

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, М. С. Филатов, Н. И. Полежаев, Г. Г. Кожушко

The use of tubular belt conveyors for the industrial waste of enterprises

S. Ya. Davydov, N. G. Valiev, M. S. Filatov, N. I. Polezhaev, G. G. Kozhushko

The methods of processing slag of electrolyzers and reverberatory furnaces slag of secondary aluminum production, obtained after extracting aluminum, as well as ash and slag of thermal power plants, hydro plants, waste of ferrous metallurgy in the construction industry are presented in this work. Tubular belt conveyor (TBC) with the use of special expensive tapes, are widely used abroad for moving industrial raw materials. It is also used in Russia (Lebedinsky ore-dressing and processing enterprise and Reftinskaya hydro power). A tape which is rolled in a tube allows to improve the sanitary conditions of labor, to ensure the full safety of cargo, to exclude the harmful effects of aggressive chemical cargoes at the metal of the conveyor, extending its service life. There is an opportunity to convey materials under the angle of 20–25°. The main drawback of TBC, which exist today, is that they are working on an especially patented tape, which is very expensive and it is not produced in Russia. The costs of its replacement are comparable to the price of the pipeline. The Russian customers have already faced this problem. The components are not produced in Russia either, and the cost of their subsequent purchases increases dramatically.

The technical parameters of TBC of the Lebedinsky ore-dressing and processing enterprise and the Reftinskaya hydro power, as well as a comparative table on the use of TBC are presented in this work. Lists of the advantages of TBC are also adduced. The characteristic of TBC Contitech are given.

The use of modern anti-static and flame retardant polymeric materials in the manufacture of the rollers will allow further progress in solving the issues of safe operation of belt conveyors. Such important parameters as reliability and maintainability were taken into account while constructing these conveyors. The tests to replace the metal clips with the rollers, which are made of anti-static polymers are carried out. This will reduce the weight of the roller to 200-800 g, which will increase its service life and will improve the working conditions in mines and processing plants. The calculation of the contact supporting cylindrical rollers and ball of equal mass and tubular tapes has been carried out. In order to study the feasibility of using balls instead of cylindrical rollers, a comparative evaluation of the contact interaction has been carried out for two cases: cylinder-cylinder and sphere-cylinder bodies of different material. The evaluation has been carried out for the case with the same material as well.

Keywords: industrial waste; tubular belt conveyor (TLC); sliding friction; a raceway; ball bearings.

Представлены способы переработки шлаков электролизеров и отражательных печей, шлаков производства вторичного алюминия, образующихся после извлечения из них алюминия, а также зол и шлаков ТЭС, ГРЭС, отходы черной металлургии в стройиндустрии. Перечислены преимущества трубчатых ленточных конвейеров. Даны технические параметры трубчатого ленточного конвейера (ТЛК) Лебединского ГОКа и Рефтинской ГРЭС, а также сравнительная таблица по использованию ТЛК. Дана характеристика ТЛК Contitech. Выполнен расчет контакта опорных цилиндрических и шаровых роликов, одинаковых по массе, и трубчатой ленты. Для исследования целесообразности использования шаров вместо цилиндрических роликов приведена сравнительная оценка контактного взаимодействия в двух случаях: цилиндр–цилиндр и шар–цилиндр для тел из разного и одинакового материала. По итогам выполненной работы можно сделать вывод, что у шарового ролика давление больше цилиндрического, следовательно, необходимо увеличить их число. Согласно данным центра экологической политики и права при Йельском университете, Россия находится на 32 месте по состоянию экологии. Использование трубчатых ленточных конвейеров в разных отраслях промышленности способствовало улучшению этого показателя, а применение энергосберегающих технологий и конструктивных решений для этих конвейеров могло бы стать хорошим подспорьем для экономики России.

