

## АРАМИДНЫЕ КОНВЕЙЕРНЫЕ ЛЕНТЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА РЕЗИНОТРОСОВЫМ

Е.С. Сазанкова<sup>1</sup>, И.А. Бердюгин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, e-mail: sazankova@yandex.ru

**Аннотация:** При проектировании магистрального конвейерного транспорта особое внимание уделяется выбору типа конвейерной ленты, от надежности которой зависит не только работа конвейера, но и потребляемая мощность его привода. При этом существует возможность снизить показатель потребления мощности привода за счет уменьшения величины коэффициента сопротивления движения конвейерной ленты по роликотопорам, что достигается применением специальной энергосберегающей ленты, у которой нижняя обкладка изготовлена из специальной резины. Вторым способом является использование более легкой ленты, имеющей необходимую разрывную прочность согласно тяговому расчету конвейера. Такой лентой является арамидная, имеющая каркас из арамидной ткани, которая по своим физико-механическим характеристикам не уступает резинотросовым лентам. Рассмотрены физико-механические характеристики резинотросовых и арамидных лент, применяемых на ленточном конвейере, а также их особенности. Установлено, что при использовании на конвейере арамидных лент возможно применение приводных, хвостовых и отклоняющих барабанов меньшего диаметра. Результаты выполненных сравнительных расчетов конвейеров, установленных на ГОК «Олений ручей», показали, что при замене резинотросовой ленты на арамидную уменьшается энергопотребление ленточных конвейеров, а следовательно, сокращаются выбросы углекислого газа в атмосферу при сжигании меньшего количества угля на ТЭЦ.

**Ключевые слова:** конвейер, эксплуатация, лента тросовая, арамидная, нижняя обкладка, физико-механические характеристики, барабаны, привод, энергопотребление, углекислый газ.

**Для цитирования:** Сазанкова Е. С., Бердюгин И. А. Арамидные конвейерные ленты как альтернатива резинотросовым // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12. – С. 111–122. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_12\_0\_111.

### Aramid conveyor belts as an alternative of steel cord rubber belts

E.S. Sazankova<sup>1</sup>, I.A. Berdyugin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia, e-mail: sazankova@yandex.ru

**Abstract:** In design of mother conveyors, emphasis should be laid upon the choice of a belt type as its reliability governs both efficiency of the conveyor and consumed power of its drive. There exists a possibility to reduce the drive power input by means of decreasing the value of the friction factor between the belt and idlers, which is achieved by using a special energy-saving belt, with its bottom coating made of special rubber. Another way is using a lighter weight belt having the required tensile strength according to the calculated pull of a conveyor.

This is an aramid-framed belt which possesses the same physical and mechanical characteristics as steel cord rubber belts have. The physical and mechanical characteristics of the steel cord rubber and aramid conveyor belts are studied. It is found that with the aramid belts, it is possible to equip conveyors with drive, tail and bend pulleys of smaller diameters. The comparative calculations performed for the conveyors installed at Oleniy Ruchey GOK show that with replacement of the steel cord rubber belts for the aramid belts, the energy demand of the conveyors lowers and, consequently, the atmospheric emission of carbon dioxide drops due to less coal combustion at heating and power plants.

**Key words:** conveyor, operation, steel cord rubber belt, aramid belt, bottom coating, physical and mechanical characteristics, pulleys, drive, energy consumption, carbon dioxide.

**For citation:** Sazankova E. S., Berdyugin I. A. Aramid conveyor belts as an alternative of steel cord rubber belts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12):111-122. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_12\_0\_111.

---

## Введение

За последние десятилетия конвейерный транспорт получил мировое признание в качестве главного карьерного магистрального транспорта благодаря своей надежности, непрерывной работе, малым амортизационным затратам, возможности преодолевать большие расстояния в одном ставе по пространственным криволинейным трассам, что подтверждается многочисленными работами [1 – 5]. Создание высокопроизводительных ленточных конвейеров большой длины стало возможным благодаря появлению резинокордных конвейерных лент, имеющих различное конструктивное исполнение и максимальную разрывную прочность до 10 000 Н/мм, выпускаемых фирмами Contitech (Европа), Arrow (Китай).

