

ня характеризуватимуть параметри жорсткості лопатей при їх згині та кручення. Таким чином планується змоделювати коливні процеси лопатей при дії на них аеродинамічних, гравітаційних та інерційних навантажень внаслідок нерівномірного обертання описаних вище підсистем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Харитонов В.П. Условия рационального агрегатирования автономных ветроэлектрических установок: научные труды ВИЭСХ. Т. 86. / М.: ВИЭСХ. – 2000. – 270 с.
2. Кузьо І.В. Теоретичні аспекти моделювання вітроенергетичних установок / І.В. Кузьо, В.М. Корендій // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – № 3. – С. 85-94.
3. Харитонов В.П. Работа электронасосной ветроустановки при порывистом ветре // Доклады Первой Всесоюзной научно-технической конференции по возобновляемым источникам энергии. – М., 1972. – Вып. 2. – С. 43-48.
4. Кузьо І.В. Математичне моделювання динаміки тихохідного вітроколеса / І.В. Кузьо, В.М. Корендій // Наукові нотатки. – 2011. – № 33. – С. 115-123.
5. Суббота А.М. Система управления ветроэнергетической установкой / А.М. Суббота, И.Ю. Дыбская, А.В. Заболотный // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 3 (37). – С. 61-67.
6. Буяльский В.И. Повышение эффективности управления ветротурбиной [Текст] / В.И. Буяльский // Вісник Севастопольського державного технічного університету. – 2008. – № 88. – С. 152-156.

пост. 20.04.12

Розподіл сил в канаті при багатошаровому його намотуванні

БЕЛЬМАС І.В., БОБИЛЬОВА І.Т., ЛУБИНЕЦЬ О.М.

Дніпродзержинський державний технічний університет

В роботі досліджено розподіл сил поміж шарами в багатошаровому тілі намотки. Показано, що теоретично можливі виникнення умовного від'ємного взаємного тиску шарів. Вказане може призводити до ковзання одного шару по іншому у разі прикладення дотичного зусилля.

В работе исследовано распределение сил между слоями в многослойном теле намотке. Показано условия возможного отрицательного давления, которые приводят к скольжению одного слоя по другому в случае приложения касательного усилия.

In work investigates the distribution of forces between layers in multilayer winding body. It is shown that theoretically possible occurrence of negative conditional mutual pressure layers. The above can lead to sliding of one layer to another in case of application of force tangent.

Актуальність роботи.

Процеси намотування гнучких тягових органів широко застосовуються в різноманітних напрямках техніки. Практика показує, що при багатошаровому намотуванні має місце втрата сталої форми. Дослідження умов виникнення втрати форми тіла намотки є актуальною науково-технічною задачею.

Стан питання.

В роботі Панченко О.В. [1] досліджено напружений стан в тілі багатошарової намотки як системи не з'єднаних між собою шарів-кілець. При цьому не враховано, що сила розтягу каната прикладена на відстані осі обертання і створює момент кручення. Дія такої сили врахована в роботі Лубинець О.М., Бельмас І.В. [2].

Мета роботи – дослідження розподілу сил намотаному в декілька шарів на барабан підйомної машини в неперервному канаті, а не в канаті як системи кілець.

Постановка задачі.

Канат розглянемо як неперервний, намотаний в декілька шарів. Його внутрішній кінець приєднаний до

барабана, зовнішній – навантажений зусиллям розтягу, прикладеним на відстані осі обертання.

Прийняті допущення.

Приймемо що, товщина канату дорівнює нулю. Окремі шари тіла намотки з'єднані (склеєні) між собою нерухомо. Деформації підкорюються лінійному закону. По ширині канату сили розподілені рівномірно.

Результати дослідження.

Канат намотаний на бобіну в декілька шарів показано на рисунку 1. Зовнішній шар (будемо вважати його першим) навантажений лише силою розтягу P – силою, прикладеною з боку канату, що намотується на бобіну. Внутрішній, якому надамо номер M , взаємодіє з барабаном підйомної машини. Ширина каната незначна. Це дозволяє вважати, що канат має лише один трос намотаний за спіраллю Архімеда (Рис. 1).

