

Д. т. н. **С. Я. Давыдов**¹ (✉), к. т. н. **В. М. Таугер**¹, д. э. н. **А. Н. Сёмин**¹,
А. Ю. Долгих¹, к. т. н. **В. Н. Корюков**²

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург,
Россия

УДК 621.867.2.001.24

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРУБЧАТОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Перечислены основные повреждения в процессе эксплуатации резиновых и резиноканевых лент трубчатых ленточных конвейеров на Рефтинской ГРЭС и фабрике окомкования Лебединского ГОКа. Предложена новая конструкция трубчатого ленточного конвейера (ТЛК) с застёжкой бортов ленты. Представлена методика расчета застёжки бортов ленты ТЛК. Выполнение условий прочности и жесткости этой застёжки обеспечивается подбором конструктивных параметров захвата с учетом модуля упругости.

Ключевые слова: *трубчатый ленточный конвейер, вставка, застёжка, захват застёжки, выступ застёжки.*

Опыт эксплуатации трубчатых ленточных конвейеров (ТЛК) при перевозке золы на Рефтинской ГРЭС и железорудных окатышей на фабрике окомкования Лебединского ГОКа показал следующее [1]: основными повреждениями резиновых и резиноканевых лент являются сквозная пробой, сквозной продольный порез, местные повреждения обкладок, вырыв обкладок, поперечные трещины, нарушение бортов и стыковых соединений, истирание резиновых обкладок по всей длине ленты, появление трещин в местах стыковки ленты, образование местных воздушных пузырей.

Воздушные пузыри, образовавшиеся на рабочей поверхности ленты под ее верхней обкладкой, смещаются при попадании на барабаны. Происходит продольное вытягивание воздушного пузыря между обкладками ленты, в результате чего пузырь лопается с образованием дефекта обкладки ленты. Данные дефекты приводят к повреждению внутренних обкладок ленты, что значительно укорачивает срок ее эксплуатации. В процессе движения по трассе происходит закручивание ленты относительно продольной оси трубы. Закручивание приводит к соприкосновению края ленты, выполненного внахлест, с неподвижными элементами промежуточных опор, что приводит к повреждению края ленты, раз-

рушению крайних тросов, а также поперечных соединений отдельных отрезков ленты.

Решение проблем, возникающих при эксплуатации лент ТЛК в рамках импортозамещения, осуществляет коллектив компании ООО «Торговый Дом «Транстехмаш-Восток» с участием ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» путем использования механической, горячей и холодной вулканизации. При соблюдении всех норм и правил наибольшую прочность стыкового соединения (до 90 % от прочности ленты) обеспечивает метод горячей вулканизации. Холодной вулканизацией достигается прочность до 70–80 % от прочности ленты. Механическое соединение дает прочность до 60 % от прочности ленты. Ремонтные работы резиновых и резиноканевых лент производятся как в стационарных условиях ремонтных предприятий, так и непосредственно на предприятиях-пользователях с применением малогабаритных мобильных переносных вулканизационных прессов. Ремонт конвейерных лент выполняется по методике, изложенной в книге [2].

Для увеличения долговечности ленты и снижения вероятности аварийной остановки конвейеров применяют механические способы очистки ленты при помощи скребков. Скребки повреждают поверхностный слой ленты, поэтому для исключения механических способов очистки ленты на ряде предприятий России и стран СНГ применяют трубчатый переворот холостой ветви ленты в местах погрузки-разгрузки сыпучих материалов [3–6].

Для уменьшения энергозатрат, обеспечения технологичности и надежности была предложена



С. Я. Давыдов

E-mail: davidovtrans@mail.ru

на конструкция ТЛК с застежкой [7] бортов ленты (рис. 1).

ТЛК содержит навешенную на натяжной 1 и приводной 2 барабаны завернутую С-образно транспортерную ленту 3. Кромки 4 и 5 (см. рис. 1, б, в) транспортерной ленты направлены вверх. Вокруг завернутой транспортерной ленты по диаметру D установлены прижимные ролики 6 с возможностью прижатия к наружной поверхности ленты. Направляющие ролики 7 установлены на грузовой ветви ленты в зазоре 8 между направленными навстречу ее кромками 4 и 5. Кромки снабжены вставкой (застежкой) 9, выполненной по всей длине ленты 3. Диаметр D наружной поверхности завернутой транспортерной ленты определяется по зависимости

$$D = (B + l)/\pi, \quad (1)$$

где B — ширина ленты; l — ширина вставки при сомкнутом состоянии ленты.

