

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ



В. Г. ДМИТРИЕВ,
проф., д-р техн. наук
(МГГУ)



Д. С. КУЛАГИН,
генеральный директор
ООО «Индустриальная
измерительная техника»,
канд. техн. наук

Ленточные трубчатые конвейеры (ЛТК) появились в 70-х годах прошлого столетия и в настоящее время находят все большее распространение как эффективный способ поточного транспортирования сыпучих грузов на значительные расстояния по трассам с вертикальными и горизонтальными изгибами при минимальном числе перегрузочных узлов. Данный способ обеспечивает защиту окружающей среды от выделяющейся пыли, а самого груза — от воздействия таких природных факторов, как ветер, атмосферные осадки и т. д. В последние годы ЛТК рассматривают также в качестве крутонаклонного конвейерного подъемника кускового груза в комплексах циклично-поточной технологии на глубоких карьерах.

Между тем в научно-технической литературе практически отсутствуют сведения о теоретических и экспериментальных исследованиях, а также методах расчета, которые могли бы стать основой для проектирования ЛТК, оценки их технико-экономических преимуществ и установления рациональных областей

применения. В связи с этим на кафедре «Горная механика и транспорт» МГГУ разработана цифровая модель линейной части ЛТК (рис. 1), позволившая на первом этапе исследований обосновать физико-механические свойства трубообразной ленты, обеспечивающие герметичность внутреннего объема при транспортировании насыпных грузов и допустимые радиусы изгиба трассы конвейера в горизонтальной плоскости.

На разработанной модели исследованы физико-механические характеристики отечественных резиноканевых лент общего назначения, изготовленных в соответствии с ГОСТ 20-85. С тем чтобы оценить возможность их использования в ЛТК, сначала по специально разработанной программе проводили тяговый расчет конвейера и по полученным расчетным натяжениям из ряда лент выбирали конкретный типоразмер, соответствующий заданным условиям по прочности. Затем рассчитывали приведенный модуль упругости E_1 ленты с учетом общепринятого условия, что лента при нагрузке, равной 10 % разрывной прочности, испытывает относительную деформацию не более 2–2,5 %. Тогда

$$E_1 = 10^7 \sigma_B / (\varepsilon \cdot \delta_l), \quad (1)$$

где E_1 — приведенный модуль упругости ленты по основе, Па; σ_B — прочность прокладки ленты в расчете на 1 мм ее ширины, Н; $\varepsilon = 2,5\%$ — относительное удлинение ленты при нагрузке $0,1\sigma_B$; δ_l — толщина одной прокладки ленты, мм. Модуль упругости по утку ленты E_2 принимали равным 20–30 % приведенного модуля упругости ленты по основе, т. е. $E_2 = (0,2 \div 0,3)E_1$. Для полученных значений E_1 и E_2 коэффициенты Пуассона принимали равными соответственно $\nu_1 = 0,45$ и $\nu_2 = 0,09 \div 0,135$.

Полученные параметры переносили в расчетную модель и варьировали при моделировании напряженно-деформированного состояния ленты в трубчатом

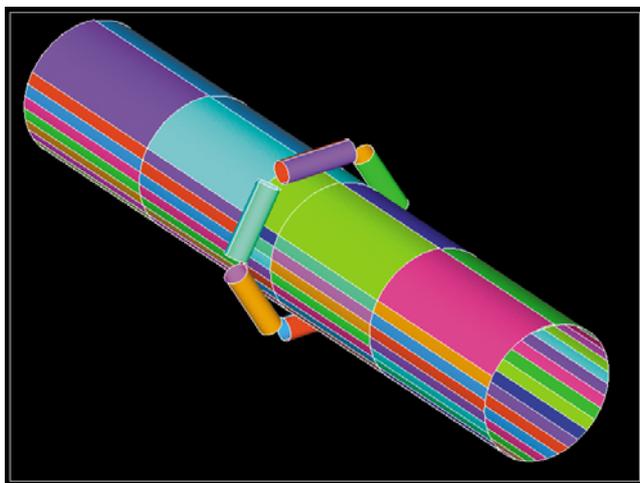


Рис. 1. Общий вид цифровой модели линейной секции ЛТК

конвейере. При одном из значений E_1 на модели произошло раскрытие соединенных внахлестку бортов ленты, т. е. потеря герметичности внутреннего объема (рис. 2), а при значении модуля упругости, равном $0,5E_1$, и постоянном натяжении $S = 80$ кН лента теряет не только круговую форму, но и контакт с тремя верхними роликами, что недопустимо при эксплуатации конвейера (рис. 3).

