

Д. т. н. С. Я. Давыдов¹ (✉), д. т. н. Г. Г. Кожушко², к. т. н. В. Н. Корюков²

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

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

УДК 621.867.2:69.002.68

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ СТРОЙИНДУСТРИИ

Перечислены способы переработки шлаков от электролизеров и отражательных печей, шлаков производства вторичного алюминия, образующихся после извлечения из них алюминия, а также зол и шлаков ТЭС, ГРЭС и техногенных отходов черной металлургии и стройиндустрии. Дана сравнительная оценка трубчатых ленточных конвейеров (ТЛК) в странах БРИКС, а также технические параметры ТЛК Лебединского ГОКа и Рефтинской ГРЭС. Перечислены преимущества ТЛК. Предложен ТЛК с шаровыми опорами.

Ключевые слова: техногенные отходы, трубчатый ленточный конвейер (ТЛК), трение скольжения, дорожка качения, шаровые опоры.

Для улучшения свойств керамики часто применяют специальные сырьевые добавки, в частности золу теплоэлектростанций. Несмотря на большой опыт в применении золошлаковой смеси в строительной индустрии, объем потребления золы остается незначительным — на уровне 5–8 % ее выхода, что приводит к необходимости дальнейшего совершенствования способов ее применения [1]. Существует множество технологий переработки отходов, накопившихся на металлургических, машиностроительных, химических заводах, ТЭС, ГРЭС, горно-обогатительных комбинатах. Наиболее хорошо изучены и нашли применение золы и шлаки ТЭС, ГРЭС, отходы черной металлургии.

По параметрам изменения пластической прочности установлено, что при введении золы происходят повышение нормальной формовочной влажности и снижение прочности связи в коагуляционной структуре. Установлены причины улучшения сушильных свойств глинистого сырья при использовании золы. Введение золы уменьшает чувствительность глины к сушке и улучшает качество высушенных образцов. Процесс образования прочной структуры керамического материала на стадии обжига протекает активнее в присутствии добавки золы, флюсующее действие которой обуславливает раннее и интенсивное образование расплава пониженной вязкости, криптокристаллических фаз, а также равномерное распределение расплава на межфазных границах. Связыва-

нию оксидов кальция и магния в высокопрочные алюмосиликаты способствуют анортит и диопсид, кристаллизации альбита и шпинели. Низковязкий расплав растворяет кремнезем в глинистых системах, препятствуя процессу кристобалитизации. Это повышает прочность и морозостойкость керамического изделия. Кроме того, установлено, что добавка золы снижает брак при сушке и обжиге. Расход топлива на обжиг снижен на 5–6 %. Керамические изделия с добавкой золы от сжигания осадков сточных вод относятся к низкорadioактивным объектам и соответствуют первому классу радиационной безопасности, пригодны для строительства. В ЗАО НПО «Керамика» разработаны ТУ 5718-001-03323809-98 на золу от сжигания осадков сточных вод и дополнения к технологической карте производства керамического изделия (ТК 05173538-01-00) [2].

Одним из видов отходов, не утилизируемых в настоящее время, являются отходы производства алюминия (шлаки от электролизеров и отражательных печей, производства вторичного алюминия — ОПВА). ОПВА являются достаточно ценным сырьем, так как содержание Al_2O_3 в них достигает 60 мас. % [4]. В настоящее время известно лишь несколько способов переработки таких отходов [4]:

- частичная замена природных бокситов на ОПВА при производстве глиноземистого цемента доменным способом. Это позволяет снизить расход кокса в доменных печах на 0,67–1 кг (в расчете на 1 кг поданных ОПВА);

- использование ОПВА в качестве комплексной добавки при производстве ячеистого бетона, а также после водной отмывки от солей и обработки суспензии ОПВА минеральными кислотами, получение технических солей алю-



С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

миния (сульфатов, гидроксосульфатов, гидроксохлоридов), которые можно использовать в качестве коагулянтов при фильтрации иловых осадков городских сточных вод;

– получение шпинельнопериклазового материала и периклазошпинельных огнеупоров. Алюмомагнезиальная шпинель, входящая в состав синтезированного материала, обладает ценными техническими свойствами.