Розігнемо навантажену зовнішньою силою частину утвореного канатом тіла горизонтальною площиною ($a=0$). В результаті отримаємо систему тросів, що взаємодіють через гумову оболонку. Сформулюємо умови сумісності деформування усіх утворених частин канату:

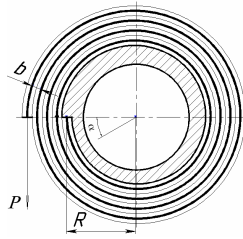


Рис. 1. Канат намотаний в декілька шарів.

$$\begin{aligned}
 i=1 \quad p(1, \alpha = 2\pi) &= P, \\
 1 < i < M \quad \begin{cases} u(i, \alpha = 2\pi) = u(i+1, \alpha = 0), \\ p(i, \alpha = 2\pi) = p(i+1, \alpha = 0), \end{cases} & (1) \\
 i = M \quad u(M, \alpha = 0) &= 0.
 \end{aligned}$$

Виріжемо з канату відрізок троса довжиною dx з прилеглою гумою.

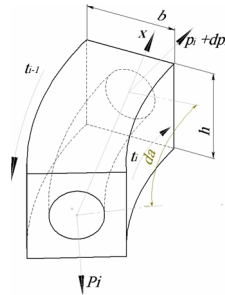


Рис. 2. Відрізок троса довжиною dx з прилеглою гумою.

Складемо умови рівноваги відрізка троса в проекції на вісь x .

$$dp_i - da h [(R + bi)t_{i-1} - (R + b(i-1))t_i] = 0 \quad (2)$$

Дотичні напруження відповідно до закону Гука:

$$t_i = \frac{Gk_G}{b-d}(u_{i+1} - u_i), \quad (3)$$

де k_G - коефіцієнт, що враховує форму гуми, розташованої поміж тросами.

З урахуванням закону Гука вираз (2) має вигляд:

$$\begin{aligned}
 dp_i - da h \frac{Gk_G}{b-d} [(R + bi)(u_i - u_{i-1}) - \\
 - (R + b(i-1))(u_{i+1} - u_i)] = 0 \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dp_i - da h \frac{Gk_G(R + bi)}{b-d} [-u_{i-1} + 2u_i - \\
 - u_i \frac{b}{(R + bi)} - u_{i+1} + u_{i+1} \frac{b}{(R + bi)}] = 0
 \end{aligned}$$

Величина $\frac{b}{(R + bi)}$ мала відносно одиниці. Нею знехтуємо. Тоді залежність (4) отримає вигляд:

$$\frac{dp_i}{da(R + bi)} - h \frac{Gk_G}{b-d} [-u_{i-1} + 2u_i - u_{i+1}] = 0 \quad (5)$$

Подамо суму $R + bi$ у вигляді:

$$R + \frac{b}{2}M - b\left(\frac{M}{2} - i\right)$$

В такій формі запису сума двох перших складових являє собою середній діаметр тіла намотаного канату. Знехтуємо останнім членом цього виразу, запишемо останню залежність в формі:

$$\frac{dP_i}{dx} + h \frac{Gk_G}{b-d} [u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}] = 0 \quad (6)$$

Така форма рівняння рівноваги відповідає прийняттю форми троса не у вигляді спіралі Архімеда, а в формі гвинтової, коли троси взаємодіють через гумову оболонку.

З урахуванням закону Гука:

$$p_i = EF \cdot \frac{du_i}{dx}, \quad (7)$$

де EF - поздовжня жорсткість тросами.

Рівняння (6) запишемо у наступному вигляді:

$$\frac{d^2u_i}{dx^2} + \frac{G h k_G}{EF(b-d)} (u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}) = 0 \quad (8)$$

Відзначимо, отримане рівняння прийнятне для всіх тросів, за винятком крайніх, тобто за умови, що $1 < i < M$.

Для першого (зовнішнього) троса відповідне рівняння має вигляд:

$$\frac{d^2u_1}{dx^2} + \frac{G h k_G}{(b-d)EF} (u_2 - u_1) = 0. \quad (9)$$

Для M -того – ближнього до барабана, умовно нерухомого шару, має місце наступна залежність:

$$u_M + u_{M-1} = 0 \quad (10)$$

Будемо розглядати номер троса як дискретну координату. З урахуванням характеру деформування крайніх тросів приймемо загальний розв'язок системи рівнянь у формі:

$$u_i = \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) \times \quad (11)$$

$$\times \cos\left(\frac{\pi(2m-1)}{2M}(i-0,5)\right) + ax + c,$$

де A_m, B_m, a, c - сталі інтегрування;

$$\beta_m = \sqrt{2 \frac{G h k_G}{(b-d)EF} \left(1 - \cos \frac{\pi(2m-1)}{2M}\right)}$$