При проектировании ЛТК можно использовать два варианта оценки возможности применения конвейерных лент по критерию минимально допустимого модуля упругости E . *Первый вариант* заключается в проверке на герметичность внутреннего объема конвейера, принятого на основании тягового расчета непосредственно на цифровой модели. Для *второго варианта* было выполнено моделирование деформированного состояния для лент разной ширины — 800, 1000, 1200 мм — при различных режимах загрузки конвейера. Натяжение в ленте изменяли от 0 до $S_{доп}$, где $S_{доп}$ — допустимое натяжение в ленте при минимальном числе прокладок ($i_{мин}$) для ленты заданной ширины (обычно $i_{мин}$ равно 3 или 4) и минимальной разрывной прочности σ_p (100, 200, 300 кН), при которой сохраняется герметичность внутреннего объема. Полученные на основании моделирования модули упругости E^* являются минимально возможными, и для их расчета предложена следующая формула:

$$E^* = k \cdot k_1 \sqrt{S_{доп}} \cdot 10^8, \text{ Па}, \quad (2)$$

где k — коэффициент, равный 0,6; 0,56 и 0,52 Н/(кН^{1/2}·м²) при ширине ленты В 1200 мм, 1000 мм и 800 мм соответственно; $S_{доп}$ — допустимое натяжение в ленте, кН; k_1 — поправочный коэффициент, зависящий от степени заполнения поперечного сечения ленты грузом (производительности конвейера), равный 1; 0,96 и 0,92 при угле заполнения поперечного сечения φ 30°, 45° и 60° соответственно.

Например, для ЛТК с лентой шириной 1200 мм, минимальным натяжением на грузовой ветви 100 кН и производительностью 640 т/ч ($\varphi = 30^\circ$) модуль упруго-

сти ленты E_1 согласно формуле (2) не должен быть меньше величины $E^* = 0,6 \cdot 1 \sqrt{100} \cdot 10^8 = 6 \cdot 10^8$ Па. Таким образом, моделированием было установлено, что при выборе типа ленты для ЛТК, кроме тягового расчета, необходимо определить модуль упругости ленты по критерию обеспечения герметичности внутреннего объема. Если модуль $E_1 > E^*$, то герметичность не будет нарушена, если $E_1 \leq E^*$, то может произойти раскрытие бортов ленты, потеря трубообразной формы или отрыв ленты от верхних роликов. В этом случае требуется принимать ленту с модулем упругости не менее E^* .

С использованием цифровой модели обоснованы также минимально допустимые радиусы изгиба трассы ЛТК в горизонтальной плоскости в зависимости от конструктивных параметров конвейера. В качестве критерия, при котором работа конвейера считается недопустимой, принята потеря контакта ленты ЛТК с одним из боковых роликов (отрыв ленты от ролика). При движении по криволинейной трассе с малыми радиусами кривизны и высоким натяжением ленты потеря ее контакта с роликом нарушает устойчивость движения, что может привести к повороту ленты вокруг продольной оси, перемещению соединенных внахлестку бортов ленты в сторону, раскрытию соединения и просыпи груза.

При моделировании варьировали следующие параметры конвейера: ширину ленты B ; натяжение ленты S ; степень заполнения поперечного сечения ленты грузом φ ; приведенный модуль упругости E ; расстояние между роликкооперами L_p ; насыпную плотность транспортируемого груза ρ . Значения модулей упругости принимали не меньшими определенных ранее из условий сохранения герметичности. Полученные при моделировании радиусы изгиба сравнивали с приведенными в технической литературе. Установлена достаточно хорошая сходимость результатов.