Одной из основных проблем при проектировании конвейеров большой длины в одном ставе (более 5 км) является ограничение прочностных характеристик лент (до 10 000 Н/мм) и увеличение их масс на 1 м<sup>2</sup> прямо пропорционально увеличению прочности (100 кг/м<sup>2</sup> для ленты 10 000 Н/мм), что в результате приводит к сокращению длины конвейера в одном ставе увеличивает капитальные и амортизационные затраты, а также выбросы углекислого газа в атмосферу [6]. В свя-

зи с этим создание и применение конвейерных лент «нового поколения», обладающих низким весом, высокими эксплуатационными качествами, большой разрывной прочностью и длительным сроком службы является актуальным направлением в отечественном конвейеростроении.

## Возможность применения арамидной ткани взамен тросовому каркасу конвейерной ленты

С конца XX в. на рынке стали появляться арамидные конвейерные ленты, применяемые на стакерах, стрелах роторных экскаваторов, ленточных конвейерах. Каркас таких лент изготавливается из арамидного (пара-амидного) волокна, впервые разработанного в 1965 г. Stephanie Kwolek (фирма DuPont) и внедренного на рынок под торговой маркой Kevlar® [6]. В России (СССР) также проводились научные разработки по созданию арамидных волокон, выпуск которых начался с 70-х годов прошлого века в Ленинграде, Калинин (Твери), Каменск-Шахтинском, а также на опытном производстве ГП ВНИИПВ, г. Мытищи [7]. В настоящее время основными производителями на мировом рынке арамидного

Таблица 1

**Сравнительные физико-механические характеристики  
aramидных волокон российского и зарубежного производства  
Comparative physical and mechanical characteristics of aramid fibers  
of Russian and foreign production**

Наименование показателей	Kevlar	Twaron	СВМ	Руслан	Русар-Р	Русар-НТ
			АО «Каменскволокно»	АО НПП «Термотекс»		
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,44	1,44	1,44–1,45	1,45	1,45	1,45
Удельная разрывная нагрузка нити, сН/Текс	200–210	165–250	200–210	230–260	290	290
Прочность при растяжении, ГПа	2,9–3,0	2,4–3,6	3,8–4,0	4,5–5,2	5,5–6,5	5,8–6,6
Модуль упругости, ГПа	70–112	60–120	110–120	125–155	165–175	165–175
Удлинение при разрыве, %	2,4–3,6	2,2–4,4	3,8–4,0	2,6–3,0	2,5	2,0
Водопоглощение при $\varphi = 50\text{--}65\%$ и $T = 20^\circ\text{C}$ , масс %	3,5–4,5	3,2–5,0	3,1	1,5	–	0,6

(пара-амидного) волокна, применяемого при изготовлении каркаса конвейерных лент, являются Китай, Южная Корея, США, Япония, Нидерланды, Россия, выпускающие такие волокна по своим технологиям, что влияет на их физико-механические свойства, и со своими торговыми названиями [8]. В табл. 1 представлены сравнительные физико-механические характеристики арамидных волокон российского и зарубежного производства, из которых изготавливается ткань для арамидных однопрокладочных конвейерных лент [9].

Главными преимуществами применения арамидного волокна для изготов-

ления каркаса конвейерных лент, по сравнению со стальными тросами, является высокая разрывная прочность, которая варьируется в диапазоне от 280 до 550 кг/мм<sup>2</sup> (для стали – 50–150 кг/мм<sup>2</sup>), малый удельный вес, термостойкость, устойчивость в коррозионной среде. В табл. 2 представлены основные сравнительные характеристики стали и арамидного волокна, используемых при изготовлении каркаса конвейерных лент [10].

На рис. 1 представлен общий вид равнопрочной арамидной и резинотросовой лент и их весовые показатели. Как видно из рис. 1, масса арамидной

**Сравнительные характеристики армирующего материала  
для каркаса конвейерных лент**

**Comparative characteristics of reinforcing material for tape core conveyor belts**

Показатель	Наименование армирующего материала	
	сталь	aramид
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7,85	1,44
Прочность, МПа	330	2900
Модуль упругости, ГПа	160	90
Температура плавления, °С	1600	до 500
Удлинение при разрыве, %	2	3,5

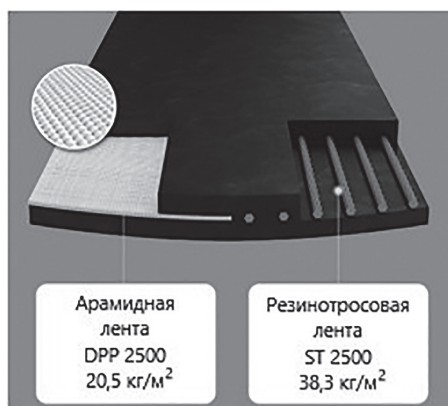


Рис. 1. Общий вид арамидной и резинотросовой лент и их весовые показатели при одной и той же разрывной прочности

Fig. 1. Overview of aramid and steel belts and their weights at the same tensile strength

ленты составляет  $20,5 \text{ кг/м}^2$  против  $38,3 \text{ кг/м}^2$  для тросовой ленты при одной и той же прочности, что в 1,7 раза легче, поэтому снижает энергозатраты на транспортирование [10].