Відповідно, зусилля розтягу тросів, з урахуванням закону Гука:

$$p_i = \left[\sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x}) e^{\beta_m x} \times \quad (12)$$

$$\times \cos\left(\frac{\pi(2m-1)}{2M}(i-0,5)\right) + a \right] EF.$$

Різниця відносних переміщень суміжних тросів призводить до появи дотичних напружень, які визначимо застосувавши закон Гука (3):

$$t_i = \frac{Gk_G}{b-d} \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) \times \left[\cos\left(\frac{\pi(2m-1)}{2M}(i+0,5)\right) - \cos\left(\frac{\pi(2m-1)}{2M}(i-0,5)\right) \right] \quad (13)$$

Показник β_m передає властивості каната. Він в залежностях (11) - (13) є співмножником зі значенням координати на осі x . Це означає, що властивості канату впливають на довжини, на яких реалізуються основні закономірності розподілу сил та деформацій. А загальний характер розподілу реалізується в усіх випадках.

Невідомі сталі визначимо з системи алгебраїчних рівнянь, отриманих з використанням граничних умов навантаження і закріплення канату та умов сумісності деформування його шарів (1). На рисунку 3 показано результати визначення розподілу сил, деформацій та дотичних напружень, що мають місце при намотуванні канату в декілька шарів. Механічні параметри канату відповідають канату типу ГТК-3150 загальною товщиною 20мм. Кількість шарів M прийнято рівним п'яти. Середній радіус бобіни $R=4$ м. До тросу прикладене зовнішнє зусилля $P=1$ Н. На рисунку 4 ці величини показані для усього тросу як цілого елемента.

З рисунків (3), (4) видно, що зусилля в тросах як і їх деформації в кожному шарі залежать від кута розташування перерізу, в якому визначається величина. Локальних максимальних значень зусилля набувають в перерізах набігання канату на бобіну. Зусилля розтягу троса в кожному з шарів змінюють свій знак на протилежний.

Розглянемо вплив радіуса бобіни на характер розподілу внутрішніх сил в тросі. На рисунку 5 зображений розподіл внутрішніх зусиль в тросі канату намотаного у вигляді бобіни з середнім радіусом 1м.

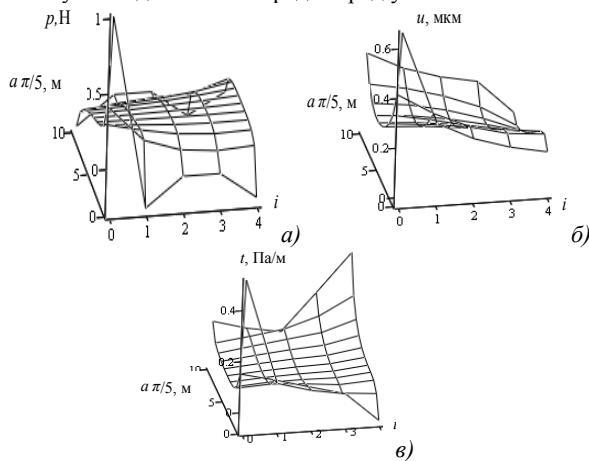


Рис. 3. Розподіл сил p (а), деформацій u (б) та дотичних напружень (в) інтенсивності t розподілених в шарах канату на куті α .

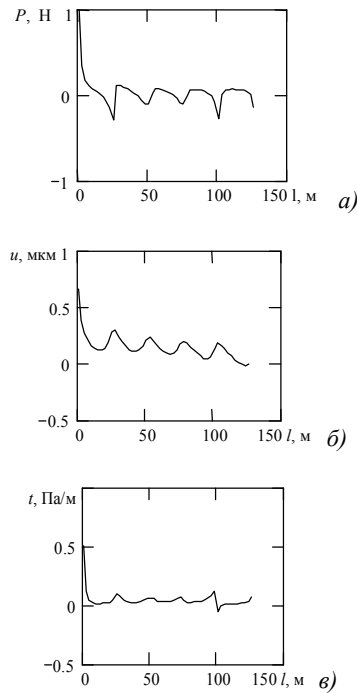


Рис. 4 Розподіл внутрішніх сил p (а), деформацій u (б) та дотичних напружень інтенсивності t , розподілених вздовж тросу l канату намотаного в бобіну.

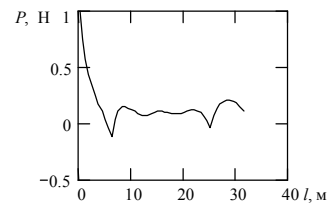


Рис. 5. Розподіл внутрішніх сил p в тросі канату намотаного у вигляді бобіни з середнім радіусом 1м.