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

Развитие теплоэнергетики, увеличение добычи полезных ископаемых, повышение объемов выплавки металлов привело к значительному накоплению различных видов отходов, образующихся как в процессе производства, так и на различных стадиях их переработки. Отходы загрязняют окружающую среду и вместе с тем представляют собой ценное минеральное сырье, которое может быть использовано для производства строительных материалов.

Существует большое количество 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.

В последние годы проводятся исследования по использованию техногенных отходов. Такая тенденция обусловлена истощением природных ресурсов и ухудшением экологической обстановки в промышленных регионах. Техногенные отходы предприятий – это ценное сырье для получения продукции в отраслях народного хозяйства.

Одним из видов отходов, не утилизируемых в настоящее время, являются отходы производства алюминия (шлаки электролизеров и отражательных печей, шлаки производства вторичного алюминия) – ОПВА [1].

Для перемещения техногенного сырья трубчатые ленточные конвейеры (ТЛК) с применением специальной дорогостоящей ленты широко применяются за рубежом и единично в России (на Лебединском ГОКе [2] и Рефтинской ГРЭС [3]). Свернутая в трубу лента позволяет улучшить санитарные условия труда, обеспечить полную сохранность груза, исключить вредное воздействие химических агрессивных грузов на металлоконструкцию конвейера, удлинить срок его эксплуатации. Появляется возможность транспортировать материалы под углом 20–25°.

Основным недостатком существующих до сегодняшнего дня конструкций ТЛК является то, что они работают на запатентованной специальной и очень дорогостоящей ленте, которая в РФ не производится, а затраты при ее замене сопоставимы с ценой самого конвейера, с чем уже столкнулись российские заказчики. Комплектующие в России тоже не производятся, а стоимость их при последующих закупках резко увеличивается. Фактически это продуманная стратегическая политика зарубежных производителей по созданию зависимости российских потребителей от поставок извне.

В России для транспортирования насыпных грузов конвейеры нового поколения изготавливает компания «Конвейер-груп» [4].

Ниже приведены характеристики трубчатых ленточных конвейеров Contitech [5].

Ориентировочные значения для определения размеров при проектировании:

Ширина ленты B , мм	От 600 до 3200*
Наружный диаметр D , мм	От 150 до 900*
Рекомендуемый коэффициент заполнения η , %	75
Рекомендуемая скорость транспортировки (в зависимости от наружного диаметра роликоопор) v , м/с	От 2,3 до 6,5*
Максимальный размер кусков (в зависимости от внутреннего диаметра трубчатой ленты и параметров конвейерной установки) d , мм	От 50 до 350*
Угол отклонения для горизонтальных и вертикальных поворотов α , град.	0–90
Максимальный угол наклона β , град.	30°
Наименьший радиус кривой для горизонтальных и вертикальных поворотов трассы транспортировки:	
для резиноканевых трубчатых лент	$R_{\text{тк}} = \text{Внешний диаметр} \times 300$

Наименьшая длина для участков сворачивания и разворачивания трубчатой конвейерной ленты:

для резиновых трубчатых лент	$R_{гп}$ = Внешний диаметр х 600
для резиноканевых трубчатых лент	$I_{гк}$ = Внешний диаметр х 30
для резиновых трубчатых лент	$I_{гп}$ = Внешний диаметр х 60

Максимальная объемная производительность $V_{\max} \approx 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ при скорости транспортировки $v = 1 \text{ м/с}$, максимальном наружном диаметре $D = 900 \text{ мм}$ и коэффициенте заполнения $\eta = 75 \%$. * Наружный диаметр свыше $D = 700 \text{ мм}$ имеет новое изделие серии Conti® MegaPipe.

Многолетний опыт эксплуатации в жестких условиях, конструктивные особенности и оригинальные технические решения определили ряд важных преимуществ по сравнению с классическими конвейерами [4]:

- уменьшенную на 30–50 % потребность в конвейерной ленте и возможность использовать дешевую ленту отечественного производства с увеличением в 1,5–2 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° – на шевронной ленте;
- уменьшение энергоемкости транспортирования грузов в 1,5–2 раза;
- возможность реконструкции классических ленточных конвейеров с увеличением производительности до 30 %;

- защита грузов от внешних воздействий, что улучшает экологическую обстановку в местах 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 продвинуться в решении вопросов безопасной эксплуатации ленточных конвейеров.

