

Туркеничева Л. А., Бреславцева И. В.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАТЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КАНАТА**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2009/6/62.html](http://www.gramota.net/materials/1/2009/6/62.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2009. № 6 (25). С. 203-205. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2009/6/](http://www.gramota.net/materials/1/2009/6/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

Выбирая в качестве  $\varepsilon = \frac{1}{n^{3/4}}$ , находим

$$\alpha_n(p) = \frac{O(1)}{n} \int_{\varepsilon}^{\pi-\varepsilon} f(\alpha) \operatorname{ctg} \alpha (\pi - \alpha) d\alpha + O\left(\frac{\ln n}{n^{3/2}}\right).$$

Третья поправка теории возмущений

$$\beta_n(p) = \frac{1}{2\pi i} \frac{1}{3} \operatorname{Sp} \left[ \int_{l_n} - \int_{l_{n-1}} \left[ P(T - \lambda E)^{-1} \right]^3 d\lambda = 0. \right.$$

### Основные теоремы

**Теорема 1.** Если  $p$  - потенциал, удовлетворяющий условию Липшица по двум переменным, то для собственных чисел оператора  $T+P$  верно равенство

$$\sum_{i=0}^{2n} \mu_{n,i} - n(n+1)(2n+1) + \frac{1}{4\pi^2 n} \int_{\varepsilon}^{\pi-\varepsilon} f(\alpha) \operatorname{ctg} \alpha (\pi - \alpha) d\alpha = O\left(\frac{\ln n}{n^{3/2}}\right)$$

**Теорема 2.** Первый регуляризованный след оператора Лапласа-Бохнера с комплексным потенциалом удовлетворяющем условию Липшица имеет вид

$$\sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \sum_{i=0}^{2n} \mu_{n,i} - n(n+1)(2n+1) \right\} = -\frac{1}{4\pi} \iint_{\Phi} p^2(\theta, \phi) \sin \theta d\phi d\theta.$$

Причем ряд по  $k$  сходится абсолютно.

Таким образом, вычислен регуляризованный след оператора Лапласа-Бохнера в случае негладкого потенциала, а именно, когда потенциал удовлетворяет условию Липшица.

### Список использованной литературы

1. Дубровский В. В., Торшина О. А. Проблема решения задач на собственные значения для дифференциальных операторов со сложным вхождением спектрального параметра // Новые мат. методы. Электромагнитные волны и электронные системы. 2002. № 9. Т. 7. С. 4-10.

2. Торшина О. А. Формула первого регуляризованного следа оператора Лапласа-Бельтрами с негладким потенциалом на проективной плоскости // Дифференциальные уравнения и их приложения. Самара, 2006. С. 32-40.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАТЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КАНАТА

Туркеничева Л. А., Бреславцева И. В.

Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ)

В многослойных канатах, широко используемых в настоящее время в промышленности, неравномерное технологическое натяжение проволок и прядей оказывает большое влияние на процесс формирования каната. Величина технологического натяжения проволок должна иметь заданную величину, для обеспечения плотной свивки каната.

В процессе изготовления каната его проволоки подвергаются действию внешних нагрузок, прикладываемых со стороны сигары (ротора) и натяжных устройств канатовьюющей машины. В результате они подвергаются упруго-пластическим деформациям, под действием которых, проволоки и пряди приобретают форму винтовой линии. Момент  $\bar{M}_i$ , действующий на элементы каната в векторной форме, может быть записан следующим образом [1]:

$$\bar{M}_i = \bar{M}_{P_i} + \bar{M}_{C_i} + \bar{M}_{T_i} \quad (1)$$

где  $\bar{M}_{P_i}$  - вектор момента, действующего на проволоку со стороны ротора;

$\bar{M}_{C_i}$  - вектор момента сил сопротивления плашки;

$\bar{M}_{T_i}$  - вектор момента сил технологического натяжения.

При работе канатовьюющей машины величина  $\bar{M}_i$  для каждой проволоки (пряди) может быть различна. Если составляющие  $\bar{M}_{P_i}$  и  $\bar{M}_{C_i}$  главного момента имеют относительно стабильные значения, то моменты, создаваемые силами технологического натяжения  $\bar{M}_{T_i}$  могут измениться в широких пределах. Изменение момента, прикладываемого к каждой проволоки вызовет их деформации, а, следовательно, и разную длину проволок в канате.

