

РОПАЙ Валерий
БЕЛЬМАС Иван

Днепродзерж. индустриальный институт

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗИНОТРОСОВОЙ ЛЕНТЫ ТРАНСПОРТЕРНОГО КОНВЕЙЕРА

Резюме. Рассмотрена задача о распределении усилий продольного натяжения тросов резинотросовой ленты горизонтального транспортного конвейера при переменной по ширине ленты интенсивности насыпного груза. Для резинотросовой ленты, состоящей из n тросов, получена система $2n$ дифференциальных уравнений четвертого порядка, списывающих растяжение и плоский изгиб тросов с учетом деформации сдвига резины между тросами.

Методом конечных разностей система дифференциальных уравнений сводилась к нелинейной системе алгебраических уравнений, которая решалась методом Зейделя.

Для конкретной конструкции резинотросовой ленты с числом тросов 120 оценено перераспределение усилий в тросах ленты.

Разработанный метод расчета усилий в тросах может быть использован для ленты и компоновки элементов конструкции конвейера.

Область применения резинотросовых лент в горнодобывающей промышленности постоянно расширяется. В последние годы резинотросовые ленты используют в качестве уравновешивающих канатов скиповых подъемов горнорудных шахт и в качестве тягового грузонесущего органа на ленточных конвейерах. Имеющиеся немногочисленные исследования напряженного состояния резинотросовых лент [1], [2], [3] посвящены изучению перераспределения усилий натяжения тросов ленты при осевом ее растяжении в случаях порывов нескольких тросов в одном сечении ленты, что может иметь место при работе ленты в качестве уравновешивающего каната.

На конвейерах на ленту действует осевая продольная нагрузка привода и поперечная нагрузка насыпного груза, причем интенсивность этой нагрузки переменна по ширине ленты. В нормативных документах закладывается коэффициент запаса прочности 8,5 для расчета среднего продольного натяжения троса по известному разрывному усилию. В данной статье выводится дифференциальные уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние резинотросовой ленты конвейера и оценивается влияние неравномерности расположения по ширине ленты транспортируемого материала на перераспределение усилий в тросах.

На рис. 1 представлена расчетная схема задачи. Начало отсчета выбрано на роликовой опоре. Лента содержит n тросов. Учитывая, что модули упругости при растяжении троса и резины отличаются на четыре порядка, можно считать,

что в основном тросы в резиностросовой ленте воспринимают нагрузку, а перераспределение ее между ними происходит лишь за счет сдвиговых деформаций резины между смежными тросами.

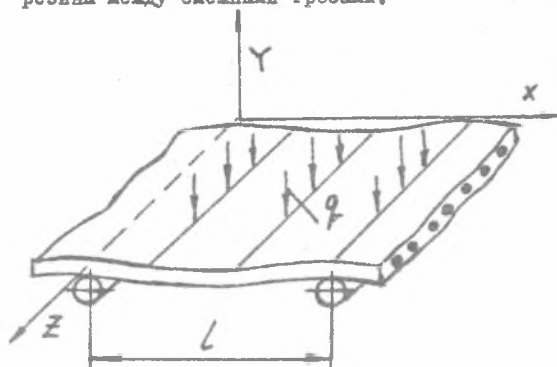


Рис. 1. Расчетная схема

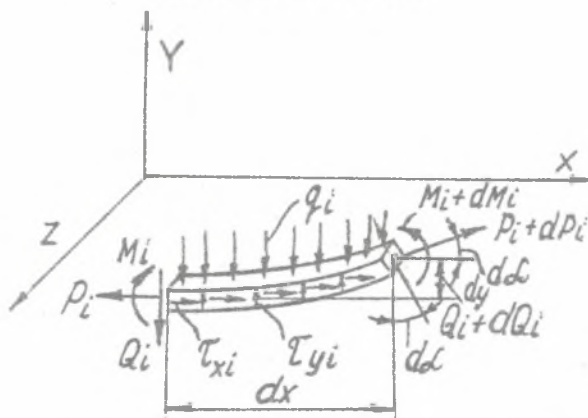


Рис. 2. Нагруженное состояние элемента троса

половина длины окружности поперечного сечения троса. Касательные напряжения на торцах ленты равны нулю.