По конструктивному устройству арамидные ленты представляют собой типовую конструкцию (рис. 2); каркас конструкции завулканизирован между верхней и нижней обкладочными резинами, параметры которых, в зависимости от области применения могут быть различного исполнения. В качестве каркаса

ленты обычно применяется техническая ткань следующего состава:

- арамидная нить по основе — маркировка D;
- арамидная нить по основе, по утку одна нить полиамида — маркировка DP;
- арамидная нить по основе и двойная полиамидная нить по утку — маркировка DPP.

Между собой нити по основе и утку ленты связаны полиамидной нитью, применение которой улучшает образование желоба, уменьшает сопротивление многократным изгибам на барабанах, повышает прочность и плотность утка, выполняет функцию интегрированного защитного слоя. К примеру, при эксплуатации такой ленты для транспортирования тяжелых, абразивных насыпных грузов не требуются дополнительные брекерные прокладки, которые входят в конструкцию ленты в виде металлической сетки, стальных или синтетических канатов, располагаемых по ширине ленты.

Например, на медном руднике, где резинотросовые ленты обычно имеют ограниченный срок службы — часто всего один месяц, — арамидная лента работала удовлетворительно шесть месяцев, была снята для проведения остаточных испытаний в Польском горном

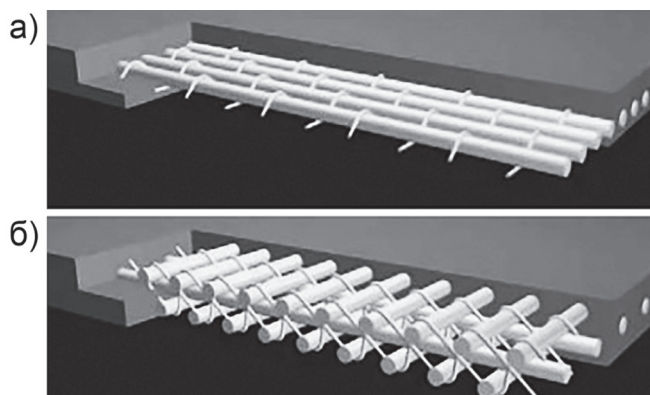


Рис. 2. Конструкция арамидной конвейерной ленты: маркировка каркасной ткани D (а); маркировка каркасной ткани DPP (б)

Fig. 2. Construction of aramid conveyor belt: marking of the frame fabric D (a); DPP frame fabric marking (b)

Таблица 3

**Разрывные прочности арамидных конвейерных лент различных производителей**  
**Tensile strength of aramid conveyor belts from various manufacturers**

№ п/п	Фирма-производитель, страна	Разрывная прочность, Н/мм
1	Element (Финляндия/Китай)	800–3150
2	RubEx group (Россия)	1600–2000
3	Dunlop (Нидерланды)	800–2500
4	Contitech (Германия)	500–2500
5	Pionway (Китай)	800–3150
6	Metso Minerals (Финляндия)	500–2500
7	Double Arrow (Китай)	800–3150
8	Bando Chemical Industries (Япония)	630–2200
9	Oriental (Южная Африка/Индия)	500–4000

институте и не показала потери прочности [11, 12].

**Производители арамидных лент и их особенности**

Производство арамидных лент осуществляется как отечественными, так и зарубежными производителями. В табл. 3 приведены разрывные прочности арамидных конвейерных лент в зависимости от фирмы-производителя.

Как видно из табл. 3, наибольшую разрывную прочность арамидных лент предлагает компания Oriental (Индия/Южная Африка) (выпускаются под названием Maxx Armour™).