В конструкции конвейеров учтены такие важные параметры, как эксплуатационная надежность и ремонтпригодность. Проводятся испытания по замене металлических роликов на ролики, изготовленные из антистатических полимеров, что позволит уменьшить массу ролика до 200–800 г, увеличит срок его службы и улучшит условия труда в шахтах, рудниках и на обогачительных фабриках [4].

Ужесточение мер по охране окружающей среды способствует интенсивному развитию герметически закрытых способов транспортирования грузов, один из которых реализован при использовании ТЛК. В табл. 1 представлен перечень 10 ТЛК [6].

В России трубчатый ленточный конвейер эксплуатируется на Лебединском ГОКе для подачи окатышей с фабрики окомкования в цех горячебрикетированного железа [2]. 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 (Белгородская обл.) [7].



Рисунок 1. ТЛК золы Рефтинской ГРЭС. а – общий вид трассы 4390 м; б – грузовая и порожняя ветви свернутой в трубу ленты с цилиндрическими роликоопорами.

Таблица 1. Перечень 10 протяженных ТЛК.

Предприятие, страна	Длина, м	Диаметр, мм	Грузопоток, т/ч	Груз	Ввод в эксплуатацию, год	Размер частиц, мм
Chanda, India	147	240	250	Цемент	2001	< 3500
Tadipatri, India	470	315	800	Клинкер	2000	< 25
Richards Bay, South Africa	870	360	≤ 2500	Циркон Рутил Ильменит	2002	2
Vikram Cement, India	400	240	385	Цемент	2004	4000
Sterlite LDC, India	5000	400	1150	Бокситы	2005	< 80
Dalmha Cement Ltd, India	184	260	250	Гипс Цементные добавки	2005	80
CNOOC, China	2200	–	400	Кокс	2011	–
Рефтинская ГРЭС, Россия	4390	570	2200	Зола	2015	–
Лебединский ГОК, Россия	1010	300	900	Железорудные окатыши	2006	До 20
Salobo-Para, Brazil	1800	500	4600	Медный концентрат	–	–

Техническая характеристика ТЛК Лебединского ГОКа [2].

Производительность, т/ч	900
Длина конвейера, м	1010
Радиус изгиба, м	140
Диаметр трубы, мм	300
Ширина ленты, мм	1100
Скорость движения ленты, м/с	2,62

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). При длине конвейера 4390 м и высоте транспортировки 30 м система имеет 5 горизонтальных и один вертикальный поворот. Минимальный радиусом кривизны равен 420 м. В системе установлена высокоскоростная резиновая трубчатая конвейерная лента CONTIR PIPE 2500 S-K2, 8:7, Vulcan T150 шириной 2000 мм и внешним диаметром трубчатой ленты 570 мм [5].

Промышленное применение трубчатых конвейеров показало, что обжимные ролики с затруднением вписываются в поперечное сечение этих конвейеров [8]. При любом незначительном перекосе установленных обжимных роликов относительно движущейся ленты возникают значительные силы сопротивления их вращению. Происходит это за счет создания трения между поверхностями обжимных роликов и движущейся ленты триботехнической системы, влияющего на коэффициент трения. Это, в свою очередь, отражается на потреблении энергозатрат, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера.

Сила трения качения зависит не только от давления, материалов и состояния поверхности, но и от радиусов тел качения. Поэтому коэффициент трения качения имеет размерность длины. Его физический смысл – ширина участка деформации, возникающей в районе контакта катящегося тела и поверхности опоры.

Следует отметить, что сохранение трубчатой формы ленты и удержание свернутой ленты внахлест намного усложняют конструкцию конвейера, что приводит к отказам ее элементов, увеличению площади фактического контакта поверхностей трения и повышению энергозатрат.