На основании выполненного моделирования построены номограммы для определения минимально допустимого радиуса кривизны при изгибе трассы ЛТК в горизонтальной плоскости для лент шириной 800, 1000

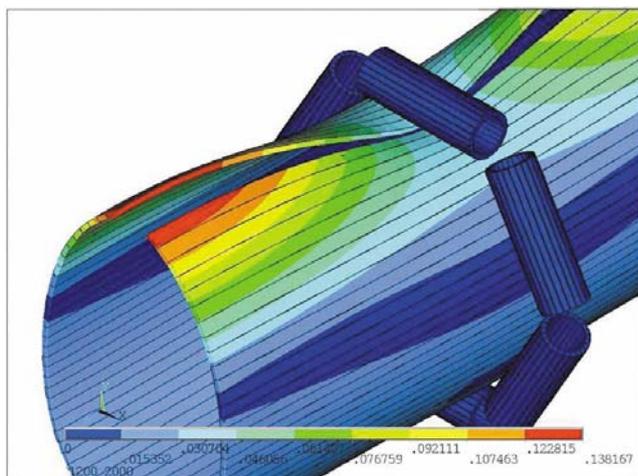


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние ленты на модели при одном из вариантов расчета

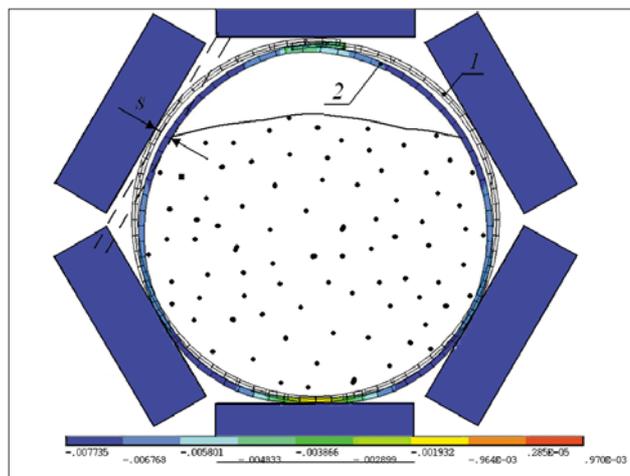


Рис. 3. Форма поперечного сечения ленты при $E = 0,5E_1$ до нагружения (1) и под нагрузкой (2)