В зависимости от производителя применяемой конвейерной ленты (aramидная (см. табл. 3) или тросовая), на ленточном конвейере будут изменяться такие конструктивные и эксплуатационные показатели, как диаметры барабанов,

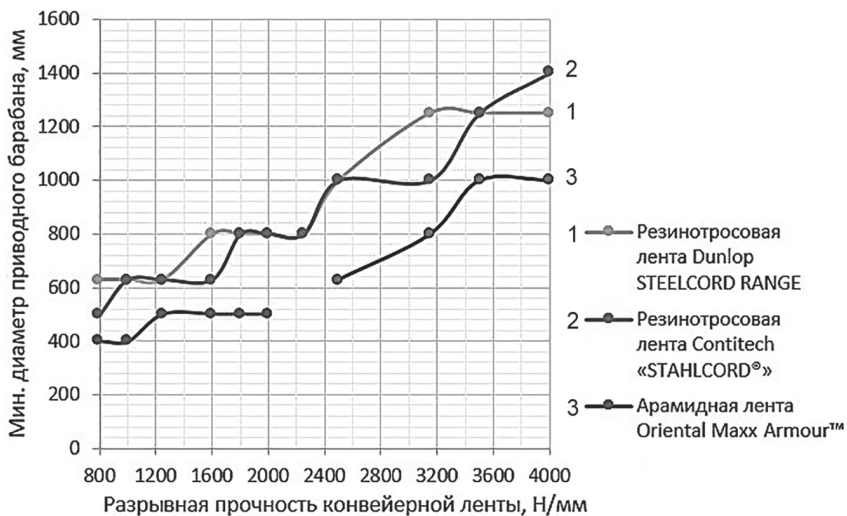


Рис. 3. График зависимости диаметра приводного барабана от разрывной прочности и типа конвейерной ленты

Fig. 3. Plot of drive drum diameter vs. breaking strength and type of conveyor belt

Таблица 4

**Сравнительные показатели рулонов лент для тросовой и арамидной лент при одинаковой прочности**

**Comparative performance of tape rolls for steel and aramid belts at the same strength**

Показатели	Тип и прочность ленты, Н/мм			
	St 2500		DPP 2500	
Толщина корда, мм	6,7		3	
Минимальная толщина обкладок, мм	6×6		6×4	
Ширина ленты, мм	1200			
Масса ленты, кг/м <sup>2</sup>	38,3		20,5	
Метраж ленты в рулоне, м	300	425	300	425
Диаметр рулона, м	2,71	3,23	2,28	2,71
Масса рулона, кг	11 488	16 274	6153	8718

мощности и габариты приводных блоков, а также количество стыковых соединений ленты.

На рис. 3 представлен график сравнительных значений диаметров приводных барабанов при оснащении конвейера арамидной лентой фирмы Oriental Maxx Armour™ и резинотросовыми лентами германской фирмы «ContiTech» стандартного ряд «STAHLCORD®», а также японской фирмы Dunlop STEELCORD RANGE.

Из графика на рис. 3 видно, что при максимальной прочности ленты 4000 Н/мм диаметр приводного барабана конвейера с резинотросовой лентой увеличивается на 250 – 400 мм (в зависимости от фирмы-изготовителя) по сравнению с арамидной лентой, что повлечет увеличение его массы, стоимости и потребления энергии привода. Разрыв линии показателей для арамидной лентой объясняется тем, что в типовом ряде отсутствует лента типа St 2250.

В табл. 4 приведены сравнительные показатели диаметра рулона ленты и его веса для тросовой и арамидной ленты при их равной прочности. Из таблицы видно, что при одинаковом диаметре масса рулона арамидой ленты меньше на 2770 кг,

при этом ее длина на 125 м больше, чем резинотросовой ленты, что подтверждает уменьшение количества стыков при ее монтаже и транспортировании.

Например, при оснащении магистрального конвейера длиной 5 км количество стыков при применении арамидной ленты составит 12 против 17 для тросовой ленты, что сократит время простоя конвейера и значительно уменьшит затраты на монтаж ленты [10]. Согласно данным компании Oriental, длина арамидной конвейерной ленты в рулоне и диаметр рулона могут составлять соответственно 750 м и 3,5 м.

Одной из традиционных областей применения арамидных лент является коррозионная среда эксплуатации [13]. Например, в Тунисе на фосфатном руднике СРГ (Гафса) арамидная лента длиной 4600 м эксплуатировалась в течение 9 лет, после чего ленту заменили вновь на арамидную. Еще одна арамидная лента на фосфатном руднике в Тампе (Флорида, США) была снова заменена на арамидную после 13 лет эксплуатации, при этом лента сохранила около 85% своей первоначальной прочности [10]. В обоих случаях причиной замены лент стал износ обкладочных резин.