В работе [8] было рассмотрено влияние перекоса роликов на сопротивление движению ленты. Вследствие перекоса роликов тратится больше энергии на преодоление сил трения, а учитывая то, что длина ТЛК может составлять десятки километров, то 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.

Согласно патенту [9], 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 наличия 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 энергозатрат, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера.

С учетом указанных недостатков разработан конвейер с опорами, выполненными в виде пустотелых сфер [10]. Авторами были проведены дополнительные работы по уменьшению сил трения скольжения, т. е. был разработан вариант шаровых опор только с трением качения [11]. Для уменьшения давления на пятно контакта шаров и поверхности трубчатой ленты предложено выполнить поверхность шаров из антифрикционного материала.

Разработаны и экспериментально обоснованы конструктивные параметры ползуамкнутого трубчатого ленточного кон-

вейера с кромками, обращенными вверх, что отражается на значительном снижении нагрузок от скручивающего ленту момента и позволяет до 30 % увеличить его производительность по сравнению с известным загибом этой же ленты внахлест.

Для исследования целесообразности использования шаров вместо цилиндрических роликов проведена 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* [12].

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 , м	0,15
Радиус опорного ролика или шара R_2 , м	0,054
Модуль упругости стали E_1 , МПа	$2 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона для стали ν_1	0,3
Модуль упругости резины E_2 , МПа	27
Коэффициент Пуассона для резины ν_2	0,5
Модуль упругости углеродистого железа E_3 , МПа	$1,4 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона для углеродистого железа ν_3	0,3
Насыпная плотность груза ρ_1 , кг/м ³	2100
Плотность ленты ρ_2 , кг/м ³	1800
Ширина ленты B , м	1,1
Толщина ленты δ , м	0,012
Коэффициент заполнения φ , %	70
Расстояние между роликоопорами l , м	1,2

Прикладываемую нагрузку рассчитаем по следующей формуле:

$$P = \rho_1 g \pi R_1^2 l \varphi + \rho_2 g l \delta B = 1223 + 279 = 1502 \text{ Н.}$$

Расчет параметров контакта для двух цилиндров [12]

Размеры площадки контакта для тел из разных материалов: – радиус контактной площадки a определяется формулой

$$a = m \sqrt{\frac{3\pi}{4} \cdot \frac{PE^*}{A+B}},$$

где E^* – эквивалентный модуль упругости, если материал контактирующих тел разный:

$$E^* = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2};$$

A, B – постоянные коэффициенты, зависящие от радиусов R_1 и R_2 :

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

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

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

Половина ширины контактной площадки b определяется формулой

$$b = n \sqrt{\frac{3\pi}{4} \cdot \frac{PE^*}{A+B}}.$$

Максимальное давление определяется формулой

$$q = \frac{3P}{2\pi ab}.$$

После подстановки конкретных значений имеем

$$a = 19,084 \text{ мм}; b = 9,93 \text{ мм}; q = 3,784 \text{ МПа.}$$

Размеры площадки контакта для тел из одинакового материала:

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

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

Максимальное давление:

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

Расчет параметров контакта для пары шар–цилиндр

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

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

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

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

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

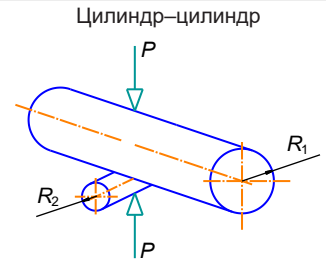
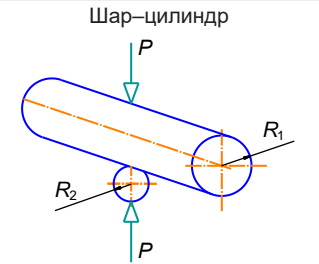
$$a = m^3 \sqrt[3]{PE^* R_1} = 1,424^3 \sqrt[3]{1502 \cdot 0,008844 \cdot 150} = 17,919 \text{ мм.}$$

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

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

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета.