Вставка выполнена с различным заданным градиентом упруго деформированных элементов, взаимодействующих с лентой, — захвата 11 и выступа 10, которые закреплены на противоположных кромках 4 и 5 ленты. Захват выполнен в виде элемента полузамкнутой формы (С-образной или челюстной), охватывающей выступ в виде стержневой формы. Варианты выполнения застежки показаны на рис. 1, б, в. Вариант, показанный на рис. 1, в, удобен как для замыкания трубы, так и для предотвращения ее размыкания в пролете между опорами. Угол β входного участка выступа меньше угла α контакта с челюстями захвата. Малое значение β позволяет облегчить замыкание вставки и предотвратить непопадание выступа в ответный паз

захвата. Большее значение α позволяет обеспечить расчетное усилие, требуемое для размыкания вставки. Конкретные значения размеров вставки зависят от конструктивных особенностей транспортерной ленты: наличия тросов в ленте, толщины ленты, а также от усилий при замыкании и размыкании застежки.

Прижимные ролики 6 установлены для поддержания ленты в замкнутом состоянии после участка загрузки и до приводного барабана 2. Пара направляющих роликов 7 для размыкания кромок ленты перед приводным барабаном установлена с возможностью вращения в противоположных направлениях при касании упомянутых частей вставки ленты. При этом по всей трассе грузовой ветви конвейера после участка загрузки и до приводного барабана лента представляет собой замкнутую трубу.

После прохода участка загрузки из желобчатого состояния под воздействием роликов 6 лента приобретает трубчатое сечение. Под действием усилия прижимных роликов 6 выступ 10 вдавливается в захват 11, образуя трубчатую форму ленты. Лента в форме трубы движется по всей трассе грузовой ветви до приводного барабана 2. Размыкание элементов 10 и 11 выполняется с помощью пары направляющих роликов, установленных перед приводным барабаном сразу же после прохождения прижимных роликов.

Основные размеры пары захват – выступ могут быть найдены следующим образом. На рис. 2 показан элемент загруженной материалом трубчатой ленты, ограниченный плоскими сечениями с расстоянием между ними dl . Он расположен посередине пролета между прижимными опорами. По вертикали элемент разделен диаметром

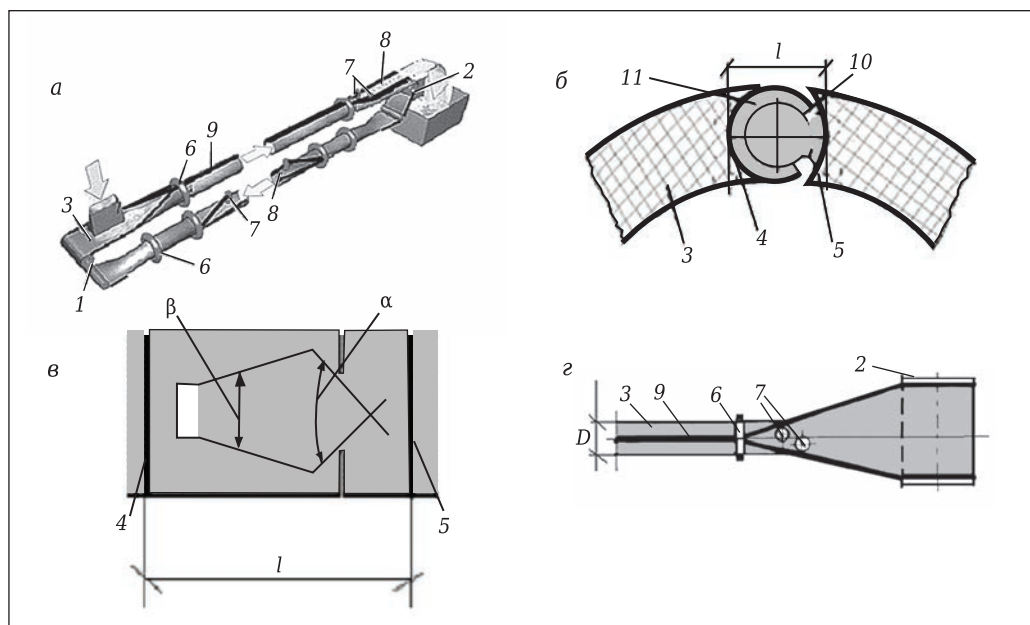


Рис. 1. Схема ТЛК (а), узел взаимодействующих элементов — захвата (б) и выступа застежки в сомкнутом состоянии (в), узел размыкания ленты (z)

на две симметричные половины, причем рассматривается правая половина, а левая заменена жесткой заделкой и силой dN , перпендикулярной к диаметру сечения ленты. Точка C (см. рис. 2) — центр массы транспортируемого материала, в силу малости размера dl она совпадает с центром тяжести фигуры ABD . Размер a — плечо силы тяжести транспортируемого материала dG относительно заделки.