### Преимущество применения нижней обкладки ленты с добавлением арамидного волокна

Одна из важнейших проблем, возникающих при проектировании ленточных конвейеров длиной более 1000 м, заключается в возможности снижения сопротивления движению конвейерной ленты  $w'$ . В работах [14–17] отмечается, что данный коэффициент формируется из следующих составляющих показателей (рис. 4):

1 — сопротивление от вдавливания конвейерного ролика в ленту («вязкоупругое» сопротивление), на которое приходится порядка 50–70%;

2 — сопротивление от прогиба ленты в пролете между роликотопорами (до 5%);

3 — сопротивление от шевеления транспортируемого материала при прохождении ролика (до 20%);

4 — сопротивление вращению ролика (зависит от конструкции подшипникового узла и его смазки) (до 5%);

5 — сосредоточенное сопротивление в узле загрузки материала на ленту;

6 — сопротивление вращению приводных и отклоняющих барабанов.

Таким образом, для уменьшения вязкоупругого сопротивления движению ленты, которое зависит от состава резиновой смеси ее нижней обкладки, можно снизить потери на вдавливание ролика в ленту (на 32%), применяя специальные составы резин, обладающих низкими вязкоупругими свойствами.

Состав компаунда для резин, применяемых в обкладках таких лент на ленточных конвейерах длиной более 1 км, состоит из 40% каучука SBR (стирол-бутадиен-каучук) и 60% каучука NR (натуральный каучук), либо 80% NR и 20% SBR. Однако применение только таких резин в нижней обкладке не снижает вязкоупругого сопротивления [18, 19].

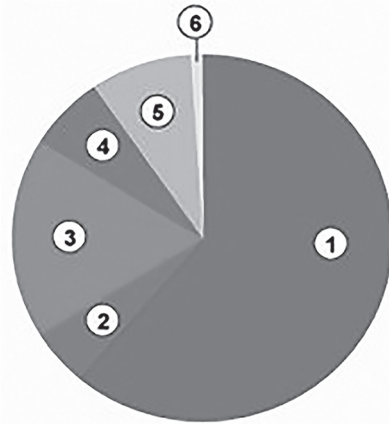


Рис. 4. Диаграмма сопротивлений, возникающих в роликотопорах грузовой ветви при движении конвейерной ленты по ним

Fig. 4. Diagram of resistance arising in the roller bearings of the cargo branch when the conveyor belt moves along them

Установлено, что при добавлении модифицированного арамидного волокна Sulfron в резиновую смесь нижней обкладки (каучук BR — бутадиен-каучук) происходит улучшение ее свойств: снижение вязкоупругого сопротивления, уменьшение гистерезиса, тепловыделения и истирания компаундов, повышение гибкости, износостойкости и усталостных свойств резины. Об этом свидетельствуют результаты расчетов реально действующих конвейеров (маркировка KW) на шахте Optimum, провинция Мпумаланга, ЮАР (Mpumalanga province, South Africa). Установлено, что благодаря применению нижней обкладочной резины с составом из 80% NR+20% BR с 1,5 и 2,0 частями сульфрона 3001 энергопотребление конвейеров снизилось, по сравнению с применением обкладочных резин из смесей 80% NR+20% SBR, 80% NR+20% SBR с 1,5 и 2,0 частями сульфрона 3001 для резинотросовых и арамидных лент. Следует особо отметить, что величина снижения энергопотребления при полной загрузке конвейера для резинотросовых лент составила 14,7—

26,9%, а для арамидных лент – 27,6–37,7%.

Еще одним примером по энергосбережению являются сведения из работы [20], в которой отмечается положительный эффект при оснащении конвейера длиной 5,3 км в ЮАР арамидной лентой. По расчетам, в течение 5 лет предполагается сэкономить порядка 7000 МВт электроэнергии, что составляет около 25% по сравнению с применением резиновой ленты.

### **Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу при применении арамидных лент**

На основании данных Евросоюза [6] первичными ресурсами для получения электроэнергии в мире являются уголь, нефть, газ, ядерная и гидроэнергетика. Причем при сжигании первых трех видов сырья образуются самые большие

выбросы в атмосферу  $\text{CO}_2$  и твердых частиц. Очевидно, что при снижении энергопотребления возможно снизить выбросы таких веществ, отнесенных к 1 МВт/ч выработанной энергии.