После свивки в канате возникает момент упругой отдачи. При разгрузке внутренние силы в проволоках убывают с уменьшением упругих деформаций. В упругой зоне процесс разгрузки должен протекать без сохранения остаточных деформаций. Однако наличие зоны пластических деформаций приво-

дит к тому, что части упругого ядра, взаимодействуют с частями пластической зоны и деформируют их в направлении, обратном первичной деформации. При этом в пластической области возникают внутренние силы упругости, уравнивающие силовое воздействие упругой области. В этом случае, процесс разгрузки каната приводит к появлению остаточных напряжений в материале проволок.

При выходе каната после свивки из плашек на его элементы не действует нормальная распределённая нагрузка  $qn$ . Происходит процесс разгрузки, который сопровождается изменением размеров и параметров свивки каната, так как проволоки имеют возможность перемещаться в плашках. Деформации элементов канатов вследствие упругой отдачи зависят от величины их технологического натяжения. Если величина технологического натяжения незначительна, то, как показывают опыты, канат получается неплотной свивки с большими зазорами между свиваемыми элементами, и долговечность такого каната в эксплуатации будет небольшой [2; 3].

Схема деформации проволоки представлена на Рисунке 1. Если технологическое натяжение равно нулю, то при выходе каната из плашек вследствие упругой отдачи проволоки конец отрезка  $B$  длины дуги  $dl$  переместится в точку  $B'$ , вследствие увеличения радиуса каната на величину  $dR$  и изменения центрального угла  $d\varphi$  на величину  $d\tau$  от кручения каната.

До деформации каната проекции винтовой линии на оси  $X$  и  $Y$  будут равны:  $dl \cdot \cos \alpha = dX, dl \cdot \sin \alpha = R d\varphi$ .

После деформации каната:  $dl \cdot \cos \alpha_1 = dX - dU$ ;  $dl \cdot \sin \alpha_1 = (R + dR) \cdot (d\varphi + d\tau)$ , где  $\alpha_1$  - угол свивки каната после выхода из плашек;  $d\tau$  - упругое крутильное перемещение проволоки;  $dU$  - продольное перемещение проволоки.

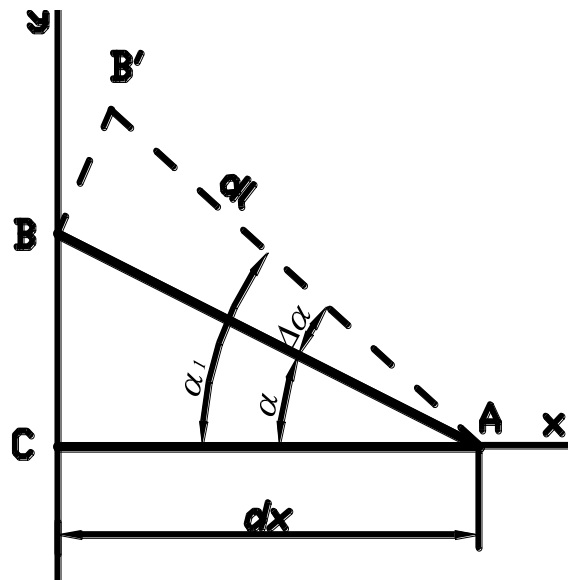


Рис. 1. Выбор системы координат

Для изготовления канатов с заданными параметрами и плотной свивкой необходимо задать такое технологическое натяжение элементам, чтобы компенсировать момент упругой отдачи, возникающий при выходе каната из плашек. В этом случае не будет происходить изменение деформаций проволок.

В соответствии с теорией малых упругопластических деформаций разработан метод определения величины технологического натяжения элементов многослойного спирального каната [4].