Графік (рис. 5) показує, що при багатошаровому намотуванні плоского канату теоретично має місце зміна знаку внутрішнього зусилля його розтягу. Тиск канату на попередній шар залежить від радіусу згину канату і сили його натягнення. Від'ємна сила розтягу канату має створювати від'ємний поміж шарів тиск. Шари в тілі намотки механічно не з'єднані і тиск може лише зменшуватися до нуля. До нуля зменшиться і сила тертя одного шару по іншому і створяться умови їх ковзання. Відповідно і втрати форми всього тіла намотки. В процесі намотки точка набігання канату постійно пересувається (в нашому випадку обертається навколо осі). Разом з перерізом набігання канату повертається і зона можливого ковзання одного шару по іншому.

Висновки

При багатошаровому намотуванні плоского канату має місце зменшення величини сили розтягу канату, відповідно і його тиску на попередній шар до нуля. Це створює умови ковзання окремих ланок канату по попередньому шару. Відповідно і втрати форми всього тіла намотки. В процесі намотки точка набігання канату

постійно пересувається (в нашому випадку обертається навколо осі), разом з перерізом набігання канату повертається і зона можливого ковзання одного шару по іншому.

Можливість втрати форми треба враховувати при проектуванні підйомної машини з бобінним органом намотки.

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.
2. Лубинець О.М., Бельмас І.В. Дослідження умов ковзання окремих шарів в багат шаровому тілі намотки // Математичне моделювання, 2011. - №2 (25). – С.32-34.

пост. 28.04.12

Математическое моделирование процесса плавления кусковых материалов на границе шлак-металл

АНДРИЕВСКИЙ Г.А., ПАВЛЮЧЕНКОВ И.А., ПИПТЮК В.П., БАБЕНКО М.В.,
ВЛАСЕНКО И.В.*

Днепропетровский государственный технический университет,
Институт чёрной металлургии НАНУ*

Разработан алгоритм расчета двумерной задачи плавления легкоплавких и тугоплавких материалов сферической формы на основе разностного метода Дюзимбера.

Розроблено алгоритм розрахунку двомірної задачі плавлення легкоплавких та тугоплавких матеріалів сферичної форми на основі різницевого методу Дюзімбера.

The algorithm of calculation of twomeasure task of melting of fusible and refractory materials of spherical form is developed on the basis of difference method of Dyuzimber.

Ввод кусковых материалов (добавок) различного химического и гранулометрического состава в жидкую сталь в сталеразливочный ковш на выпуске плавки или при обработке на установке ковш-печь является эффективной ресурсосберегающей технологией внепечного раскисления, рафинирования, микролегирования и доводки стали по химическому составу. Применяемые в настоящее время режимы ввода кусковых добавок в расплав не всегда сопровождаются их прогнозируемым плавлением в глубине расплава и равномерным распределением в объеме ванны. В ряде случаев ввод кусковых добавок сопровождается выносом последних в шлаковый покров на поверхности металла, что может приводить к неэффективному использованию дорогостоящих материалов и неоднородности химического состава металла. Процессы кинетики плавления добавок в указанных условиях на сегодняшний день не достаточно изучены. Поэтому задачи исследования тепло-, массообменных процессов при плавлении и усвоении добавок в условиях их протекания на границе шлак-металл в сталеразливочном ковше при внепечной обработке металла являются актуальными для современной металлургической практики.

В работе рассматривается случай, когда добавка частично погружена в расплав стали, а частично находится в шлаке (рис.1). Ранее авторами работы разработан алгоритм расчета двумерной задачи плавления

тугоплавких материалов цилиндрической формы на основе разностного метода Дюзимбера [1]. В предлагаемой работе разработан алгоритм расчета двумерной задачи плавления легкоплавких и тугоплавких материалов сферической формы также на основе аналогичного метода.

Плавление легкоплавкой сферы

Рассмотрим процесс плавления кусковой добавки сферической формы из легкоплавкого материала, расположенного на границе шлак-металл. Принимаем, что температуры жидкого металла $t_{жс}$ и жидкого шлака $t_{ш}$ выше температуры плавления сферы $t_{пл}$. На верхней поверхности сферы, находящейся в расплаве шлака ($0 < \vartheta < \vartheta_0$), происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{ш}$. На остальной поверхности сферы ($\vartheta_0 < \vartheta < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким металлом с заданным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{жс}$. Между намерзшими оболочками металла, шлака и поверхностью сферы существует идеальный тепловой контакт, т.е. заданы граничные условия IV рода.