

**Н.А. Скляров /к.т.н./, В.Ф. Шавлак /к.т.н./, В.Н. Скляров**  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВЫХ ПОДШИПНИКОВ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

*Приведены методика оценки ремонтопригодности роликов ленточных конвейеров с учетом рекомендаций Московского горного института и результаты оценки времени восстановления работоспособного состояния отказавшего ролика. Предложена конструкция ролика повышенной ремонтопригодности, обеспечивающая увеличение ресурса ролика в 5 раз.*

**Ключевые слова:** конвейер, ролик, ремонтопригодность, оценка, повышение, ресурс.

### **Постановка проблемы**

Самыми ответственными и массовыми узлами ленточных конвейеров, в большой степени определяющими их работоспособность, надежность и долговечность, являются ролики, поддерживающие груженую и холостую ветви конвейеров. Всего в эксплуатации их находится примерно 40 млн. штук [1].

Как указано в [2], опыт эксплуатации позволяет заключить, что на шахтных ленточных конвейерах основными факторами, определяющими ресурс ролика, являются выход из строя подшипниковых узлов и износ обечайки роликов. По этим причинам срок службы роликов на горных предприятиях снижается до 5...7 месяцев.

Увеличение ресурса роликов и роликофоров в целом за счет применения подшипников нового технического уровня повышенной долговечности и ремонтопригодности является актуальной задачей.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

В ленточных конвейерах ряд зарубежных фирм (в основном США и Англия) используют конические роликоподшипники, применение которых обусловлено, в первую очередь, высокой несущей способностью последних и целесообразно на мощных тяжело нагруженных конвейерах. Однако это преимущество может быть реализовано только при малых угловых деформациях осей роликов и требует увеличения их жесткости, а также постоянного пополнения смазки и регулировки подшипников с целью поддержания радиальных зазоров в допустимых пределах.

Ведущие европейские фирмы по производству ленточных конвейеров ориентируются на применение в узлах вращения роликов шарикоподшипников. Ряд фирм – KONE (Финляндия), FCK (Япония) и другие применяют для роликов,

работающих в запыленных и влажных условиях, шарикоподшипники закрытых и полузакрытых конструкций.

Работы, выполненные в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана, показали, что наиболее рациональным из возможных путей повышения качества конвейерных роликов является замена однорядных радиальных шарикоподшипников идентичными по размерам двухрядными сферическими. Эффективность такой замены обуславливается большей в 3...8 раз долговечностью сферических подшипников, работающих в условиях перекоса колец.

Долговечность роликов с шарикоподшипниками значительно ниже долговечности аналогичных роликов с подшипниками скольжения. Сравнительные испытания роликов с радиально-упорными шарикоподшипниками и с металлокерамическими подшипниками, проведенные институтами «Гипроуглемаш» и ЦНИИТМАШ на шахтах и угольных карьерах показали, что средний срок службы роликов с шарикоподшипниками не превышал 200 часов, однако были отмечены случаи выхода из строя роликов уже после 30 и даже 20 часов работы.

Продолжительность работы роликов с металлокерамическими подшипниками скольжения составила в большинстве случаев 1500 часов [3].

Проведенный анализ показал, что в настоящее время на шахтах Донбасса в роликах ленточных конвейеров практически не применяются подшипники скольжения.

Из зарубежного опыта есть сведения о применении в США роликов из негорючего материала на графитопластмассовых подшипниках скольжения, не требующих смазки.

### **Цель (задачи) исследования**

Целью настоящей работы является разработка методики и оценка ремонтопригодности роликов

ликов ленточных конвейеров нового технического уровня с ресурсом в 5 раз выше, чем у роликов аналогичной конструкции с подшипниками качения.

### Основной материал исследования

Фторопластовое покрытие, используемое в подшипниках скольжения винта вертолетов, в авиастроении и оборудовании ткацких станков, выгодно отличается от других полимерных покрытий по значению коэффициентов трения, которое составляет 0,049 при сухом трении и 0,027 при смазке маслом [4].

Основной областью применения металлофторопластовых подшипников являются узлы сухого трения. У металлофторопластового материала все рабочие характеристики близки к наилучшим, что делает этот материал наиболее универсальным по своим свойствам. Наиболее ценные из этих свойств состоят в том, что при работе без смазки металлофторопластовый материал допускает очень большие удельные нагрузки (до 350 МПа); сохраняет работоспособность в широком диапазоне температур (от -250 до +300 °C); имеет теплопроводность и коэффициент термического расширения почти такие же, как у стали; на поверхности не возникает статическое электричество, фреттинг-коррозия и ложное бринеллирование.

