лівої і правої частини. На графіку приведені значення для 100 – 225 шару.

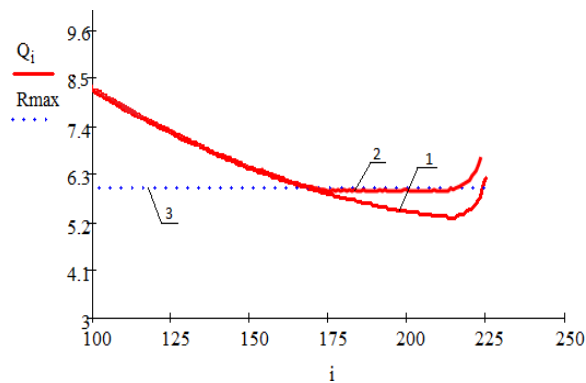


Рис. 2. Графіки значень лівої і правої частини для інтервалу шарів 100 – 225: 1 – крива (ліва частина нерівності) розподілу сил в шарах намотки без урахування можливості їх ковзання; 2 – крива (ліва частина нерівності) розподілу сил в шарах намотки з урахуванням можливості їх ковзання; 3 – лінія, що відповідає правій частині нерівності (4).

З рисунку 2 видно (крива 1), що нерівність (4) не виконується для шарів з номерами від 166 до 225. Відповідно, під час багат шарового намотування каната існує імовірність ковзання шарів один по одному, коли їх кількість перевищує 166.

З цього можна зробити висновок, що припущення Панченко О.В. прийнятне, але до певної кількості намотаних шарів. Ця кількість, відповідно до нерівності (4) залежить від радіусу барабана, товщини каната, коефіцієнту тертя, що виникає між шарами каната, характеру розподілу сил в багат шаровій намотці.

Відповідно до рисунка 2 (крива 1) на інтервалі від 167 до 225 мали місце умови ковзання шарів. Таке ковзання мало відбуватися при намотування кожного нового шару. При ковзанні відбувається поворот верхньої частини намотки відносно нижньої. Поворот призводить до додаткових деформацій розтягу каната в межах цих кілець. Зростання деформацій супроводжується зростанням зусиль в цих кільцях до моменту припинення ковзання, тобто до досягнення рівноваги поміж моментом, створеним силами тертя та зовнішнім моментом. Відомий зовнішній момент дозволяє встановити на скільки кіль-

кісно мають зрости зусилля в кільцях, поверхні яких проковзують. Ці величини додавали до сил, що були прикладені. Таким чином, штучно забезпечували рівновагу. Додавали наступний зовнішній шар. Після додавання наступного шару процес повторювали.

З рисунку 2 (крива 2) видно, що ковзання окремих шарів змінює розподіл сил розтягнення каната в окремих його шарах. Зміни розподілу відбуваються в зоні ковзання і пов'язані зі зростанням сил розтягу в канаті.

При ковзанні шарів, наприклад через відхилення осі тіла намотки від горизонталі, можуть поміж шарами виникати сили зсуву і паралельні осі. Під час ковзання ця сила, окрім сил обертання тіла навколо осі, може призвести до зсуву шарів намотки вздовж осі барабана. Зсув вздовж осі надасть тілу намотки телескопічної форми, при цьому середина шарів, включно і верхній шар, зсунуться відносно нижніх шарів. Разом із шаром зсунеться і точка прикладення рівнодіючого зовнішнього навантаження, що створить додатковий напружений стан пропорційний деформаціям. Така зміна схеми навантаження будь-якого деформованого тіла має місце при втраті його сталої форми. Для підйомної машини втрата форми тіла намотки може призвести до аварійної ситуації.

Умови ковзання залежать від конструктивних параметрів підйомної машини та каната. Розглянуто вплив товщини каната, радіуса барабана, кількість шарів, коефіцієнт тертя. Були проаналізовані умови ковзання шарів в намотці при таких значеннях наступних параметрів: $R = 0.325$ м; $f = 0.1$; $\delta = 0.020 \dots 0.025$ м.