Приведенный ниже расчет выполнен со следующими допущениями: лента представляет собой круговой цилиндр; элемент находится в состоянии равновесия; влияние на него сил, перпендикулярных к плоскостям сечений, не учитывается. В расчете использованы базовые положения теории сопротивления материалов [8]. Относительная деформация наружных волокон ленты ε при свертывании в трубу равна

$$\varepsilon = \frac{\pi \left[\left(r_0 + \frac{\delta}{2} \right) - r_0 \right]}{\pi r_0} = \frac{\delta}{2r_0}, \quad (2)$$

где δ — толщина ленты; r_0 — радиус нейтрального слоя ленты (нейтральный слой делит толщину δ пополам).

В соответствии с законом Гука, напряжение при изгибе наружных волокон ленты σ_n равно

$$\sigma_n = \varepsilon E_1, \quad (3)$$

где E_1 — модуль упругости первого рода для материала, из которого выполнена лента.

С другой стороны,

$$\sigma_n = \frac{dM}{W_{n1}} = \frac{6dM}{dl\delta^2}, \quad (4)$$

где dM — изгибающий момент, обусловленный упругостью ленты и возникающий при свертывании ленты в трубу как реакция на правую половину элемента со стороны левой (отброшенной); W_{n1} — момент сопротивления поперечного сечения элемента изгибу, $W_{n1} = \frac{dl\delta^2}{6}$.

Из формул (2)–(4) определяется значение изгибающего момента dM :

$$dM = \frac{\delta^3 E_1 dl}{12r_0}. \quad (5)$$

В состоянии статического равновесия элемента выполняется равенство

$$\Sigma M = dM + dGa - 2dNr_0 = 0. \quad (6)$$

Вес транспортируемого материала

$$dG = \gamma s dl, \quad (7)$$

где γ — удельный насыпной вес транспортируемого материала; s — площадь фигуры ABD .

Решение уравнения (6) с учетом (7) относительно dN дает формулу для расчета

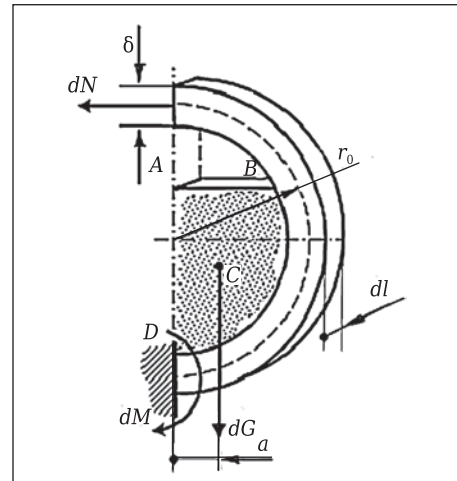


Рис. 2. Элемент загруженной материалом трубчатой ленты длиной dl

силы, приложенной к выступу со стороны захвата:

$$dN = \frac{\delta^3 E_1 dl}{24r_0^2} + \frac{\gamma s a dl}{2r_0}. \quad (8)$$

На рис. 3 показана схема действия сил на захват со стороны выступа. К челюстям захвата приложены силы, равные $0,5dN$ (показана нагрузка на верхнюю челюсть). Каждая из данных сил является горизонтальной составляющей силы dR давления на упор челюсти. Вертикальная составляющая силы dR равна

$$dR_v = 0,5dN \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (9)$$

На челюсть захвата действует изгибающий момент, равный

$$dM_q = dR_v b + 0,5dN f = 0,5dN \left(b \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + f \right), \quad (10)$$

где b — наибольшая возможная величина плеча силы dR_v ; f — высота упора.

Размеры и физико-механические свойства челюсти должны удовлетворять требованиям

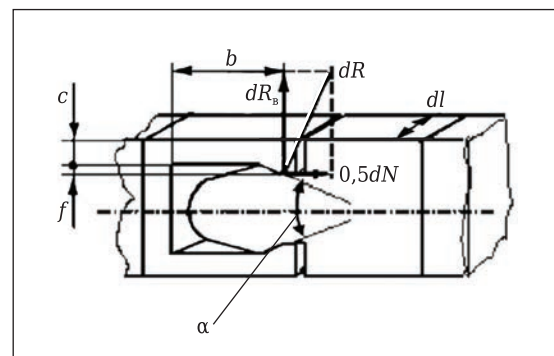


Рис. 3. Схема действия сил на захват со стороны выступа

прочности и жесткости. Требование прочности выражается формулой

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{и}} + \sigma_{\text{р}} = \frac{dM_{\text{ч}}}{W_{\text{и}2}} + \frac{0,5dN}{cdl} \leq [\sigma], \quad (11)$$

где σ_{\max} , $\sigma_{\text{и}}$, $\sigma_{\text{р}}$ — максимальное, изгибающее и растягивающее напряжения в корневом сечении челюсти соответственно; c — высота корневого сечения челюсти; $W_{\text{и}2}$ — момент сопротивления изгибу для корневого сечения челюсти, $W_{\text{и}2} = \frac{dlc^2}{6}$; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение для материала, из которого выполнен захват.