Если канат свивается «без открутки», технологическое натяжение проволок определяется по формуле:

$$T = - \int_0^{\Delta k} \frac{(E \cdot J + G \cdot J_p \cdot \operatorname{ctg}(2 \cdot \alpha)) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \alpha + \rightarrow}{R \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \alpha} \rightarrow \rightarrow + h \cdot Q_n \cdot f \cdot R \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha) d\kappa + C_u \quad (2)$$

где  $J$  - осевой момент инерции сечения проволоки;  $J_p$  - полярный момент инерции проволоки;  $E$  - модуль упругости I рода;  $G$  - модуль упругости II рода;  $R$  - радиус свивки каната;  $Q_n$  - поперечная жесткость;  $f$  - коэффициент трения скольжения;  $h$  - шаг свивки каната. Знак минус в формуле показывает, что увеличение натяжения  $T$  приводит к уменьшению кривизны проволоки в канате.

Верхний предел интегрирования  $\Delta k$  можно определить с учетом величины изгибающего момента  $Lb$ .

$$\Delta k = \frac{L_b}{E \cdot J} \quad (3)$$

Изгибающий момент в проволоке каната определяется по формуле (1):

$$Lb = [EJ + E1J + E\lambda A] \times \kappa \quad (4)$$

где:  $E1$  - модуль упрочнения;

$\kappa$  - кривизна винтовой линии проволоки;

$$\lambda = 1 - \frac{E_1}{E} A = \int_0^F \frac{Y^2 dF}{\sqrt{Z^2 + \frac{Y^2}{b^2}}};$$

В случае если канатовьюющие машины снабжены механизмом открутки, сообщающей проволокам каната кручение, обратное кручению их винтовых линий, то

$$T = \int_0^{\Delta k} \frac{(2 \cdot \pi \cdot E \cdot J \cdot \cos \alpha \cdot \sin^2(2 \cdot \alpha) - \rightarrow}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin^2(2 \cdot \alpha)} \rightarrow \rightarrow -h \cdot Q_{II} \cdot R \cdot \cos \alpha \cdot (f \cdot \sin(2 \cdot \alpha) + 4)) \cdot dk + C_u \quad (5)$$

Полученные формулы (2) и (5) дают возможность определить величину технологического натяжения  $T$ , обеспечивающую плотную свивку без радиальных и тангенциальных зазоров, не предусмотренных конструкцией каната.

Все положения определяющие характер взаимодействия проволок сохраняются при рассмотрении процесса формирования многослойного спирального каната. Разница заключается в том, что под действием натяжения в многослойном спиральном канате проволоки подвергаются упругопластическим деформациям изгиба и кручения, а при изгибе и кручении прядей, их проволоки подвергаются деформациям изгиба и растяжения.

При свивке каната с включенным механизмом открутки  $Lt = 0$ .

Если канат свивается «без открутки», технологическое натяжение прядей определяется по формуле:

$$T = \int_0^{\Delta k} \frac{(2 \cdot \pi \cdot \sum E \cdot J \cdot \cos \beta \cdot \sin^2(2 \cdot \beta) - \rightarrow}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin^2(2 \cdot \beta)} \rightarrow \rightarrow -h \cdot Q_{II} \cdot R \cdot \cos \beta \cdot (f \cdot \sin(2 \cdot \beta) + 4)) \cdot dk + C_u \quad (6)$$

Изменение кривизны  $\Delta k$  определяется из выражения (3), с учетом технологического изгибающего момента пряди.

Таким образом, полученная формула (6) дает возможность определить оптимальную величину технологического натяжения прядей многослойных спиральных канатов.

Для многослойных спиральных канатов технологическое натяжение должно определяться с учетом технологических моментов проволок прядей в каждом слое. В этом случае технологическое натяжение проволок будет равномерным по слоям, но должно иметь разное значение для каждого слоя проволоки.

Разработанный метод имеет важное практическое значение, так как позволяет выбрать рациональные технологические параметры и настройку натяжных устройств канатовьюющих машин.

#### Список использованной литературы

1. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты. Киев: Техника, 1966.
2. Научные основы рационального проектирования и эксплуатации элементов подъемного оборудования / под ред. П. П. Нестерова. Киев: Техника; Наук. думка, 1978. 203 с.
3. Нестеров П. П., Абакумов В. И. Влияние натяжения на усталостную прочность канатной проволоки // Подъемно-транспортное оборудование. Киев: Техника, 1975. Вып. 6. С. 52-54.
4. Туркеничева Л. А. Разработка метода определения величины технологического натяжения для проволок // Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением: сб. тезисов междунард. науч.-техн. конф. СПб.: БГТУ, 2005. С. 117-120.