Как известно, в России одним из преобладающих ресурсов для получения электроэнергии является уголь, при сжигании которого в атмосферу поступают загрязняющие вещества в виде твердых частиц в размере 819,9 Н/МВт·ч электроэнергии и углекислого газа – в размере 1083,7 кг/МВт·ч электроэнергии, что в результате приводит к загрязнению окружающей среды и глобальному потеплению.

### **Результаты расчета**

С помощью специальной программы был выполнен расчет по возможному энергосбережению и сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу для

Таблица 5

#### **Параметры конвейеров, установленных на ГОКе «Олений ручей» Conveyor parameters installed at the Oleniy Ruchey mine**

Параметры	Показатель (конвейер № 1)	Показатель (конвейер № 2)
Разрывная прочность резиновой ленты, Н/мм	1250	2500
Производительность, т/ч	1500	1350
Ширина ленты, м	1,2	1,2
Длина конвейера, м	1390	872
Скорость ленты, м/с	3,15	3,15
Угол наклона конвейера, град	2	10
Масса роликкоопор, кг – на верхней ветви – на нижней ветви	46 20	90 75
Тип обкладочных резин	Abrasion resistant, Fire resistant	Abrasion resistant, Fire resistant
Суммарная толщина обкладочных резин	12	12
Предполагаемый срок эксплуатации конвейерной ленты, лет	9	8
Мощность приводной станции, кВт	3×250	4×315



ленточных конвейеров, оснащенных резинокроссовыми лентами, на ГОКе «Олений ручей», который входит в состав «Северо-Западной Фосфорной компании» — ключевого сырьевого актива ГК «Акрон». Предприятие ведет добычу апатит-нефелиновых руд открытым и подземным способами, его годовая мощность составляет 1,2 млн т/год апатитового концентрата с последующим увеличением мощности до 2 млн т/год, что стало возможным благодаря строительству дробильно-сортировочного комплекса по дроблению и доставке апатит-нефелиновой руды на поверхность.

В рамках данного проекта НПО «Аконит» создал комплекс, включающий четыре конвейера протяженностью от 37 до 1390 м, работающих в круглосуточном режиме. Для непрерывного мониторинга процесса транспортирования руды и состояния оборудования используется автоматизированная система управления. В табл. 5 представлены параметры конвейеров, участвующих в сравнительном расчете.

Результаты расчета показали, что при замене резинокроссовой ленты на арамидную ленту энергосбережение в год составит 8% и 4% для 1-го и 2-го конвейера соответственно. При этом сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу составит соответственно 371 и 306 т.

### **Заключение**

Приведенные в статье исследования позволяют сделать следующие выводы, отражающие преимущество применения на ленточных конвейерах арамидных лент в сравнении с резинокроссовыми.

1. На мировом рынке конвейерных лент все большую популярность приобрета-

ют арамидные ленты, превосходящие по некоторым перечисленным физико-механическим характеристикам резинокроссовые ленты и, как следствие — приводящие к увеличению их срока службы.

2. При применении на конвейере арамидной ленты вместо резинокроссовой возможно уменьшение диаметров, веса и радиальной нагрузки на подшипники на приводных, отклоняющих и натяжных барабанах.

3. Использование на конвейере арамидных лент приводит к сокращению количества их стыковых соединений и к уменьшению простоев конвейера, что значительно снижает затраты на монтаж ленты, поскольку при одном и том же диаметре рулона ленты равнозначной разрывной прочности длина арамидной ленты в рулоне будет больше, чем троксовой.

4. Для снижения суммарного сопротивления движения ленты по роликам на высокопроизводительных, мощных конвейерах с длиной более 1000 м рекомендуется применять арамидные ленты с нижней энергосберегающей обкладкой, при изготовлении которой используется добавка типа Sulfron (разновидность арамидного волокна).

5. Расчет показал, что для конвейеров, установленных на ГОКе «Олений ручей», при замене резинокроссовой ленты на арамидную будет сокращено энергопотребление привода конвейера на 8%, а количество выбросов углекислого газа в атмосферу — до 371 т/год.

6. С учетом того, что арамидная лента стоит дороже резинокроссовой, срок ее окупаемости будет меньше с учетом вышеперечисленных факторов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Галкин В. И., Сазанкова Е. С. Особенности эксплуатации мощных ленточных конвейеров с криволинейной в плане трассой для горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 6. — С. 187 — 190.