Для перемещения техногенного сырья используют трубчатые ленточные конвейеры (ТЛК) со специальной дорогостоящей лентой, которые широко применяются за рубежом и единично в России (на Лебединском ГОКе и Рефтинской ГРЭС). Лента, свернутая в трубу, позволяет улучшить санитарные условия труда, обеспечить полную сохранность груза, исключить вредное воздействие химических агрессивных грузов на металлоконструкцию конвейера, удлинняя срок его эксплуатации. Появляется возможность транспортировать материалы под углом 20–25°. Основной недостаток существующих ТЛК — дороговизна запатентованной ленты, на которой они работают. Эта лента в России не производится, а затраты при ее замене сопоставимы с ценой самого конвейера. Комплектуя в России тоже не производятся, а стоимость их при последующих закупках резко увеличивается. Фактически это продуманная стратегическая политика зарубежных производителей — создание зависимости российских потребителей от поставок извне.

В России для транспортирования насыпных грузов используют конвейеры нового поколения компании «Конвейер-груп» [4] (<http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254>). Характеристика ТЛК ContiTech [5] (ориентировочные данные для определения размеров при проектировании): ширина ленты B от 600 до 3200 мм; наружный диаметр D от 150 до 900 мм*; рекомендуемый коэффициент заполнения η_F 75 %; рекомендуемая скорость транспортировки (в зависимости от наружного диаметра роликоопор) v от 2,3 до 6,5 м/с; максимальный размер кусков (в зависимости от внутреннего диаметра трубчатой ленты и параметров конвейерной установки) a от 50 до 350 мм; угол отклонения для горизонтальных и вертикальных поворотов α 0–90°; максимальный угол наклона β 30°. Наименьший радиус кривой для горизонтальных и вертикальных поворотов трассы транспортировки: R_{TK} = внешний диаметр $\times$ 300 (для резинотканевых трубчатых лент), R_{TP} = внешний диаметр $\times$ 600 (для резинотросовых трубчатых лент); наименьшая длина для участков сворачивания и разворачивания трубчатой конвейерной ленты: l_{TK} = внешний диаметр $\times$ 30 (для резинотканевых трубчатых лент),

l_{TP} = внешний диаметр $\times$ 60 (для резинотросовых трубчатых лент); максимальная объемная производительность V_{max} при скорости транспортировки $v = 1$ м/с, максимальном наружном диаметре $D = 900$ мм и коэффициенте заполнения $\eta = 75$ %: $V_{max} \approx 1500$ м³/ч.

Многолетний опыт эксплуатации ТЛК в жестких условиях, конструктивные особенности и оригинальные технические решения определили ряд важных преимуществ ТЛК по сравнению с классическими конвейерами [5]:

– уменьшенную на 30–50 % потребность в конвейерной ленте и возможность использовать дешевую ленту отечественного производства с увеличением в 1,5–2,0 раза срока ее службы;

– возможность транспортирования как крупнокусковых, так и пылящих мелкодисперсных материалов с сохранением их качества, исключением пыления и просыпания транспортируемых грузов;

– возможность повышения угла наклона конвейера до 35–45° при использовании гладкой отечественной ленты и до 60–70° — шевронной ленты;

– уменьшение энергоемкости транспортирования грузов в 1,5–2,0 раза;

– возможность реконструкции классических ленточных конвейеров с увеличением производительности до 30 %;

– защита грузов от внешних воздействий для улучшения экологической обстановки в зонах эксплуатации конвейеров;

– возможность горизонтальных и вертикальных изгибов трассы конвейера, что позволяет транспортировать грузы на значительные расстояния без узлов перегрузки, которые снижают надежность конвейерных линий.

