© В.Г. Дмитриев, В.В. Асаенко, 2011

УДК 621.867.2

В.Г. Дмитриев, В.В. Асаенко

ХАРАКТЕР НАГРУЖЕНИЯ ОБЕЧАЙКИ ПРИВОДНОГО БАРАБАНА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ СЦЕПЛЕНИЯ ЛЕНТЫ С ЕГО ПОВЕРХНОСТЬЮ

Решена задача по определению нагрузок на обечайку приводного барабана при переменном коэффициенте сцепления ленты с барабаном. Показано, что характер нагружения поверхности барабана, контактирующей с лентой отличается от экспоненциальной зависимости, полученной Л. Эйлером.
Ключевые слова: ленточный конвейер, коэффициент сцепления, приводной барабан.

При расчете долговечности обечайки приводного барабана необходимо располагать её напряженно-деформированным состоянием. Это состояние определяется натяжениями в набегающей и сбегающей ветвях ленты и характером изменения натяжения по дуге обхвата. Так при постоянном коэффициенте сцепления ленты с барабаном μ и полном использовании сил трения по углу обхвата имеем следующее соотношение (формула Эйлера):

$$S_{нб} = S_{сб} e^{\mu\alpha}\text{, Н,} \qquad (1)$$

где $S_{нб}, S_{сб}$ – натяжения в набегающей и сбегающей ветвях ленты, Н; $\alpha_{об}$ – угол обхвата,

или

$$S_{нб}(\alpha) = S_{сб} \exp(\mu\alpha),$$

где α – текущее значение угла α, изменяющееся от 0 до $\alpha_{об}$.

В соответствии с формулой (1) натяжение в ленте по дуге обхвата от $S_{сб}$ до $S_{нб}$ изменяется по экспоненте (рис.1).

Таким же образом по дуге обхвата меняется давление $p(\alpha)$, равное

$$p(\alpha) = \frac{S_{нб}(\alpha) + S_{сб}}{BD} = \frac{S_{сб}}{BD}\left(e^{\mu\alpha} + 1\right)\text{, Па,} \qquad (2)$$

где B – ширина ленты, м; D – диаметр барабана, м.

Однако многочисленными экспериментальными исследованиями показано, что коэффициент сцепления при изменении рабочего давления ленты на барабан изменяется в довольно широких пределах (рис. 2) [1]. В этом случае экспоненциальный характер изменения давления по углу обхвата нарушается, что изменяет напряженно-деформированное состояние обечайки.

Существуют различные способы аппроксимации зависимостей коэффициента сцепления μ от давления p [1]. Наиболее целесообразным представляется способ аппроксимации этой зависимости степенной функцией давления. Исходную кривую зависимости $\mu(p)$ аппроксимируем на интервале рабочих значений давления $[p_1, p_2]$ выражением (рис. 2)

$$\mu(p) = \mu_0 \left(\frac{p}{p_0}\right)^a, \qquad (3)$$

где $\mu_0 = \mu(p_0)$; p_0 – среднегеометрическое давление, зависящее от p_1 и p_2

$p_0 = \sqrt{p_1 p_2}$, Па.

Показатель степени a вычисляется по формуле

$$a = \frac{p_0}{\mu_0}\left[\frac{d\mu(p)}{dp}\right]. \qquad (4)$$

Здесь производная от коэффициента сцепления $\mu(p)$ вычисляется на графике $\mu(p)$ в точке p_0 и представляет собой тангенс угла наклона β касательной в этой точке (рис. 2)

$$tg\beta = \frac{d\mu(p_0)}{dp}.$$

В качестве примера были рассмотрены экспериментальные данные, полученные К. Гриммером и Д. Торманом [1]. При аппроксимации этих данных на различных интервалах изменения давлений p_1 и p_2 и для различных условий влажности и загрязненности получены значения $a = -(0,47 \div 0,53)$, т.е. среднее значение $a = -0,5$, которое и рекомендуется принимать при расчетах нагрузок на обечайку приводного барабана.