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

По результатам расчета давления опорного ролика на ленту при ее радиусах 100, 150, 200 и 250 мм на построен график зависимости давления от радиуса ленты (рис. 2).

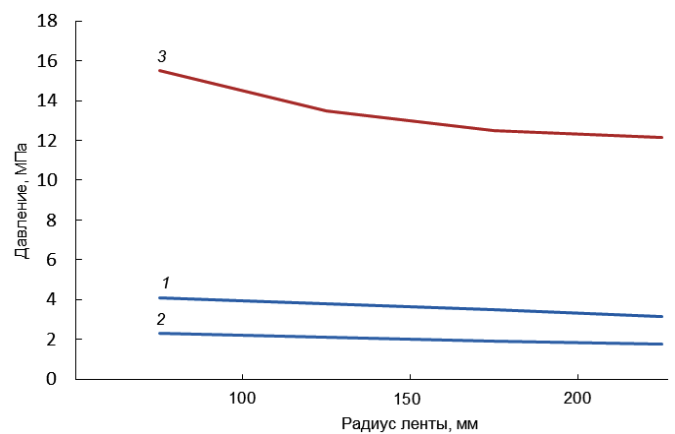


Рисунок 2. Зависимость давления, оказываемого на ленту, от радиуса ленты. Для цилиндрического ролика: 1 – разный материал; 2 – одинаковый материал; для шарового ролика: 3 – разные материалы.

Модули упругости углеволокна и стали практически не отличаются, поэтому график для углеволокна накладывается на график под цифрой 3.

В результате выполненной работы можно сделать вывод, что у шарового ролика давление больше цилиндрического, следовательно, необходимо увеличить их число.

Таким образом, разработан конвейер с опорами, выполненными в виде пустотелых сфер. Дополнительно для уменьшения сил трения скольжения авторы разработали вариант шаровых опор только с трением качения. Для уменьшения давления на пятно контакта шаров и поверхности трубчатой ленты предложено выполнить поверхность шаров из антифрикционного материала. Разработаны и экспериментально обоснованы конструктивные параметры ползуамкнутого трубчатого ленточного конвейера с кромками, обращенными вверх, что отражается на значительном снижении нагрузок от скручивающего ленту момента и позволяет до 30 % увеличить его производительность по сравнению с известным загибом этой же ленты внахлест.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловский Е. Ю. Отходы производства вторичного алюминия – сырье для получения огнеупорных материалов. URL: <http://indinn.ru/stati/2015-02-10/otkhody-proizvodstva-vtorichnogo-alyuminiya-syre-dlya-polucheniya>
2. Давыдов С. Я. Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2007. 317 с.
3. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
4. Ивченко В. Н., Куров С. В. Беспросыпные ленточные конвейеры. URL: <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254-besprosynye-lentochnye-konveyery>
5. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
6. Научные основы создания ленточных трубчатых конвейеров для горной промышленности. URL: <http://pandia.ru/text/80/138/9642.php>
7. Открытая эстакада трубчатого конвейера транспортировки оксидов. URL: <http://ssmprom.ru/otkrytaya-estakada-trubchatogo-konveyera-transportirovki-oksidov/>
8. Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Боярских Г. А., Филатов М. С. Предпосылки создания энергосберегающих конструкций трубчатых ленточных конвейеров // Новые огнеупоры. 2016. № 10. С. 22–26.
9. Трубчатый конвейер: пат. 2006256781 (А) JP. № 20050076335; заявл. 17.03.05.
10. Ленточный конвейер: пат. 2548218 Рос. Федерация. № 2013134805; заявл. 23.07.13; опубл. 20.04.15, Бюл. № 11.
11. Ленточный конвейер с шаровыми опорами: пат. 169842 Рос. Федерация. № 2016145381; заявл. 18.11.16; опубл. 04.04.17, Бюл. № 10.
12. Менькова Н. М. Применение контактной задачи теории упругости в прикладной механике. М., 2012. 14 с. URL: <http://ira.menkovna.ru/Contact.pdf>
13. Тяговый расчет ленточных трубчатых конвейеров. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/tyagovyj-raschet-lentochnyh-trubchatyh-konveyerov>