Требование жесткости формулируется следующим образом:

$$v_{\max} = \frac{dR_{\text{б}}b^3}{3E_2I} \leq [v] = \frac{f}{k}, \quad (12)$$

где v_{\max} , $[v]$ — максимальный и допускаемый прогиб челюсти; I — момент инерции корневого сечения челюсти, $I = \frac{dlc^3}{12}$; E_2 — модуль упругости первого рода для материала захвата; k — коэффициент запаса ($k > 1$).

Выполнением условия (12) обеспечивается удержание захватом выступа в пролете между кольцевыми опорами. При выводе формулы (12) изгибающий момент от силы $0,5dN$ на плече f не учитывался ввиду малой величины. Величина коэффициента запаса k зависит от физико-механических свойств материала зажима и динамических нагрузок на него. Подстановка (7) и (10) в выражение (11) и алгебраические преобразования

позволяют получить условие прочности в виде

$$\left(\frac{\delta^3 E_1}{48r_0^2 c} + \frac{\gamma sa}{4r_0 c} \right) \left[\frac{6}{c} \left(b \text{ctg} \frac{\alpha}{2} + f \right) + 1 \right] \leq [\sigma]. \quad (13)$$

Подстановка (7) и (9) в выражение (12) и алгебраические преобразования позволяют получить условие жесткости в виде

$$\frac{1}{r_0 c^3 E_2} \left(\frac{\delta^3 E_1}{12r_0} + \gamma sa \right) b^3 \text{ctg} \frac{\alpha}{2} \leq \frac{f}{k}. \quad (14)$$

Выполнение условий (13), (14) обеспечивается подбором конструктивных параметров захвата — размеров b , c , f и угла α — при выполнении его из материала с модулем упругости, равным E_2 .

В процессе движения по трассе происходит радиальное смещение ленты относительно вертикального положения. Данное смещение приводит к соприкосновению края ленты, выполненной внахлест, с неподвижными элементами промежуточных опор, что приводит к повреждению ленты.

Таким образом, для исключения повреждения края ленты и разрушения ее крайних тросов были предложены застеежка и методика расчета одного из ее конструктивных вариантов. Использование застеежки позволяет исключить взаимодействие края ленты с неподвижными элементами промежуточных опор, приводящее к повреждению ленты и к потреблению дополнительных энергозатрат, возникающих из-за трения при движении ленты.

Библиографический список

1. **Давыдов, С. Я.** Решение проблемы эксплуатации трубчатых ленточных конвейеров ; Тезисы докладов Международной конференции огнеупорщиков и металлургов, 6–7 апреля 2017 г. / С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, М. С. Филатов [и др.] // Новые огнеупоры. — 2017. — № 3. — С. 28.
2. Подземный транспорт угольных шахт : уч. пос. ; под ред. академика РАН Ю. Н. Малышева и д. т. н., действительного члена Академии горных наук Г. И. Козового. — М. : Академия горных наук, 2013. — 488 с.
3. **Пат. 2019476, Российская Федерация.** Ленточный конвейер / Давыдов С. Я., Демидов А. Е., Федотов А. Ф., Кабанов В. И. — № 4860663 ; заявл. 29.05.90 ; опубл. 15.09.94 ; Бюл. № 17.
4. **Пат. 2264966, Российская Федерация.** Ленточный конвейер / Давыдов С. Я., Волков Д. Н., Кобелев В. А., Шунин Р. В. — № 2004116731 ; заявл. 01.06.04 ; опубл. 27.11.05, Бюл. № 33.

5. **Давыдов, С. Я.** Использование лент общепромышленного назначения для трубчатых ленточных конвейеров / С. Я. Давыдов, В. С. Шварев // Новые огнеупоры. — 2014. — № 4. — С. 16–23.
6. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
7. Заявка на изобретение RU 2017114686 от 26.04.2017. Ленточный конвейер с трубчатым сечением ленты / Давыдов С. Я., Таугер В. М., Филатов М. С.
8. **Поляков, А. А.** Сопротивление материалов и основы теории упругости : учебник / А. А. Поляков, В. М. Кольцов. — Екатеринбург : УрФУ, 2011. — 527 с. ■

Получено 19.05.17

© С. Я. Давыдов, В. М. Таугер, А. Н. Семин,
А. Ю. Долгих, В. Н. Корюков, 2018 г.