С учетом деформаций изгиба продольное усилие в сечении троса определяется зависимостью:

$$P_1 = EF \left(\frac{du_1}{dx} + \frac{1}{2} \left(\frac{dy_1}{dx} \right)^2 \right) \quad (3)$$

где EF — продольная жесткость троса.

Изгибающий момент в поперечном сечении троса

$$M_1 = EJ \frac{d^2 y_1}{dx^2} \quad (4)$$

где EJ — жесткость троса на изгиб.

Вырезаем элемент ленты длиной dx с учетом растяжения и изгиба элемента составим условия равновесия элемента каждого троса. Нагрузки и усилия, действующие на элемент i -го троса показаны на рис. 2. Обозначено: M_1 , Q_1 , P_1 — соответственно изгибающий момент, поперечная и продольная сила в сечении троса, u_1 , y_1 — продольное и поперечное смещение элемента i -го троса, q_1 — интенсивность внешней поперечной нагрузки, приходящейся на i -ый трос; τ_{x1} , τ_{y1} — касательные напряжения в резине между i -м и $i+1$ -м тросами вследствие их продольного и поперечного относительных смещений

$$\tau_{x1} = G \left(\frac{u_{i+1} - u_i}{h} \right), \quad (1)$$

$$\tau_{y1} = G \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_1} \right), \quad (2)$$

где G — модуль упругости при сдвиге резины, h — расстояние между тросами в ленте, h_1 —

Условия равновесия элемента троса имеют вид:

$$dP_1 + (\tau_{x1} - \tau_{x1-1})h, dx - dQ_1 y'_1 = 0, \tag{5}$$

$$-q_1 dx + (\tau_{y1} - \tau_{y1-1})h, dx + dQ_1 + dP_1 y'_1 = 0, \tag{6}$$

$$dM_1 = -Q_1 dx. \tag{7}$$

Уравнения (5) и (6) с учетом остальных представленных зависимостей позволяют получить систему 2n дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} u''_1 + \alpha(u_2 - u_1) &= -y'_1 y''_1 + \beta y'_1 y_1^{IV}, \\ y_1^{IV} - \gamma(y_2 - y_1) &= \frac{q_1}{EJ} + \frac{1}{\beta} u''_1 y_1'' + \frac{1}{\beta} (y'_1)^2 y_1'', \\ &\dots \\ &\dots \\ u''_1 + \alpha(u_{i+1} - 2u_1 + u_{i-1}) &= -y'_1 y''_1 - \beta y'_1 y_1^{IV}, \\ y_1^{IV} - \gamma(y_{i+1} - 2y_1 + y_{i-1}) &= \frac{q_1}{EJ} + \frac{1}{\beta} u''_1 y_1' + \frac{1}{\beta} (y'_1)^2 y_1'', \\ &\dots \\ &\dots \\ u''_n - \alpha(u_n - u_{n-1}) &= -y'_n y''_n - \beta y'_n y_n^{IV}, \\ y_n^{IV} + \gamma(y_n - y_{n-1}) &= \frac{q_n}{EJ} + \frac{1}{\beta} u''_n y_n' + \frac{1}{\beta} (y'_n)^2 y_n'' \end{aligned} \tag{8}$$

где обозначено: $\alpha = \frac{Gh_1}{EFh}$, $\beta = \frac{EJ}{EF}$, $\gamma = \frac{Gh_1}{EJh}$.