REFERENCES

1. Kozlovsky E. Yu. *Otkhody proizvodstva vtorichnogo aluminia – syr'yo dlya polucheniya ognepornykh materialov* [Waste from secondary aluminum production as a raw material for obtaining refractories]. URL: <http://indinn.ru/stati/2015-02-10/otkhody-proizvodstva-vtorichnogo-alyuminiya-syre-dlya-polucheniya>

2. Davydov S. Ya. 2007, *Energoberegayushcheye oborudovanie dlya transportirovki sypuchikh materialov: issledovanie, razrabotka, proizvodstvo* [Energy-saving equipment for transporting bulk materials: research, development, and manufacture]. Ekaterinburg, 317 p.
3. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
4. Ivchenko V. N., Kurov S. V. *Besprosyynnye lentochnye conveyery* [Non-spilling belt conveyors]. URL: <http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254-besprosyynnye-lentochnye-konveyery>
5. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
6. *Nauchnye osnovy sozdaniya lentochnykh trubchatykh conveyerov dlya gornoy promyshlennosti* [Scientific basis of creating tape tubular conveyor for the mining industry]. URL: <http://pandia.ru/text/80/138/9642.php>
7. *Otkrytaya estakada trubchatogo conveyera transportirovki oksidov* [Elevated tracks of the tubular conveyor for transporting oxides]. URL: <http://ssmprom.ru/otkrytaya-estakada-trubchatogo-konveyera-transportirovki-oksidov>
8. Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Boyarskiy, G. A., Filatov M. S. 2016, *Predposylki sozdaniya energoberegayushchikh constructsyi trubchatykh lentochnykh conveyerov* [Background for building energy-saving structures of tubular belt conveyors]. *Novye ognepory* [New Refractories], no. 10, pp. 22–26.
9. 2005, Tubular conveyor. Patent Japan, no. 2006256781.
10. 2015, Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Boyarskiy G. A. *Lentochnyi konveyer* [Belt conveyor]. Patent RF, no. 2548218.
11. 2017, Tauger V. M., Davydov S. Ya., Boyarskiy G. A., Filatov M. S. *Lentochnyi konveyer s sharovymi oporami* [Belt conveyor with ball bearings]. Patent RF, no. 169842.
12. Men'kova N. M. 2012, *Primenenie kontaktnoy zadachi teorii uprugosti v prikladnoy mekhanike* [Applying the Contact Issue of the Elasticity Theory in Applied Mechanics]. Moscow, 14 p. URL: <http://ira.menkova.ru/Contact.pdf>
13. *Tyagovyy raschyot lentochnykh trubchatykh conveyerov* [Traction Calculation of Tubular Belt Conveyors]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/tyagovyy-raschet-lentochnyh-trubchatyh-konveyerov>

Станислав Яковлевич Давыдов,

davidovtrans@mail.ru

Нияз Гадым оглы Валиев,

gtf.gd@m.ursmu.ru

Михаил Сергеевич Филатов

medvedgorniyak@mail.ru

Уральский государственный горный университет

Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Николай Иванович Полежаев,

apyff@mail.ru

Герман Георгиевич Кожушко

ptmir@inbox.ru

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Stanislav Yakovlevich Davydov,

davidovtrans@mail.ru

Niyaz Gadym ogly Valiev,

gtf.gd@m.ursmu.ru

Mikhail Sergeevich Filatov

medvedgorniyak@mail.ru

Ural State Mining University

Ekaterinburg, Russia

Nikolay Ivanovich Polezhaev,

apyff@mail.ru

German Georgievich Kozhusko

ptmir@inbox.ru

Ural Federal University named after the First President of Russia

B. N. Yeltsin

Ekaterinburg, Russia