© Н.В. Сергеева, 2008

УДК 621.867

Н.В. Сергеева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗА НА ЛЕНТЕ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА

Большое значение для тягового расчета мощных высокопроизводительных ленточных конвейеров имеет точное знание общего коэффициента сопротивления движению и влияние на него различных факторов. В соответствии с современной теорией тягового расчета ленточного конвейера общий коэффициент сопротивления движению состоит из четырех основных составляющих: коэффициента сопротивления движению от вращения роликов, коэффициента сопротивления движению от вдавливания роликов в ленту и коэффициентов сопротивления движению от деформирования груза и ленты. В зависимости от параметров конвейера доля коэффициента сопротивления движению от деформирования груза и ленты может составлять до 60 % от величины общего коэффициента сопротивления движению [1].

Для ленточного конвейера традиционной конструкции данная составляющая от деформирования груза и ленты изучена весьма подробно в работах И.А. Шпакунова, С.Д. Мягкова, В.П. Дунаева, В.Г. Дмитриева и др. Однако в настоящее время в научно-технической литературе отсутствуют научно-обоснованные рекомендации по назначению общего коэффициента сопротивления движению ленточных трубчатых конвейеров (ЛТК), получающих все большее распространение в промышленности при транспортировании насыпных грузов.

Напряженно-деформированное состояние сыпучего груза, возникающее при обжатии его трубообразной лентой с помощью замкнутых в кольцо шестироликовых опор, существенно отличается от напряженно-деформированного состояния груза на ленте конвейера традиционной конструкции или конвейера с лентой повышенной желобчатости. Поэтому значения коэффициента сопротивления движению от деформирования груза и ленты, полученные для таких конвейеров, не могут быть использованы для тягового расчета ЛТК.

Известно, что деформирование насыпного груза на ленте существенно отличается в своем поведении от деформирования твердых тел и представляет собой сложный динамический процесс, зависящий от типа груза, скорости и амплитуды его деформирования, а также от вида напряженного состояния.

При движении груза с лентой конвейера сразу за роликоопорой вследствие некоторого развала ленты взаимосвязь между частицами груза и лентой снижается, и система транспортируемый груз – конвейерная лента находится в активном напряженном состоянии. Поэтому при высоких скоростях транспортирования можно не учитывать активной фазы деформаций, которая проис-

ходит в основном при взвешенном состоянии груза и не изменяет существенно давление груза на ленту. При приближении поперечного сечения к следующей роликоопоре (примерно в середине пролета) груз переходит в пассивное состояние, и появляются дополнительные сжимающие нагрузки. При этом на ленту действует не только вес груза, но и дополнительные распорные силы реакции со стороны груза при его пластическом сжатии. Работа этих сил приводит к необратимому расходу энергии и определяет величину коэффициента сопротивления движению ленты.

В работе [2] коэффициент сопротивления от деформирования груза $w_{деф.г.}$ предложено определять как долю удельной активной работы груза при статическом нагружении

$$w_{деф.г.} = \xi \frac{A_к}{\Sigma q l_p^2},$$

где ξ – коэффициент удельных потерь энергии при деформировании насыпного груза; q – погонный вес груза и ленты; l_p – расстояние между роликоопорами; $A_к$ – активная работа груза.

Коэффициент удельных потерь ξ зависит от физико-механических свойств транспортируемого груза и равен [2]:

для гравия ξ=3,5; для песка ξ=4,6; для глины ξ=3,0; для бурого угля ξ=2,7.

Активная работа груза в данном случае может быть определена как произведение силы, возникающей от пассивного давления груза на ленту, на перемещение ленты

$$A_к = \int_s \int P(x, y) \cdot \delta(x, y) dxdy,$$

где s – часть поверхности ленты в пролете между роликоопорами, находящейся под пассивным давлением; $P(x, y)$ – давление груза на ленту в пассивной фазе; $\delta(x, y)$ – деформации ленты; x и y – продольная и поперечная координаты.

Таким образом, зная деформированное состояние ленты, коэффициенты внутреннего поглощения энергии для ленты и груза и давление груза по поверхности ленты можно путем интегрирования определить потери энергии A_{ki}, затем и коэффициенты сопротивления движению $w_{деф.г.i}$.

Деформации ленты $\delta(x, y)$ между роликоопорами под действием насыпного груза могли бы быть определены на основании решения системы нелинейных уравнений, полученных С.А. Панкратовым для ленты как ортотропной цилиндрической оболочки [4]. Однако формулировка граничных условий на свободных бортах ленты трубчатого конвейера и само решение с учетом нелинейного характера изменения давления по ширине ленты представляют значительные трудности, поэтому с целью определения напряженно-деформи-рованного состояния ленты в программном комплексе ANSYS была создана цифровая модель линейной части ЛТК (рис. 1).

Модель линейной части ЛТК состоит из прямолинейного участка трубообразной ленты и двух шестироликовых опор, которые совместно образуют пролет, на котором выполнялись исследования деформированного состояния ленты с грузом. Модель ленты состоит из 12240 элементов. Для более точного моделирования в задаче реализовано физическое контактное взаимодействие между роликами и лентой.