При рассмотрении деформации одного пролета ленты между роликowymi опорами длиной l можно принять следующие граничные условия:

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0 \quad u_1 &= \text{const}, \quad y_1 = 0, \\ &\quad y_1 = 0, \\ \text{при } x = \frac{l}{2} \quad u_1 &= 0, \quad y_1' = 0, \\ &\quad y_1''' = 0. \end{aligned} \tag{9}$$

Граничные условия можно пояснить следующим образом. Над роликовой опорой (в начале координат) поперечное сечение ленты не искривляется в горизонтальной плоскости хz не имеет прогибов и поворотов в вертикальной плоскости ху. Система уравнений (8) связывает координаты u_1 и y_1 , поэтому, задавая одна-

ковые продольные перемещения сечения над опорой, можно моделировать величину предварительного продольного натяжения ленты.

Граничные условия при $x = \frac{l}{2}$ предполагают, что интенсивность внешней распределенной нагрузки, действующей на i -тый $q_i = \text{const}$ по длине пролета, а следовательно, прогиб и изгибающий момент в этом сечении будут максимальными.

Для конкретной конструкции ленты РТЛ-7000 с числом тросов $n = 120$, натянутой продольным усилием $12 \cdot 10^2$ кН, при шаге установки роликов $l = 1$ м, исследовалось перераспределение продольных усилий в тросах вследствие неравномерности интенсивности внешней нагрузки по ширине ленты. Принималось, что

$$q_i = 14 \text{ н/м для крайних тросов } i \leq 20 \text{ и } i \geq 100$$

$$q_i = 14 + 100 \sin \frac{(i-20)\pi}{n} \text{ для средних тросов } 20 < i < 100.$$

то есть нагрузка, действующая на средний трос в $\frac{100}{14} = 7,15$ раза больше нагрузки, прикладываемой к крайним тросам.

Лента армирована тросами диаметром 1,29 см, расположенных с шагом $h = 1,9$ см. Принимались следующие значения параметров резины и тросов:

$$G = 3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2, \quad EF = 6,25 \cdot 10^6 \text{ Н}, \quad EJ = 150 \text{ Нм}^2.$$

Величину изгибной жесткости натянутого троса EJ получили пересчетом по изгибной жесткости троса диаметром 0,825 см, определенной экспериментально [4], пользуясь соотношением

$$EJ_1/EJ_2 = d_1^4/d_2^4.$$

Коэффициенты уравнений (8) при этих данных принимают значения $\alpha = 0,5 \text{ м}^{-2}$, $\beta = 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, $\gamma = 2 \cdot 10^4 \text{ м}^{-4}$. Ввиду симметрии нагрузки, действующей на пролет ленты между опорами, достаточно рассмотреть четвертую часть ленты между роликовыми опорами — половину ленты по ширине и половину по длине пролета.

Решение задачи выполнялось численным методом. Система дифференциальных уравнений (8) приводилась методом конечных разностей к системе нелинейных алгебраических уравнений, которая решалась методом Зейделя [5]. Для каждого i -го троса длиной $\frac{l}{2} = 0,5$ м прогиб и продольное перемещение определялись в 10 точках. Параметр α изменяли от 0 до реального значения, обеспечивая условие сходимости решения, по найденным смещениям тросов в сечении $x = \frac{l}{2}$ определялись продольные усилия P_i (3).

Для оценки неравномерности нагружения введен коэффициент неравномерности

$$K_1 = \frac{P_1}{P_{\text{cp}}}$$

где $P_{\text{ср}}$ - среднее усилие в тросах ленты, равное

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i.$$

В результате решения установлено, что неравномерность интенсивности по ширине ленты внешней нагрузки несущественно сказывается на перераспределении усилий в тросах. На рис. 3 представлены зависимости коэффициентов пе-

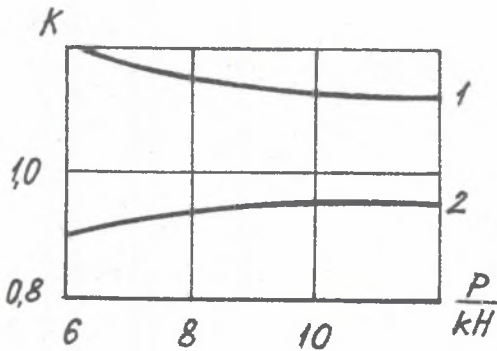


Рис. 3. Зависимость коэффициента перераспределения от величины среднего натяжения тросов