В этом случае зависимость коэффициента сцепления конвейерной ленты с обечайкой приводного барабана от давления можно с достаточной точностью принять в виде:

$\mu(p) = K_\mu p^a$,

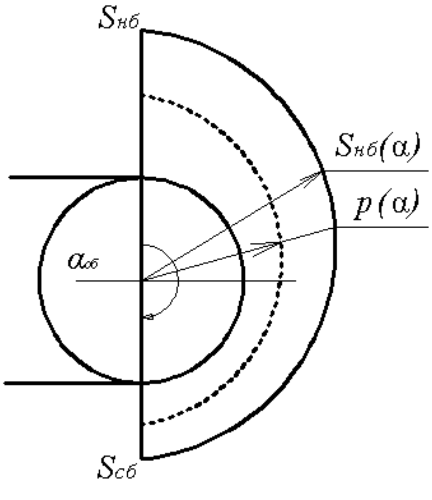

Рис. 1. Характер изменения натяжения и давления по дуге обхвата по Л. Эйлеру

$\mu(p) = \mu_{0э}(p_{0э})^a$,

где коэффициент $p_{0э} = \sqrt{p_{1э} p_{2э}}$, $\mu_{0э}$ – среднегеометрическое давление и коэффициент сцепления, полученные экспериментальным путем.

Если принять значение показателя a=0,5, то при высоких скоростях скольжения ленты по барабану (ω порядка 2,5 см/с), относительная ошибка не превышает 5% при низких давлениях ($p \cong 0,4$ МПа) и 15% при высоких давлениях ($p \cong 1,2$ МПа). При обычных скоростях скольжения ленты ($\omega_{ск} \cong 0,2$ см/с) для современных высокоскоростных конвейеров ($\vartheta_Л = 10$ м/с) ошибка аппроксимации не превышает 1%. Таким образом, с достаточной для техни-

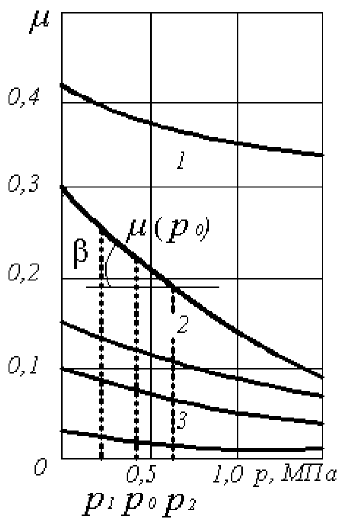

Рис. 2. Зависимость коэффициента сцепления от давления для гладкого стального барабана: 1 - сухой, 2 - влажный, 3 - мокрый с глиной [1]

ческих расчетов точностью можно принять

$$\mu(p) = \mu_0 \left(\frac{p_0}{p} \right)^{0,5}, \qquad (5)$$

где $\mu_0 (p_0)^{0,5} = K_\mu (\omega_{CK})$ – коэффициент, зависящий от скорости скольжения ленты по обечайке барабана;

или в общем виде

$$\mu(p) = \frac{K_\mu (\omega_{CK})}{p^m}, \qquad (6)$$

где m – положительное дробное число.

При принятой зависимости $\mu(p)$ по уравнению (6) дифференциальное уравнение для изменения давления по дуге упругого проскальзывания имеет вид:

$$dp = \mu(p)\, p d\alpha = \frac{K_\mu}{p^m} p d\alpha = K_\mu p^{1-m} d\alpha, \qquad (7)$$

или

$$\int_{p_1}^{p_2} p^{m-1} dp = K_\mu \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} d\alpha\ . \qquad (8)$$

Если принять давление на обечайку в точке набегания ленты на барабан равным $p_{нб\max}$, то для изменения давления по углу обхвата α получим (при m = a = 0,5)

$$p_{нб}(\alpha) = p_{нб\max} - K_\mu (\alpha_{об} - \alpha)\sqrt{p_{нб\max}} + \frac{1}{4} K_\mu^2 (\alpha_{об} - \alpha)^2 . \qquad (9)$$

Таким образом, при принятом переменном коэффициенте сцепления вместо падающей экспоненциальной зависимости давления от угла имеет место квадратичная параболическая зависимость (в общем случае парабола степени $1/m$).