С целью значительного повышения долговечности подшипников и установления возможности эффективной замены в роликах шахтных ленточных конвейеров шарико- и роликоподшипников подшипниками скольжения при сохранении значений величин сопротивления врашению ролика, равных или близких к аналогичному параметру, достигаемому в роликах с подшипниками качения, по договору № 831004000 с Минуглепромом Украины и объединением «Донецкуглеремонт», с участием кафедры горнозаводского транспорта и логистики (ГЗТЛ) Донецкого национального технического университета была выполнена научно-исследовательская работа по созданию роликов шахтных ленточных конвейеров с металлофторопластовыми втулками вместо подшипников качения. Опытная конструкция ролика повышенной ремонтопригодности разработана на базе серийного ролика с подшипниками качения Краснолучского машзавода и представлена на рис. 1. Одним из отличий в конструкции данного ролика от серийных конструкций, применяемых в ленточных конвейерах, является выполнение в корпусе подшипника 4 двух резьбовых отверстий, позволяющих с помощью резьбовых соединений извлекать изношенный подшипник и заменять его новым, а не отправлять в металлом [5...8].

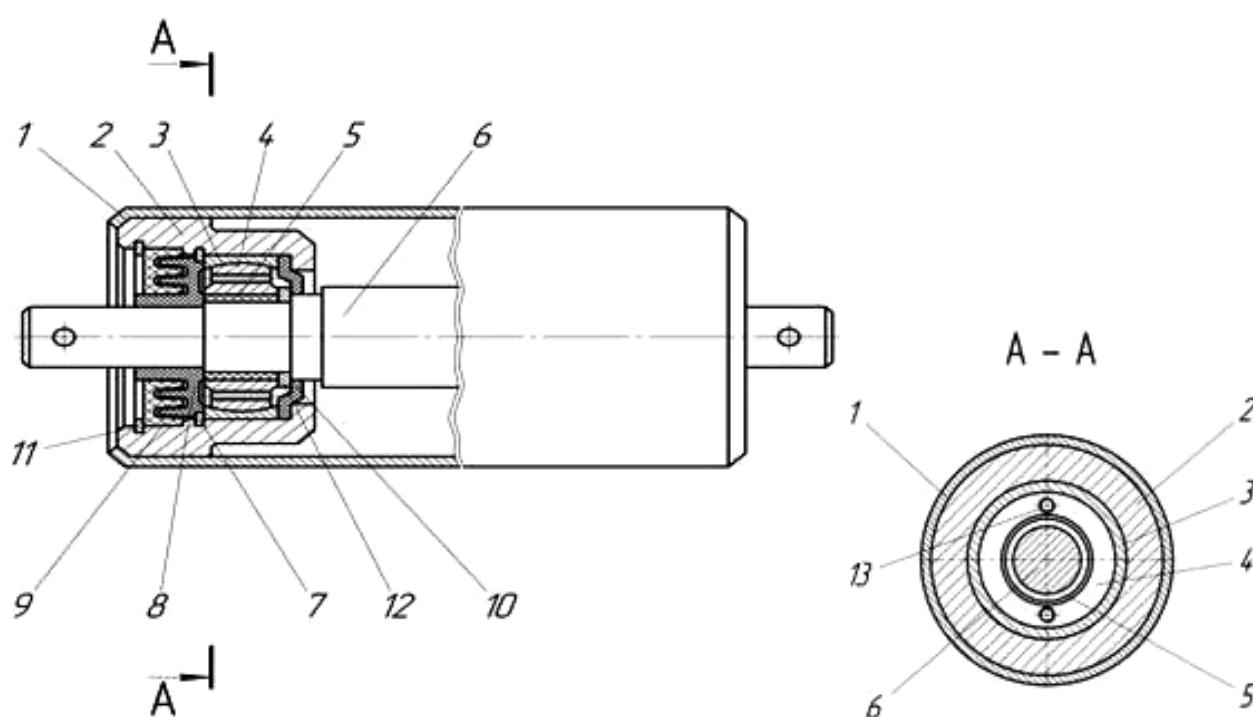


Рис. 1. Ролик ленточных конвейеров повышенной ремонтопригодности:

- 1 – обечайка;
- 2 – стакан;
- 3 – сферическое кольцо;
- 4 – корпус подшипника;
- 5 – металлофторопластовая втулка;
- 6 – ось;
- 7 – пружинное кольцо;
- 8, 9 – пылезащитные уплотнения;
- 10 – защитное уплотнение;
- 11 – стопорное кольцо;
- 12 – упорное кольцо;
- 13 – два резьбовых отверстия

Были проведены наблюдения за работой контрольной партии роликов с подшипниками качения. С использованием основных положений методики Московского горного института [2] проведена оценка среднего времени восстановления отказа ролика.