Применение современных антистатических и негорючих полимерных материалов при изготовлении роликов позволит еще более продвигаться в решении вопросов безопасной эксплуатации ленточных конвейеров. В конструкции конвейеров учтены такие важные параметры, как эксплуатационная надежность и ремонтопригодность. Проводятся испытания по замене металлических роликов на ролики, изготовленные из антистатических полимеров, что позволит уменьшить массу ролика до 200–800 г, увеличить срок его службы и улучшить условия труда в шахтах, рудниках и на обогащенных фабриках [3]. Ужесточение мер по охране окружающей среды способствует интенсивному развитию герметически закрытых способов транспортирования грузов строительной промышленности при использовании ТЛК. В табл. 1 представлен перечень ТЛК стран БРИКС с длиной трассы 400 м и более [7–10].

В России ТЛК эксплуатируется на Лебединском ГОКе для подачи окатышей с фабрики окомкования в цех горячебрикетированного

* Наружный диаметр свыше $D = 700$ мм имеет новое изделие серии Conti® MegaPipe.

Таблица 1. Перечень ТЛК стран БРИКС с длиной трассы 400 м и более*

№ п/п	Локализация ТЛК	Длина, м	Диаметр, мм	Производительность, т/ч	Дата ввода в эксплуатацию, год	Размер частиц, мм
1	Tadipatri, Индия	470	315	800	2000	<25
2	RichardsBay, Южная Африка	870	360	≤2500	2002	2
3	VikramCement, Индия	400	240	385	2004	4000
4	Sterlite LDC, Индия	5000	400	1150	2005	<80
5	CNOOC, Китай	2200	—	400	2011	—
6	Рефтинская ГРЭС, Россия	4390	570	2200	2014	—
7	Huainan Coal Mining М. Р., Китай	2300	—	800	—	—
8	Indo Gulf, Индия	3400	—	1800	—	—
9	Jordan, Phosphate, Индия	2800	—	1250	—	—

* Техническая характеристика ТЛК Лебединского ГОКа указана в тексте статьи.

железа [8]. В 2015 г. компания «Спецстроймонтажпром» приступила к реализации контракта по объекту «Открытая эстакада трубчатого конвейера транспортировки оксидов» в рамках строительства цеха горячебрикетированного железа № 3 (ЦГБЖ-3) на Лебединском ГОКе [9]. Техническая характеристика ТЛК Лебединского ГОКа [8]: производительность 900 т/ч, длина конвейера 1010 м, радиус изгиба 140 м, диаметр трубы 300 мм, ширина ленты 1100 мм, скорость движения ленты 2,62 м/с.

В 2015 г. на Рефтинской ГРЭС запущен экологический проект по использованию золы в стройиндустрии. При этом для транспортировки 2200 т/ч материала с температурой +90 °С при температуре окружающей среды -45 °С со скоростью 5,2 м/с использован ТЛК (рис. 1), который при длине конвейера 4390 м и высоте транспортировки 30 м имеет пять горизонтальных и один вертикальный поворот. Минимальный радиус кривизны 420 м [10]. Промышленное применение ТЛК показало, что обжимные ролики с затруднением вписываются в поперечное сечение этих конвейеров [11]. При любом незначительном их перекосе (см. рис. 1, б) относительно движущейся ленты возникают значительные силы сопротивления их вращению. Происходит это за счет создания трения между их поверхностями триботехнической системы. Это, в свою очередь, отражается на потреблении энергозатрат, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера. Следует отметить, что сохранение трубчатой формы ленты и удержание свернутой ленты внахлест приводит к отказам ее элементов, переходу режима трения качения к трению скольжения, увеличению площади фактического контакта поверхностей трения и повышению энергозатрат.