Определим основные параметры давления, используя понятие допустимого среднего давления на дуге обхвата $[p_{ср}]$

$$p_{ср\max} = \frac{1}{\alpha_{об}} \int_0^{\alpha_{об}} p(\alpha) d\alpha\ .$$

Подставляя значение $d\alpha$ из выражения (8), получим

$$p_{ср\max} = -\frac{1}{\alpha_{об}} \int_{p_{нб\max}}^{p_{сб}} p \frac{p^{m-1}}{K_\mu} dp = \frac{1}{K_\mu (m+1)\alpha_{об}} \left(p_{нб\max}^{m+1} - p_{сб}^{m+1} \right) = \left[p_{ср} \right], \qquad (10)$$

где величина $p_{сб}$ определяется из выражения

$$p_{сб} = \sqrt[m]{p_{нб\max}^m - m K_\mu \alpha_{об}}\ . \qquad (11)$$

Таким образом, при произвольном значении коэффициента m имеем для определения давления $p_{нбmax}$ через давление $[p_{ср}]$ систему из двух уравнений (10) и (11). При m = 0,5 эта система принимает вид:

$$\left(p_{нб\max}\right)^{\frac{3}{2}} - p_{сб}^{\frac{3}{2}} = 1,5\left[p_{ср}\right]K_{\mu}\alpha_{об},$$

$$\left(p_{нб\max}\right)^{\frac{1}{2}} - p_{сб}^{\frac{1}{2}} = 0,5K_{\mu}\alpha_{об},$$

откуда максимальное давление в точке набегания и давление в точке сбегания равны:

$$p_{нб\max} = \left(\frac{1}{4}K_{\mu}\alpha_{об} + \sqrt{\left[p_{ср}\right] - \frac{1}{48}K_{\mu}^{2}\alpha_{об}^{2}}\right)^{2}, \quad (12)$$

$$p_{сб} = \left(\sqrt{\left[p_{ср}\right] - \frac{1}{48}K_{\mu}^{2}\alpha_{об}^{2}} - \frac{1}{4}K_{\mu}\alpha_{об}\right)^{2}.$$

Для давления $p(\alpha)$ в зависимости от текущего угла обхвата α имеем следующую формулу:

$$p(\alpha) = \left[\frac{1}{4}K_{\mu}\alpha_{об} + \sqrt{\left[p_{ср}\right] - \frac{1}{48}K_{\mu}^{2}\alpha_{об}^{2}} - K_{\mu}\left(\alpha_{об} - \alpha\right)\right] \times$$

$$\times\left(\frac{1}{4}K_{\mu}\alpha_{об} + \sqrt{\left[p_{ср}\right] - \frac{1}{48}K_{\mu}^{2}\alpha_{об}^{2}}\right) + \frac{1}{4}K_{\mu}^{2}\left(\alpha_{об} - \alpha\right)^{2}. \quad (13)$$

Располагая нормальными давлениями $p(\alpha)$, касательные нагрузки $\tau_K(\alpha)$ определим по формуле

$$\tau_K(\alpha) = \mu \cdot p(\alpha) = \frac{dp(\alpha)}{d(\alpha)}. \quad (14)$$

На основании формулы (14) имеем

$$\tau_K(\alpha) = \left[\frac{1}{4}K_{\mu}\alpha_{об} + \sqrt{\left[p_{ср}\right] - \frac{1}{48}K_{\mu}^{2}\alpha_{об}^{2}}K_{\mu} - \frac{1}{2}K_{\mu}^{2}\left(\alpha_{об} - \alpha\right)\right]$$

Формулы (12) могут быть использованы для определения тягового усилия, если заданной величиной является максимальное среднее давление ленты на барабан – $[p_{ср}]$:

$$W_0 = S_{нб} - S_{сб} = \left(p_{нб\max} - p_{ср}\right)BR = \sqrt{\left[p_{ср}\right] - \frac{1}{48}K_{\mu}^{2}\alpha_{об}^{2}} \cdot K_{\mu}\alpha_{об}BR \quad (15)$$

Полученные значения $p(\alpha)$ и $\tau_K(\alpha)$ могут быть использованы при цифровом моделировании процесса нагружения обечайки барабана на ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г.* Теория и расчет ленточных конвейеров. М., Машиностроение, 1978, 392 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Дмитриев В.Г. – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Горная механика и транспорт»,
Асаенко В.В. – аспирант, кафедра «Горная механика и транспорт»,
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru