© О.С. Педченко, 2007

УДК 621.867.2

О.С. Педченко

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФОРМЫ ЖЕЛОБА ПОДВЕСНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ ПРИ ИЗГИБЕ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Семинар № 19

Особенностью условий изгиба подвесной конвейерной ленты на криволинейных в вертикальной плоскости участках конвейера является скользящее шарнирное закрепление ее бортов к ходовым кареткам, движущимся по направляющим конвейера.

Рассмотренная ниже математическая модель определяет дополнительные деформации ленты с заданными первоначальными законами изменения кривизны ее желоба и продольного натяжения по ширине в условиях, когда ленте придается некоторая кривизна в продольной вертикальной плоскости. Первоначальная кривизна желоба ленты описывается в функции поперечной координаты *y*, направленной вдоль ее криволинейной срединной поверхности.

Когда желобчатой ленте придается малая кривизна в вертикальной плоскости $K_T(x) = 1/r$ (где *x* – продольная координата, *r* – радиус продольного изгиба), появляются дополнительные малые перемещения $w(x, y)$, нормальные к осям *x* и *y*. На основе известного уравнения прогибов конвейерной ленты, полученного проф. Панкратовым С. А. [1], и с учетом наличия первоначальной желобчатости и поперечного натяжения подвесной ленты, получено уравнение дополнительных прогибов ленты как ортотропной оболочки в виде:

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \\ = d_л (k_2 K_y^2 w + \sigma_{y_0} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + k_1 K_x^2 w + \\ + \sigma_{x_0} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - K_x \sigma_{x_0} + \sigma_{y_T} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \\ + \sigma_{x_T} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}) + D_x \frac{\partial^2 K_x}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 K_y}{\partial y^2}, \quad (1)$$

где D_x, D_y - изгибная жесткость ленты в продольном и поперечном направлениях; $D_3 = D_x \mu_y + \frac{1}{6} G d_л^3$, G - модуль сдвига; $k_1 = \frac{E_x}{1 - \mu_x \mu_y}$; $k_2 = \frac{E_y}{1 - \mu_x \mu_y}$, K_x, K_y - продольная и начальная поперечная кривизна оболочки; $K_x = K_T(x) \cdot \cos\theta$; θ - угол наклона желоба ленты, переменный вдоль *y*; σ_{x_0}, σ_{y_0} - начальные продольные и поперечные нормальные напряжения в ленте; σ_{x_T}, σ_{y_T} - дополнительные продольные и поперечные нормальные напряжения вследствие изгиба трассы конвейера ; при высоте нейтрального сечения изгиба *h*:

$$\sigma_{y_T} = -k_2 K_x h(\theta) \cdot |\sin\theta|,$$

$$\sigma_{x_T} = -\sigma_{y_T} \frac{k_1}{k_2 tg\theta}.$$

Закон изменения кривизны трассы конвейера принят в виде:

$$K_T(x) = \frac{1}{r_{\min}}(1 - \frac{4x^2}{l_K^2})^2,$$

где $r_{\min}$ - минимальный радиус искривления трассы; l_K - полная длина криволинейного участка трассы.

Устойчивость решений уравнения (1) исследовалась с использованием метода гармонического баланса. Анализ этих решений показал, что при $r > 0$ (изгиб трассы выпуклостью вниз) устойчивых решений не имеется, то есть форма сечения желоба ленты имеет волнообразный вид. При $r < 0$ (изгиб трассы выпуклостью вверх) возможна устойчивая υ – образная форма желоба. Поэтому в дальнейшем принят критерий общей устойчивости формы желоба ленты – неотрицательность поперечных нормальных напряжений:

$$\sigma_{y_0} + \sigma_{y_T} > 0.$$

На основе этого критерия проанализирована также устойчивость формы желоба порожней ленты при из-гибе трассы конвейера в вертикальной плоскости. Поскольку в отсутствие груза величина σ_{y_0} значительно меньше, критическим случаем является потеря устойчивости порожней ленты, которая происходит при радиусе изгиба трассы, равном:

$$|r| = \frac{0,03k_2}{\rho_л g}(1 - \cos\theta_0)\sin\theta_0, \qquad (2)$$

Кроме того, рассмотрен случай продольного изгиба загруженной ленты выпуклостью вниз в условиях равномерного по ее ширине продольного натяжения. В этом случае возможно гофрообразование вдоль бортов ленты из-за их продольного сжатия. Условие гофрообразования с некоторым запасом надежности имеет вид:

$$\sigma_{x_0} + \sigma_{x_T} < 0,$$

где $\sigma_{x_T} \approx \frac{0,03k_1(h - h_П)}{\sqrt{k_л}r}\cos\theta < 0;$ $h_П$ - полная высота желоба ленты.