Ранее [11] было рассмотрено влияние перекоса ролика на сопротивление движению ленты. Вследствие перекоса тратится больше энергии на преодоление сил трения, а учитывая то, что длина трассы ТЛК может составлять десятки



Рис. 1. ТЛК для транспортировки золы Рефтинской ГРЭС: а — общий вид трассы 4390 м; б — грузовая и порожняя ветви свернутой в трубу ленты с цилиндрическими роликоопорами

километров, потери получаются довольно внушительными. Во избежание излишних потерь на преодоление сил трения была предложена замена роликов на шары,двигающиеся по дорожке качения вдоль движения ленты. В японском патенте [12] шары заключены внутри своих чашек в виде вогнутых полусфер и контактируют с ними, фиксируются уплотнительными прокладками и пластинами, которые находятся в контакте с полусферами, что в сумме вызывает значительное повышение коэффициентов трения, приводящих к интенсивному износу и нагреву поверхностей трения триботехнической системы. Отсутствие зазора между сферами шаров и многочисленных контактных элементов также вызывает значительное повышение коэффициента трения. Все перечисленное создает дополнительные сопротивления

вращению шаров и усложняет конструкцию данного узла. Сопротивление вращению шаров отражается на потреблении энергии, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера. Поэтому с учетом этих недостатков разработан конвейер с опорами, выполненными в виде пустотелых сфер [13]. Для уменьшения давления на пятно контакта шаров и поверхности трубчатой ленты поверхность шаров предложено выполнить из антифрикционного материала. Примером длительного использования полиэтиленовых роликов служит их эксплуатация без замены в течение 11 лет на конвейере платиновой шахты в Ботсване, где конвейером перегружено 120 млн т угля. При этом ролики до сих пор не требуют замены [14].

Для уменьшения сил трения скольжения разработан вариант шаровых опор с дорожками качения [15]. Ленточный конвейер (рис. 2) с шаровыми опорами [15] включает С-образную конвейерную ленту 1 с кромками 2, расположенными вверх на грузовой и порожней ветвях конвейера (порожняя ветвь не показана). Вокруг конвейерной ленты 1 установлены опоры 3, снабженные дорожками качения 4, которые имеют замкнутый (закольцованный) контур. Между наружной поверхностью ленты 1 и дорожками качения 4 вставлены шары (тела качения) 5, распределенные по окружности ленты. Шары 5 объединены в замкнутую цепь сепараторами 6, смонтированными между центрами вращения шаров 5, контактирующих с завернутой лентой 1, и ее наружной поверхностью. Дорожки качения 4 опор 3 выполнены вытянутыми, например в виде овала. Дорожки качения 4 имеют два прямолинейных ряда 7 и 8, расположенных друг над другом с возможностью поочередного прижатия шаров 5

к наружной поверхности ленты 1, и установлены вдоль движения конвейерной ленты 1. Количество шаров и дорожек качения 4 определяется расчетным путем с учетом упругости ленты, диаметра завернутой ленты и физико-механических свойств транспортируемого материала.

При движении ленты сыпучий материал, особенно пылеобразный, постепенно обжимается этой движущейся лентой и уплотняется, превращаясь в движущуюся пробку, что дает возможность повышенного подъема материала и поворота в горизонтальной и вертикальной плоскости. В исходный момент времени лента 1 контактирует в каждой опоре с n или $n + 1$ телами качения. Число n определяется по формуле $n = l/t$, где l — длина прямолинейного участка дорожки качения 7; t — расстояние между двумя соседними телами качения (шарами). На рис. 2 показан контакт ленты с $n + 1$ шарами. Основная часть веса ленты с транспортируемым материалом приходится на нижние опоры, причем в каждой опоре нагрузка воспринимается не одним, а несколькими телами качения. При движении ленты (см. стрелку на рис. 2) со скоростью v силы трения между лентой и шарами вовлекают контактирующие с лентой шары во вращение, вследствие чего все шары в замкнутой цепи перекатываются по направляющей 7 с относительной скоростью $v / 2$. После того как правый верхний шар 5 (см. рис. 2) сойдет с прямолинейного участка направляющей 7, в контакте с лентой останется n шаров, а в момент, когда слева на прямолинейный участок выйдет очередной шар, лента снова будет взаимодействовать с $n + 1$ шарами. Распределение нагрузки от ленты между шарами в опоре приводит к уменьшению деформации, снижению сопротивления перемещению и повышению долговечности ленты. Предлагаемое исполнение опоры позволяет распределить приходящуюся на нее нагрузку между несколькими (не менее чем двумя) телами качения и таким образом снизить напряжения на поверхности контакта ленты с телом качения, уменьшить сопротивление перемещению и повысить долговечность ленты.