2. *Перекутнев В. Е., Зотов В. В.* Сравнительная оценка резиновых канатов для рудничных вертикальных подъемных установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 7. – С. 85–93. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
3. *Юрченко В. М.* К вопросу о центрировании конвейерных лент // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 2. – С. 156–162. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-156-162.
4. *Сухорукова М. А., Иванников А. Л.* Оценка рисков аварий на транспортных средствах на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 224–232. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-224-232.
5. *Каунг П. А., Соловых Д. Я., Нагорный Д. А., Адигамов Д. А.* Моделирование движения ленточного конвейера с учетом угла наклона и натяжения канатов става // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14. – № 4. – С. 603–614. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-603-614.
6. *Galkin V. I., Sheshko E. E., Dyachenko V. P., Szankova E. S.* The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry // Eurasian Mining. 2021, no. 2, pp. 64–68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.
7. *Перепелкин К. Е.* История и хронология развития химических волокон. Роль ученых и инженеров Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2003. – № 8. – С. 3–9.
8. *Дориомедов М. С.* Рынок арамидного волокна: виды, свойства, применение // Труды ВИАМ. – 2020. – № 11(93). – С. 48–59. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-11-48-59.
9. *Кулагина Г. С., Железина Г. Ф., Тихонов И. В., Дориомедов М. С.* Арамидные органоластики, состояние и перспективы / Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения: Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. – М.: ВИАМ, 2017. – С. 79–91.
10. *Van de Ven H., Beers H., Lodewijks G., Drenkelford S.* Aramid in conveyor belts for extended lifetime, energy saving and environmental effects // Bulk Solids Handling. 2016, vol. 36, no. 6, pp. 16–21.
11. *Bajda M., Hardygóra M.* Analysis of the influence of the type of belt on the energy consumption of transport processes in a belt conveyor // Energies. 2021, vol. 14, no. 19, pp. 61–80, article 6180. DOI: 10.3390/en14196180.
12. *Zang S., Tang Y.* Optimal scheduling of belt conveyor systems for energy efficiency – With application in a coal-fired power plant / Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Mianyang, China, 2011, pp. 1434–1439.
13. *Сазанкова Е. С.* Физико-механические свойства синтетических волокон используемых при изготовлении кордной ткани для резиноканевых лент свойств лент // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 385–395.
14. *Галкин В. И., Шешко Е. Е., Сазанкова Е. С.* Влияние типов и характеристик лент на эксплуатационные параметры специальных ленточных конвейеров // Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 88. DOI: 10.17580/gzh.2015.08.18.
15. *Malakhov V. A., Tropako A. V., Dyachenko V. P.* Rolling resistance coefficient of belt conveyor rollers as function of operating conditions in mines // Eurasian Mining. 2022, no. 1, pp. 67–71. DOI: 10.17580/em.2022.01.14.
16. *Drenkelford S.* Energy-saving potential of Aramid-based conveyor belts. Master of Science Thesis. 2015, pp. 114–122.
17. *Gładysiewicz L., Konieczna-Fuławka M.* Influence of idler set load distribution on belt rolling resistance // Archives of Mining Science. 2019, vol. 64, no. 2, pp. 251–259. DOI: 10.24425/ams.2019.128681.
18. *Küsel B.* New energy-saving conveyor belts being standardized // Coal & Minerals Asia. 2012, vol. 25, pp. 102–103.

19. He D. Energy saving for belt conveyors by speed control. TRAIL Research School, 2017. DOI: 10.4233/uuid:a315301e6120-48b2-a07b-cabf81ab3279.
20. Lodewijks G. The next generation low loss conveyor belts // *Bulk Solids Handling*. 2012, vol. 32, no. 1, pp. 52 – 56. **MIAB**