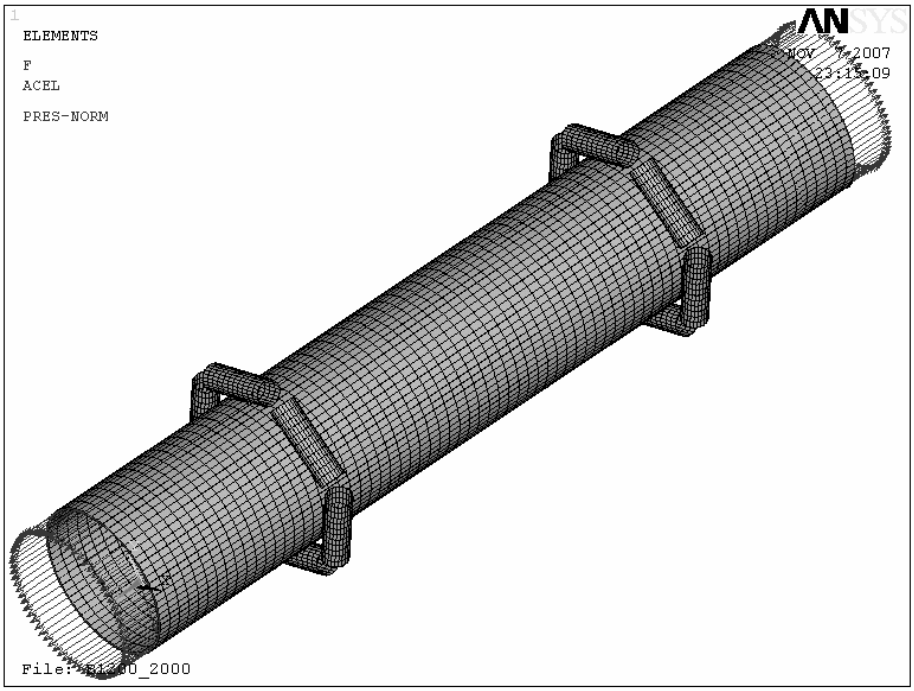

Рис. 1. Геометрическая модель пролета линейной части ЛТК для наложения активных и пассивных нагрузок на ленту от груза

При моделировании лента ЛТК была принята в виде ортотропной оболочки с разными модулями упругости в продольном и поперечном направлениях. Поскольку по ширине ленты давление от груза неравномерно, лента была разбита на ряд продольных участков, на которых нагрузки q_i постоянны, но различны (рис. 2). Для расчета активных и пассивных нагрузок на этих участках использовались зависимости, полученные В.Н. Гущиным.

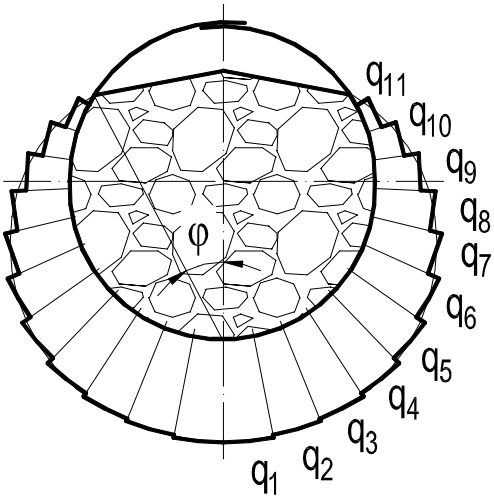

Рис. 2. Схема нагружения ленты в поперечном направлении

При моделировании изменялись следующие параметры конвейера: ширина ленты (B), натяжение ленты (S), степень заполнения поперечного сечения ленты грузом (φ), расчетные модули упругости ленты (E), расстояние между роликоопорами (L_p), плотность транспортируемого груза (ρ).

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента сопротивления движению $w'_{деф}$ от натяжения ленты S для ЛТК с

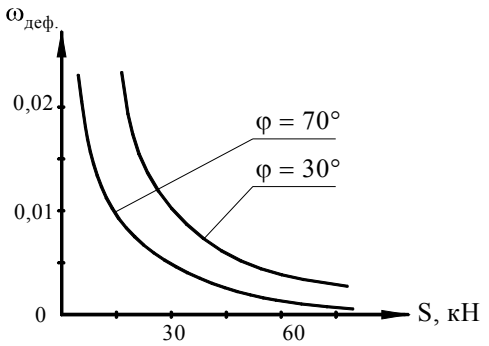

Рис. 3. График зависимости коэффициента сопротивления от деформирования груза от натяжения

шириной ленты $B = 800$ мм и расстоянием между роликоопорами $L_p = 1$ м, $\rho = 1,5$ т/м^3.

Полученные зависимости показывают, что сопротивление движению от деформирования груза в значительной степени зависит от натяжения ленты, причем с его повышением происходит нелинейное уменьшение $w'_{деф}$.

Для аппроксимации полученной зависимости $w'_{деф} = f(S)$ предложена следующая формула

$$w'_{деф} = \frac{b}{S^n},$$

где константы b и n имеют сложную зависимость от перечисленных выше факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галкин В.И., Дмитриев В.Г. др.* Современная теория ленточных конвейеров. Москва, МГГУ, 2005, 543 с.
2. *Шпакунов И.А.* Исследование основных составляющих коэффициента сопротивления движению на длинных горизонтальных ленточных конвейерах. Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Днепропетровск, МГТИ, 1968, 160 с.
3. *Дунаев В.П.* Установление рациональных параметров линейных секций ленточных конвейеров с повышенными скоростями при перемещении рыхлых пород. Автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук, Москва, МГИ, 1983.
4. *Панкратов С.А.* Динамика машин для открытых горных и земляных работ. Изд. «Машиностроение», М., 1967, 447с. ГИАБ

Коротко об авторе

Сергеева Н.В. – аспирантка кафедры «Горная механика и транспорт», Московский государственный горный университет.

Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.И. Галкин.*