Для исследования целесообразности использования шаров в ТЛК вместо цилиндрических роликов выполнена сравнительная оценка контактного взаимодействия в двух случаях: цилиндр – цилиндр и шар – цилиндр. Свернутая в трубу лента представляет собой цилиндр, так же как и опорный ролик, а шаровая опора соответственно шар, поэтому была выполнена сравнительная оценка контактного взаимодействия в двух случаях: цилиндр – цилиндр и шар – цилиндр [16]. Расчет контакта опорных цилиндрических и шаровых роликов, одинаковых по массе, и трубчатой ленты был выполнен с использованием следующих исходных данных [2, 13]: радиус трубы ленты $R_1 = 0,15$ м, радиус опорного ролика или шара $R_2 = 0,054$ м, модуль упругости стали $E_1 =$

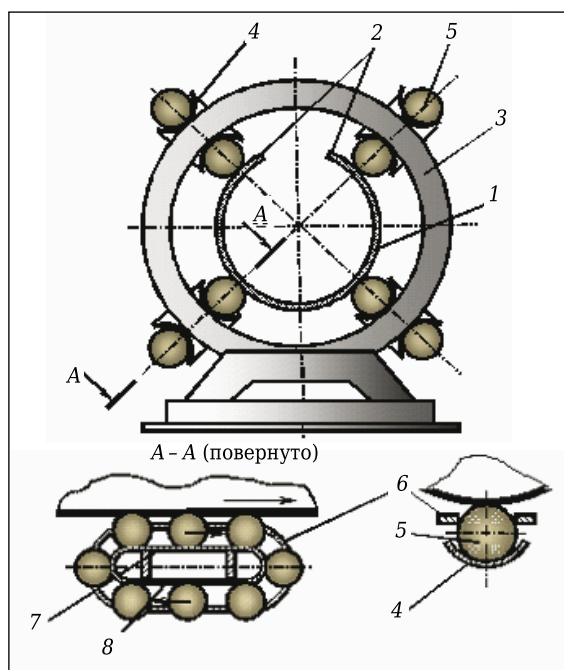


Рис. 2. Рабочая ветвь ленты ТЛК

$= 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона для стали $\nu_1 = 0,3$, модуль упругости резины $E_2 = 27$ МПа, коэффициент Пуассона для резины $\nu_2 = 0,5$, модуль упругости углепластика $E_3 = 1,4 \cdot 10^5$ МПа (<http://emtc.ru/media/1444.pdf>), коэффициент Пуассона для углепластика $\nu_1 = 0,3$, насыпная плотность груза $\rho = 2100$ кг/м³, плотность ленты $\rho = 1800$ кг/м³, ширина ленты $B = 1,1$ м, толщина ленты $\delta = 0,012$ м, коэффициент заполнения $\varphi = 70$ %, расстояние между роlikоопорами $l = 1,2$ м.