1 - для среднего троса ленты, 2 - для крайних тросов ленты

регрузки для среднего (кривая 1) и крайнего (кривая 2) тросов в зависимости от величины среднего натяжения. Для остальных тросов по ширине ленты перераспределение нагрузки будет определяться кривыми расположенными в зоне между крайними кривыми 1 и 2. Перераспределение усилий между тросами более существенно при меньшем натяжении ленты, а при натяжении $P_{\text{ср}} = 10$ кН, что соответствует запасу прочности 8,5, наиболее нагруженный средний трос ленты будет иметь натяжение, превышающее среднее в $K = 1,12$ раза, а в крайних тросах натяжение будет равно $0,95 P_{\text{ср}}$.

Полученные результаты показывают, что тросы в ленте деформируются не как отдельно взятые, а как элементы единой конструкции и резиновая связь существенно влияет на их взаимодействие.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Колосов Л.В., Обухов А.Н., Ропай В.А.: Исследование напряженно-деформированного состояния резинотросовых лент при повреждении тросовой основы. Изв. вузов. Горный журнал, № 1, сс. 48-53.
- [2] Колосов Л.В., Ропай В.А.: Экспериментальные исследования напряженного состояния тросов резино-тросовой ленты. В кн. Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 1981, вып. 7. сс. 48-52.
- [3] Колосов Л.В., Бельмас И.В.: Анализ напряженно-деформированного состояния стыковых соединений резинотросовых лент. В кн. Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 1981, вып. 7, сс. 87-91.
- [4] Ропай В.А., Бельмас И.В.: Экспериментальное определение изгибной жесткости троса в зависимости от его осевого натяжения. Изв. вузов Горный журнал, 1988, № 12, сс. 73-76.
- [5] Кори Г., Кори Т.: Справочник по математике. М. Наука, 1977, с. 832.

BADANIE STANU NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCZEŃ GUMOWO-LINOWYCH
TAŚM PRZENOŚNIKOWYCH

S t r e e z z e n i e

Rozpatrzono zagadnienie rodzaju naprężenia linek taśm gumowo-linowych w przenośniku poziomym przy zmiennej na szerokości taśmy intensywności obciążenia urobkiem. Dla taśmy gumowo-linowej złożonej z n linek, otrzymano układ $2n$ równań różniczkowych czwartego rzędu, opisujących rozciąganie i płaskie zginanie linek z uwzględnieniem deformacji przemieszczenia gumy między linkami.

Metodę różnic skończonych układ równań różniczkowych sprowadzono do układu nieliniowego równań algebraicznych, który rozwiązano metodą Zeidla.

Dla konkretnej konstrukcji taśmy gumowo-linowej o liczbie linek 10 oceniono rozkład sił w linkach taśmy.

Opracowana metoda obliczania sił w linkach może być wykorzystana do uzasadnienia wyboru typu taśmy i rozplanowania elementów konstrukcji przenośnika.

INVESTIGATIONS OF THE STATE OF STRESS AND DEFORMATIONS
OF RUBBER-LINEAR CONVEYOR BELTS

S u m m a r y

The problem of the type of stress of cords of rubber-linear belts in a horizontal conveyor at a variable on the width of a belt intensity of loading by the output is considered in the paper. For a rubber-linear belts consisting of n cords a system $2n$ differential equations of fourth order has been obtained. The system describes stretching and flat bending of cords and takes into account deformations of rubber displacement between cords.

Using the method of finite differences the system of differential equations is simplified to a non-linear system of algebraic equations which is solved with the help of Zeidl method.

For the given construction of a rubber-linear belt of 10 cords the distribution of forces in cords is estimated.

The worked out method of computing forces in cords can be used for justifying the choice of a belt type and the placement of constructional elements of a conveyor.