На рисунку 3 показані залежності номерів шарів, по поверхням яких відбувається ковзання при намотуванні від 206 до 225 шару підрахованих від барабана. Крива 1 відповідає товщині каната 0.020 м, крива 2 - 0.025 м. З рисунку видно, що характер залежності номерів шарів, що проковзують, схожі між собою. При цьому при меншій товщині каната ковзання відбувається поміж більш віддаленими від барабана шарами.

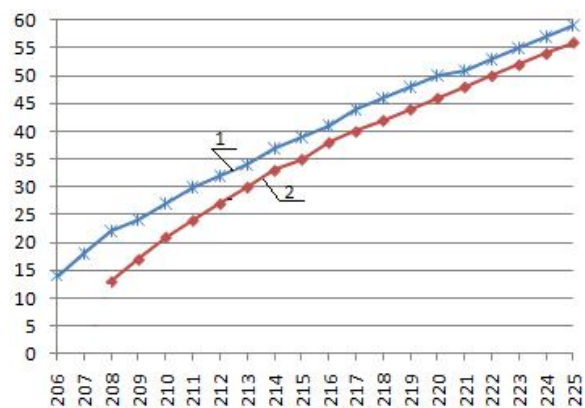


Рис. 3. Графік зміни зони проковзування при зміні товщини шару

На графіку (рис. 4) показано вплив радіусу барабана на умови ковзання. Крива 1 відповідає радіусу барабана 0.325 м, крива 2 - 0.425 м. З рисунку видно, що характер залежності номерів шарів, що проковзують також схожі між собою. При цьому при меншому радіусу барабана ковзання відбувається поміж більш віддаленими від барабана шарами.

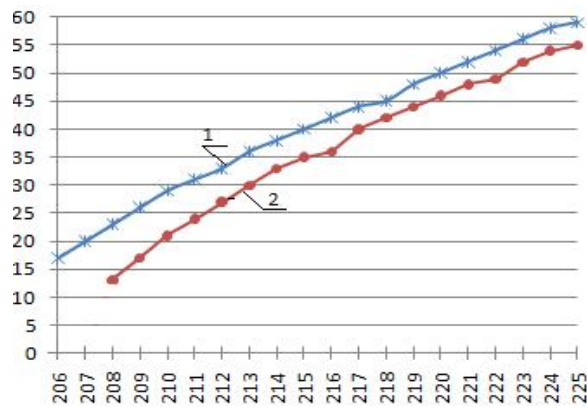


Рис. 4. Графік зміни зони проковзування при зміні радіуса барабана

Аналіз впливу значення коефіцієнта тертя показує, що при його зростанні ковзання відбувається поміж більш віддаленими від барабана шарами.

Висновки

1. При багатошаровому намотуванні за певних умов відбувається ковзання окремих шарів, зумовлене дією моменту сили в гільці набігання каната на тіло намотки.

2. Механізм проковзування можна уявити в наступній формі. Тіло намотки начебто розділяється на дві складові частини. В кожній із частині сили тертя перевищує дотичні напруження, що викликають зсув.

Тільки між двома окремими частинами сили тертя не забезпечують їхню взаємну нерухомість. Верхня частина починає повертатися навколо нижньої за рахунок ковзання суміжних шарів. Поворот викликає додаткове навантаження цих шарів. Додаткові навантаження зростають. Разом з ними зростають сили зчеплення (тертя). По досягненню рівноваги сил зсуву і сил тертя поворот верхньої частини припиняється. При кожному намотуванні наступного шару знову порушується умова рівноваги поміж частинами тіла намотки, але порушується рівновага поміж шарами розташованими вище. Тобто відбувається підняття зони проковзування від барабана.

3. При зменшенні радіусу барабана ковзання відбувається поміж більш віддаленими від барабана шарами.

4. При збільшенні значення коефіцієнта тертя ковзання відбувається поміж більш віддаленими від барабана шарами.

5. При зменшенні товщині каната ковзання відбувається поміж більш віддаленими від барабана шарами.

6. Умова ковзання визначається невиконанням залежності

$$q_N 2\pi R_i^2 f \geq P_1 R_{max}$$

ЛІТЕРАТУРА

1. Панченко Е.В. Разработка математической модели для определения радиальных нагрузок при многослойной намотке резино тросового каната шахтной подъемной установки // Математичне моделювання, 2006. - №1,2 (15). - С. 40-44.