С учетом допустимого начального провеса ленты между опорами в зоне низкого натяжения, для радиуса кривизны трассы конвейера, при котором отсутствуют гофры, получено выражение

$$\frac{r}{r/5 + B_л} \geq \frac{0,03k_1 d_л B_р k_л^2 k_\theta \pi^3}{16\sqrt{2}F_2^4(\theta_0)S_л}, \qquad (3)$$

где $k_\theta = \frac{8}{3}\left[1 - \frac{2\cos\theta_0}{\pi^2}F_2^2(\theta_0)\right];$

$F_2(\theta_0) = 2,6 - 0,4\cos\theta_0;$ $S_л$ - продольное натяжение ленты.

При изгибе ленты выпуклостью вверх при наличии повышенного натяжения бортов в подвесках ленты возникают повышенные усилия N_0, так как при $r < 0$ величина $\sigma_{y_T} > 0$. Величина коэффициента перегрузки подвесок $K_П$, которая также может быть фактором, ограничивающим кривизну трассы конвейера:

$$K_П = 1 + \frac{\sigma_{y_T}}{\sigma_{y_0}} = \qquad (4)$$

$$= 1 + \frac{0,06k_2 d_л(1 + \sin\varphi_{вн})}{r\sqrt{k_л}\rho_Г g B_л}F_2(\theta_0)\sqrt{1 - \cos\theta_0}.$$

Таким образом, допустимый ради-ус кривизны трассы конвейера необходимо принимать наибольшим из трех значений, соответствующих трем критическим случаям и, соответст-венно, трем критериям:

- изгиб порожней ленты выпуклостью вниз при равномерном по ее ширине натяжении (формула (2));
- изгиб загруженной ленты выпуклостью вниз при равномерном натяжении (формула (3));