Прикладываемую нагрузку рассчитаем по формуле

$$P = \rho \cdot g \cdot \pi \cdot R_1^2 \cdot l \cdot \varphi + \rho \cdot g \cdot l \cdot \delta \cdot B = 1223 + 279 = 1502 \text{ Н.}$$

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА ДЛЯ ДВУХ ЦИЛИНДРОВ

Размеры площадки контакта для тел из разных материалов:

– радиус контактной площадки a определяется по формуле

$$a = m \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{P \cdot E^*}{A + B}},$$

где E^* — эквивалентный модуль упругости, если материал контактирующих тел разный; A и B — постоянные коэффициенты, зависящие от радиусов:

$$A + B = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

$$B - A = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} + 2 \cdot \frac{2 \cdot \cos(2\psi)}{R_1 \cdot R_2} \right)^{\frac{1}{2}};$$

ψ — угол между плоскостями, содержащими радиусы R_1 и R_2 ; m и n — коэффициенты, которые берутся в зависимости от отношения $(B - A)/(A + B)$;

– половина ширины контактной площадки b определяется по формуле

$$b = n \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{P \cdot E^*}{A + B}};$$

– максимальное давление определяется по формуле

$$q = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot b}.$$

После подстановки конкретных значений имеем:

$$a = 1,424 \cdot \sqrt[3]{2,356 \cdot \frac{1502 \cdot 0,008842}{0,013}} = 19,084 \text{ мм,}$$

$$b = 0,741 \cdot \sqrt[3]{2,356 \cdot \frac{1502 \cdot 0,008842}{0,013}} = 9,93 \text{ мм,}$$

$$q = \frac{3 \cdot 1502}{2 \cdot 3,14 \cdot 19,298 \cdot 9,93} = 3,784 \text{ МПа.}$$

Размеры площадки контакта для тел из одинакового материала:

$$a = m \sqrt[3]{1,36 \cdot \frac{P}{E \cdot (A + B)}} = 1,424 \cdot \sqrt[3]{1,36 \cdot \frac{1502}{27 \cdot 0,013}} = 25,614 \text{ мм,}$$

$$b = n \sqrt[3]{1,36 \cdot \frac{P}{E \cdot (A + B)}} = 0,741 \cdot \sqrt[3]{1,36 \cdot \frac{1502}{27 \cdot 0,013}} = 13,329 \text{ мм.}$$

Максимальное давление:

$$q = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot b} = \frac{3 \cdot 1502}{2 \cdot 3,1415 \cdot 25,902 \cdot 13} = 2,102 \text{ МПа.}$$

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТА ДЛЯ ПАРЫ ШАР – ЦИЛИНДР

Радиус площадки контакта для тел из разного материала (сталь и резина):

$$a = m \sqrt[3]{P \cdot E^* \cdot R_1} = 1,424 \cdot \sqrt[3]{1502 \cdot 0,008842 \cdot 150} = 17,918 \text{ мм.}$$

Максимальное давление для тел из разного материала (сталь и резина):

$$q = m \sqrt[3]{\frac{P}{(E^*)^2 \cdot R_1^2}} = 1,424 \cdot \sqrt[3]{\frac{1502}{0,008842^2 \cdot 150^2}} = 13,509 \text{ МПа.}$$

Радиус площадки контакта для тел из разного материала (углепластик и резина):

$$a = m \sqrt[3]{P \cdot E^* \cdot R_1} = 1,424 \cdot \sqrt[3]{1502 \cdot 0,008844 \cdot 150} = 17,919 \text{ мм.}$$

Максимальное давление для тел из разного материала (углепластик и резина):

$$q = m \sqrt[3]{\frac{P}{(E^*)^2 \cdot R_1^2}} = 1,424 \cdot \sqrt[3]{\frac{1502}{0,008844^2 \cdot 150^2}} = 13,5 \text{ МПа.}$$

Результаты расчета представлены в табл. 2. По результатам расчета давления опорного ролика на ленту при ее радиусах 100, 150, 200 и 250 мм на рис. 3 показан график зависимости давления от радиуса ленты. Поскольку модуль упругости углеволокна и стали практически не различается, зависимость для углеволокна описывается кривой 3 (см. рис. 3). По результатам выполненной работы можно сделать вывод, что у шарового ролика давление больше, чем у цилиндрического, следовательно, необходимо увеличить их число.