## REFERENCES

1. Galkin V. I., Sazankova E. S. Features of operation of powerful belt conveyors with a curved route for the mining industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, no. 6, pp. 187 – 190. [In Russ].
2. Perekutnev V. E., Zotov V. V. Comparative assessment of rubber steel cables for vertical mine hoists. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 85 – 93. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
3. Yurchenko V. M. Center adjustment of conveyor belts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 2, pp. 156 – 162. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-156-162.
4. Sukhorukova M. A., Ivannikov A. L. Vehicle accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 224 – 232. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-224-232.
5. Kaung P. A., Solovykh D. Y., Nagorniy D. A., Adigamov D. A. Modelling of belt conveyor movement considering the inclination angle and tension of the ropes of the load bearing structure. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 4, pp. 603 – 614. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-603-614.
6. Galkin V. I., Sheshko E. E., Dyachenko V. P., Sazankova E. S. The main directions of increasing the operational efficiency of high productive belt conveyors in the mining industry. *Eurasian Mining*. 2021, no. 2, pp. 64 – 68. DOI: 10.17580/em.2021.02.14.
7. Perepelkin K. E. History and chronology of development of chemical fibers. Role of scientists and engineers in St. Petersburg. *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design*. 2003, no. 8, pp. 3 – 9. [In Russ].
8. Doriomedov M. S. Aramid fiber market: types, properties, application. *Proceedings of VIAM*. 2020, no. 11(93). C. 48 – 59. [In Russ]. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-11-48-59.
9. Kulagina G. S., Zhelezina G. F., Tikhonov I. V., Doriomedov M. S. Aramid organoplastics, state and prospects. *Polimernye kompozitsionnye materialy i proizvodstvennyye tekhnologii novogo pokoleniya: Materialy II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Polymer composite materials and New Generation Production technologies: Materials of the II All-Russian Scientific and Technical Conference], Moscow, VIAM, 2017, pp. 79 – 91. [In Russ].
10. Van de Ven H., Beers H., Lodewijks G., Drenkelford S. Aramid in conveyor belts for extended lifetime, energy saving and environmental effects. *Bulk Solids Handling*. 2016, vol. 36, no. 6, pp. 16 – 21.
11. Bajda M., Hardygóra M. Analysis of the influence of the type of belt on the energy consumption of transport processes in a belt conveyor. *Energies*. 2021, vol. 14, no. 19, pp. 61 – 80, article 6180. DOI: 10.3390/en14196180.
12. Zang S., Tang Y. Optimal scheduling of belt conveyor systems for energy efficiency – With application in a coal-fired power plant. *Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, Mianyang, China, 2011, pp. 1434 – 1439.
13. Sazankova E. S. Physical and mechanical properties of synthetic used in the manufacture of cord fabric for textile belts. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 6, pp. 385 – 395. [In Russ].
14. Galkin V. I., Sheshko E. E., Sazankova E. S. Influence of types and characteristics of belts on the operational parameters of special belt conveyors. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no. 8, pp. 88. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2015.08.18.
15. Malakhov V. A., Tropako A. V., Dyachenko V. P. Rolling resistance coefficient of belt conveyor rollers as function of operating conditions in mines. *Eurasian Mining*. 2022, no. 1, pp. 67 – 71. DOI: 10.17580/em.2022.01.14.

16. Drenkelford S. Energy-saving potential of Aramid-based conveyor belts. *Master of Science Thesis*. 2015, pp. 114 – 122.

17. Gładysiewicz L., Konieczna-Fuławka M. Influence of idler set load distribution on belt rolling resistance. *Archives of Mining Science*. 2019, vol. 64, no. 2, pp. 251 – 259. DOI: 10.24425/ams.2019.128681.

18. Küsel B. New energy-saving conveyor belts being standardized. *Coal & Minerals Asia*. 2012, vol. 25, pp. 102 – 103.

19. He D. *Energy saving for belt conveyors by speed control*. TRAIL Research School, 2017. DOI: 10.4233/uuid:a315301e6120-48b2-a07b-cabf81ab3279.

20. Lodewijks G. The next generation low loss conveyor belts. *Bulk Solids Handling*. 2012, vol. 32, no. 1, pp. 52 – 56.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сазанкова Екатерина Сергеевна<sup>1</sup> – канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: sazanкова@yandex.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-5322-3003,

Бердюгин Илья Андреевич<sup>1</sup> – аспирант,  
e-mail: anberd@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-8346-0640,

<sup>1</sup> ГИ НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Сазанкова Е.С., e-mail: sazanкова@yandex.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

E.S. Sazankova<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant Professor,

e-mail: sazanкова@yandex.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-5322-3003,

I.A. Berdyugin<sup>1</sup>, Graduate Student,  
e-mail: anberd@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-8346-0640,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University  
of Science and Technology «MISIS»,  
119049, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** E.S. Sazankova, e-mail: sazanкова@yandex.ru.

Получена редакцией 17.02.2023; получена после рецензии 23.08.2023; принята к печати 10.11.2023.

Received by the editors 17.02.2023; received after the review 23.08.2023; accepted for printing 10.11.2023.