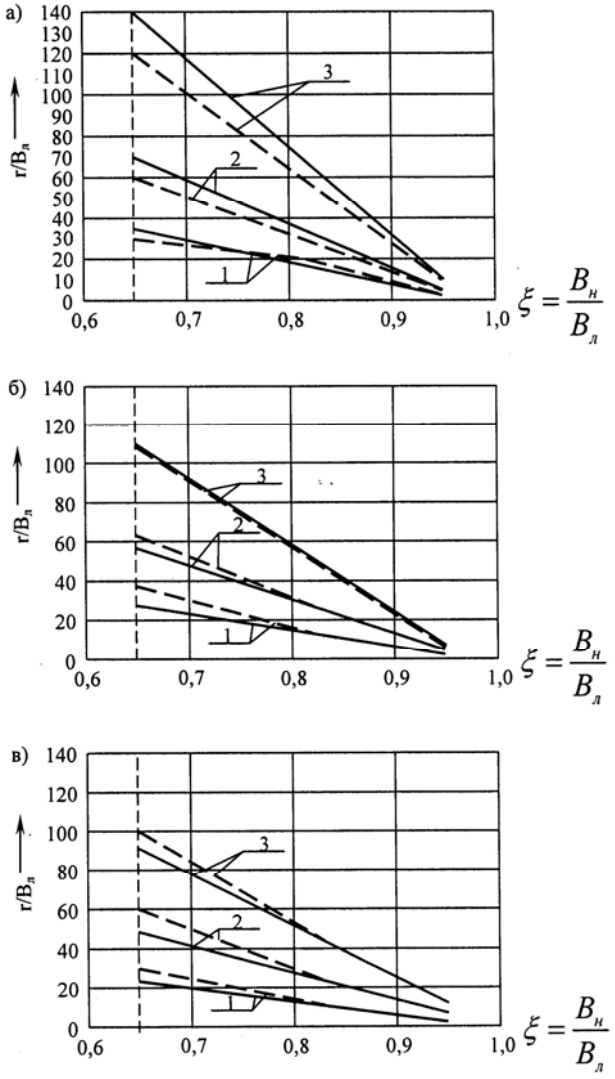

Рис. 1. Сопоставление теоретических (сплошные линии) и экспериментальных (штриховые линии) допустимых радиусов кривизны трассы конвейера: а – $B_л$ = 0,8 м; б – $B_л$ = 1,0 м; в – $B_л$ = 1,2 м; 1 – k_2 = 10 МПа; 2 – k_2 = 20 МПа; 3 – k_2 = 40 МПа

- изгиб загруженной ленты выпуклостью вверх на участке повышенного натяжения бортов (формула (4)).

Проверка указанных трех зависимостей осуществлена путем моделирования на ЭВМ методом конечных элементов формы желобчатой подвесной ленты. Моделировался участок ленты длиной 100 $B_л$, шаг кареток принят равным $B_л$; толщина ленты – 12 мм при толщине каркаса 6 мм, что соответствует 4-х прокладочной ленте.

Один конец ленты-оболочки считали закрепленным в заделке по контуру желоба, к другому концу, который считался свободным от закрепления, прикладывалось равномерно распределенное по ширине ленты натяжение, равное

$$S_П = \frac{k_2 d_k B_л}{350}.$$

При имитации участка с повышенным натяжением ленты на ее свободном конце прикладывались к кромкам ленты две сосредоточенные продольные силы, равные $S_б = S_П$ каждая. Давление груза на ленту принято максимально допустимым, исходя из прочности ленты по утку. По ширине ленты оно распределялось по закону косинуса.

Выполненный для указанных условий численный анализ теоретических зависимостей и сопоставление их с экспериментальными данными показали, что наиболее опасным случаем является изгиб порожней ленты выпуклостью вниз в условиях повышенного продольного натяжения бортов. Соответствующие зависимости приведены на рис. 1. Расхождение теоретических и экспери-

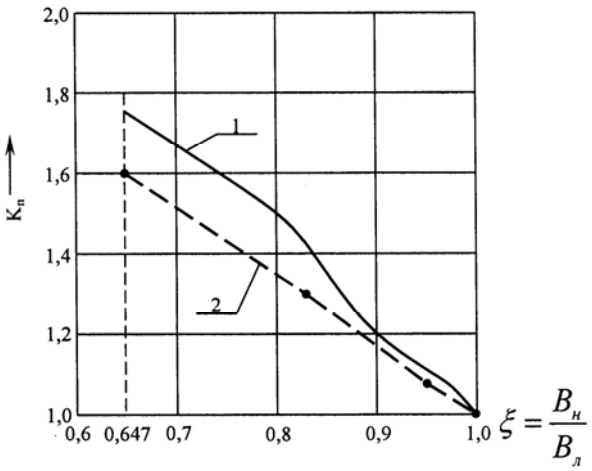

Рис. 2. Коэффициент повышения поперечного натяжения загруженной ленты при продольном изгибе выпуклостью вверх при повышенном продольном натяжении бортов: 1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость $\left(\frac{r}{B_л} = 10\right)$.

ментальных данных не превышает 20 % и существенно только при больших углах желобчатости ленты.

Коэффициент перегрузки подвесок загруженной ленты (рис. 2) не превышал 1,8, что можно учесть соответствующим запасом прочности при расчетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Панкратов С.А.* Динамика машин для открытых горных и земляных работ. – М.: Машиностроение, 1967. – 526 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Педченко О.С. – старший преподаватель военной кафедры, Московский государственный горный университет.

Р У К О П И С И ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Хакулов В.А., Голик В.И., Исмаилов Т.Т.* Теоретические основы пошаговой адаптации комбинированной разработки нагорного месторождения к меняющимся горно-технологическим условиям (589/07-07 — 22.05.07) 13 с.
2. *Исаченко А.О.* Информационно-вычислительная система горнодобывающего предприятия на базе программного продукта MapInfo Professional (590/07-07 — 23.05.07) 4 с.