*Методика оценки ремонтопригодности роликов ленточных конвейеров включает следующие этапы:*

1. Первичная обработка статистических данных о времени устранения отказов конвейерных роликов.

1.1. Выбор способа и реализация группирования значений случайной величины в интервалы.

1.2. Построение эмпирического распределения (гистограммы) случайной величины.

1.3. Определение числовых статистических характеристик случайной величины.

2. Определение закона распределения случайной величины.

2.1. Выдвижение гипотезы о возможном подчинении распределения исследуемой случайной величины тому или иному закону распределения.

2.2. Построение кривой распределения (графика плотности вероятности распределения случайной величины).

2.3. Оценка степени соответствия между выдвинутой гипотезой и статистическим распределением случайной величины.

*Порядок выполнения оценки ремонтопригодности ролика.*

Статистические данные целесообразно представить в виде статистического ряда, записав их в табл. 1 по мере возрастания значений случайной величины. Весь массив данных числовых характеристик распределения случайной величины  $t_p$  (табл. 2) разбит на 7 интервалов.

Для каждого интервала подсчитываются:  $n_i$  – количество значений случайной величины, попавших в интервал;  $n_i/n$  – частота;  $\Sigma(n_i/n)$  – накопленная частота;  $n_i/(n \cdot \Delta t_p)$  – эмпирическая плотность вероятности.

Накопленная частота для всех интервалов должна быть равна 1,0, что служит проверкой правильности вычисления частоты для каждого интервала.

Результаты подсчетов заносятся в табл. 2.

Табл. 1. Статистические данные о времени ликвидации отказов

№ ролика	$t_p$ , мин						
1	4,7	13	13,0	25	17,0	37	20,8
2	4,8	14	13,1	26	17,4	38	20,8
3	6,4	15	13,3	27	17,4	39	20,9
4	7,3	16	13,5	28	18,0	40	30,1
5	8,4	17	13,8	29	18,0	41	30,2
6	9,6	18	14,0	30	18,4	42	33,3
7	10,0	19	14,1	31	18,5	43	35,0
8	10,4	20	14,3	32	18,5	44	41,5
9	11,2	21	14,7	33	19,0	45	42,3
10	11,8	22	15,0	34	19,0	46	65,0
11	12,0	23	15,5	35	20,2	47	70,0
12	12,3	24	15,0	36	20,7	48	92,0

Табл. 2. Числовые характеристики распределения случайной величины  $t_p$

Интервалы $t_p$ , мин	Величина интервала, $\Delta t$	Среднее значение, $t_p$	Количество значений, попавших в интервал, $n_i$	Частота, $n_i/n$	Накопленная частота, $\Sigma(n_i/n)$	Эмпирическая плотность вероятности, $n_i/(n \cdot \Delta t_p)$
4,7...8,4	3,7	6,55	5	0,1042	0,1042	0,0282
8,4...13,8	5,4	11,1	12	0,2500	0,3542	0,0463
13,8...17,4	3,6	15,6	10	0,2083	0,5624	0,0578
17,4...19,0	1,6	18,2	6	0,1250	0,6874	0,0781
19,0...20,8	19,8	1,8	5	0,1042	0,7916	0,0578
20,8...35,0	27,9	14,2	5	0,1042	0,8958	0,0073
35,0...92,0	63,5	57,0	5	0,1042	1,0000	0,0018

На основании данных табл. 2 определяются основные статистические характеристики случайной величины: статистическое среднее –  $\tilde{m}_{t_p}$ ; статистическая дисперсия –  $\tilde{D}_{t_p}$ ; среднее квадратическое отклонение –  $\sigma_{t_p}$ .

По данным табл. 1 (7-й столбец) строится гистограмма распределения случайной величины  $t_p$ . Для этого на оси абсцисс откладываются величины интервалов  $\Delta t_p$  случайной величины и на каждом из интервалов строится прямоугольник площадью, равной частоте появления случайной величины в данном интервале. Высоты прямоугольников пропорциональны соответствующим частотам и равны эмпирической плотности вероятности. На гистограмме строится выравнивающая кривая распределения и выдвигается гипотеза о теоретическом законе распределения случайной величины.

Из характера гистограммы можно предположить, что исследуемая случайная величина распределена по тому или иному закону. Можно принять гипотезу об экспоненциальном законе распределения, если наблюдается почти полное совпадение статистического среднего  $\tilde{m}_{t_p}$  и среднего квадратического отклонения  $\sigma_{t_p}$  случайной величины  $t_p$ .