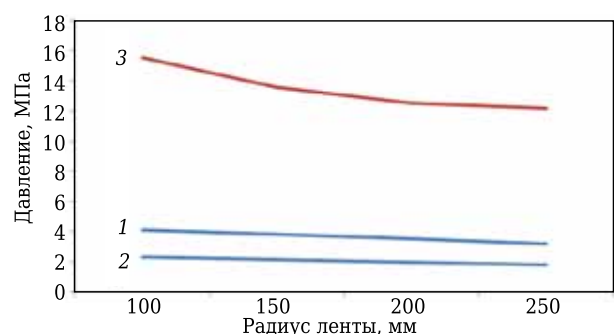


Рис. 3. Зависимость давления, оказываемого на ленту, от радиуса ленты. Для цилиндрического ролика: 1 — разные материалы; 2 — одинаковый материал; для шарового ролика: 3 — разные материалы

Таблица 2. Результаты расчета

Цилиндр – цилиндр	Шар – цилиндр
Стальной опорный ролик и прорезиненная трубчатая лента Цилиндрический ролик $a = 19,084$ мм $b = 9,93$ мм $q = 3,784$ МПа Футерованный резиной опорный ролик и прорезиненная трубчатая лента Цилиндрический ролик $a = 25,614$ мм $b = 13,329$ мм $q = 2,102$ МПа	Шаровой ролик $a = 17,918$ мм $q = 13,509$ МПа

Библиографический список

1. <http://tekhnosfera.com/primenenie-zol-teplovyyh-elektricheskikh-stantsiy-dlya-proizvodstva-keramicheskikh-izdeliy#ixzz4PhrSsWZO>
2. <http://www.dissercat.com/content/keramicheskii-kirpich-s-zoloi-ot-szhiganiya-osadkov-stochnykh-vod#ixzz4PhteCyCS>
3. <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254>
4. <http://indinn.ru/stati/2015-02-10/otkhody-proizvodstva-vtorichnogo-alyuminiya-syre-dlya-polucheniya>
5. <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254-besprosyynye-lentochnye-konveyery>
6. http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
7. <http://pandia.ru/text/80/138/9642.php>
8. Давыдов, С. Я. Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов : исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
9. <http://ssmprom.ru/otkrytaya-estakada-trubchatogo-konveyera-transportirovki-oksidov/>
10. http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
11. Давыдов, С. Я. Предпосылки создания энергосберегающих конструкций трубчатых ленточных конвейеров / С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев, Н. Г. Валиев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 10. — С. 22–26.
12. Пат. 2006256781 (А) JP. Трубчатый конвейер / Kanesada Michio. — № 20050076335 ; заявл. 17.03.05.
13. Пат. 2548218 Российская Федерация. Ленточный конвейер / Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Боярский Г. А. — № 2013134805 ; заявл. 23.07.13 ; опубл. 20.04.15, Бюл. № 11.
14. <http://chinaguitar.ru/primenenie-konveyernih-lent-i-remney/transilonovaya-konveyernie-lenti-v-rossii.html>
15. Заявка 2016145381 Российская Федерация. Ленточный конвейер с шаровыми опорами / Таугер В. М., Давыдов С. Я., Боярских Г. А., Филатов М. С. ; заявитель ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» ; заявл. 18.11.16.
16. Менькова, Н. М. Применение контактной задачи теории упругости в прикладной механике. Общий обзор / Н. М. Менькова. — М., 2012. — 14 с. ■

Получено 09.01.17

© С. Я. Давыдов, Г. Г. Кожушко,
В. Н. Корюков, 2017 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ЕАМС — Европейский конгресс по высокотехнологичным материалам

г. Стокгольм, Швеция 22–24 августа 2017 г.

www.vbripress.com/eamc