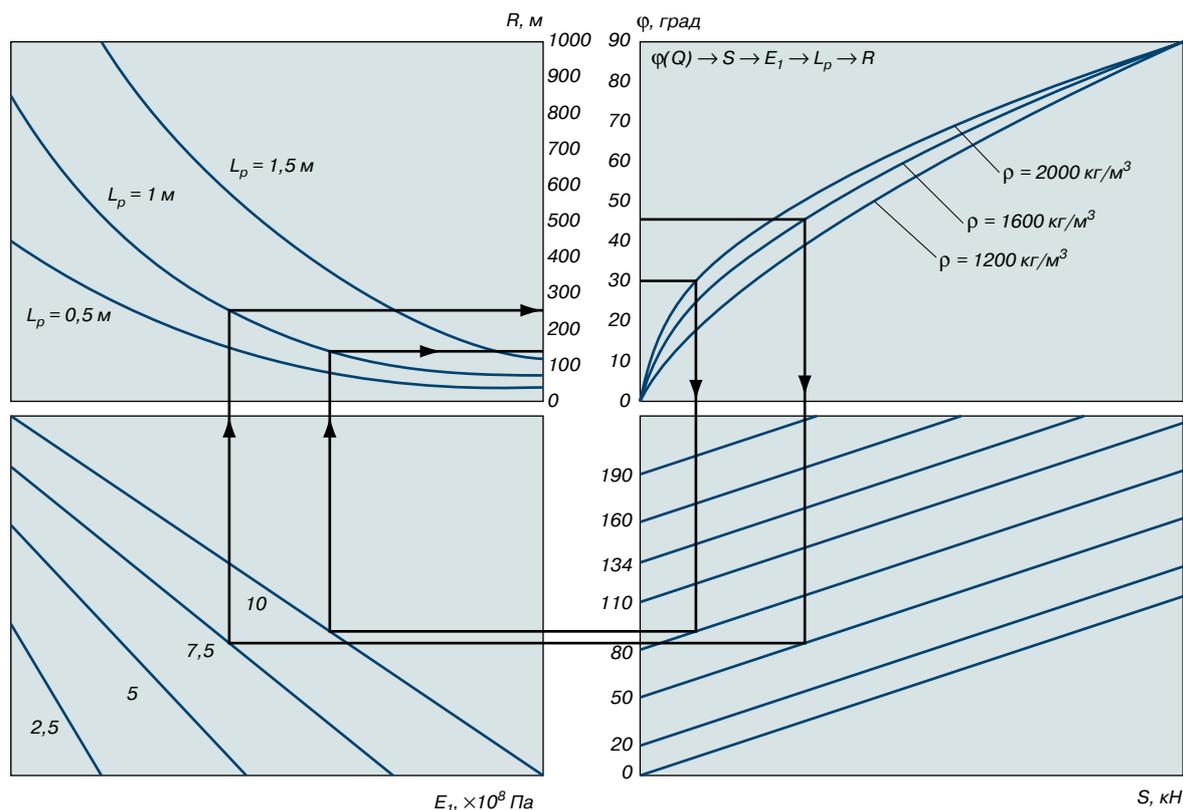


Рис. 4. Номограмма для определения минимально допустимого радиуса изгиба трассы ЛТК в горизонтальной плоскости (для ленты шириной 1200 мм)

и 1200 мм (рис. 4). Определяют радиус следующим образом: сначала задают степень заполнения ϕ поперечного сечения трубы грузом и производительность конвейера Q (т/ч) в соответствии с насыпной плотностью ρ ; затем на основании тягового расчета определяют натяжение S в ленте на участке изгиба (поворота); далее рассчитывают приведенный модуль упругости E_1 применяемой ленты и в соответствии с приведенными выше критериями задают расстояние между роlikоопорами на участке изгиба и определяют допустимый радиус изгиба трассы ЛТК в горизонтальной плоскости. Если полученное значение радиуса изгиба не соответствует требованиям проектной трассы ЛТК, то можно изменить величину L_p и сделать перерасчет.

Созданная цифровая модель ЛТК была реализована также при разработке методики тягового расчета. Согласно современному подходу, суммарное сопротивление движению ленты в значительной степени зависит от степени деформации ленты с грузом между опорными роликками и вдавливания роликков в ленту. По данным моделирования, были определены все величины, требуемые для расчета силы сопротивления движению, установлена зависимость этих сил от различных факторов. Цифровая модель использована также при исследовании угловых отклонений ленты ЛТК на прямолинейных и криволинейных участках трассы.

Более детальное исследование на цифровой модели стандартных резинотканевых лент, предназначенных для конвейеров традиционной конструкции, показало, что они не позволяют в полной мере реали-

зовать возможности трубчатых конвейеров; эти ленты целесообразно использовать при натяжениях до 80–100 кН, но в связи с малой поперечной жесткостью лента быстро теряет контакт с боковыми роликками в опорах при изгибах трассы, что не позволяет реализовать малые радиусы изгиба.

Многими фирмами разработаны специальные конструкции лент для ЛТК, учитывающие особенности их нагружения на различных участках трассы, однако физико-механические характеристики этих лент в технической литературе отсутствуют. С использованием разработанной модели может быть решена и эта, весьма сложная в теоретическом отношении задача. **DM**

E-mail: dmkulagin@mail.ru

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF TUBULAR CONVEYOR WITH ASSISTANCE OF DIGITAL MODELS

Dmitriev V. G., Kulagin D. S.

The digital model of tubular conveyor belt has been developed in the Moscow state mining university and presented in the paper together with investigations of its usage. These investigations allowed to substantiate physical-mechanical properties of rubber-fabric belt and allowable radii of path bending for tubular conveyors.

Key words: tubular conveyor belt, rubber-fabric belts, elasticity modulus, digital model, roller supports, bending radii, belt tension, belt deformation.