Для экспоненциального распределения плотность вероятности имеет вид:

$$f(t_p) = \frac{1}{m_{t_p}} e^{-\frac{t_p}{m_{t_p}}}.$$

Существенное расхождение по величине оценок математического ожидания и среднего квадратического отклонения случайной величины не позволяет принять гипотезу об экспоненциальном законе распределения. В этом случае рекомендуется принимать гипотезу о логарифмически-нормальном законе распределения случайной величины, при  $\lg t_p$  распределен по нормальному закону. Плотность вероятности имеет вид:

$$f(t_p) = \frac{M}{t_p \cdot \sigma_{t_p} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\lg t_p - \tilde{m}_{\lg t_p})^2}{(2\sigma_{\lg t_p}^2)^{-1}}},$$

где  $M=0,4343$  – основание натуральных логарифмов.

Для оценки ремонтопригодности ролика были проведены наблюдения за работой партии роликов и зафиксировано 48 значений случайной величины – времени восстановления отказа  $t_p$ , представленных в табл. 1.

Общее время простоя конвейера для ликвидации отказов роликов с подшипниками качения за год составило 1002,6 мин; или 16,71 час.

Среднее время восстановления отказа ролика составило:  $t_p=1002,6:48=20,8$  мин.

Для оценки степени соответствия между выдвинутой гипотезой и статистическим распределением случайной величины весь массив статистических данных разбиваем на 7 интервалов, определяем значения числовых характеристик случайной величины (см. табл. 2).

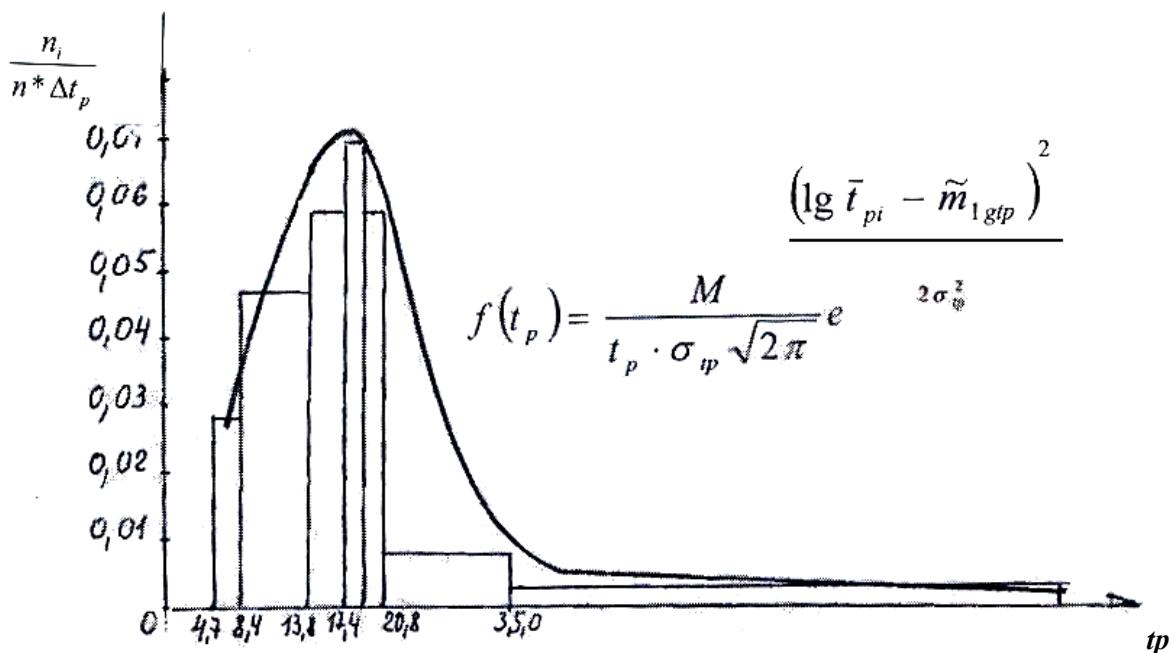


Рис. 2. Гистограмма и выравнивающая теоретическая кривая логарифмически-нормального распределения времени восстановления отказа роликов

Определяем параметры распределения случайной величины:

$$m_{t_p} = \sum t_p \frac{n_i}{n} - \text{статистически среднее:}$$

$$\begin{aligned} 6,55 \cdot 0,1042 + 11,1 \cdot 0,2 + 15,6 \cdot 0,2083 + 18,2 \cdot 0,125 + \\ + 19,8 \cdot 0,1042 + 27,9 \cdot 0,1042 + 27,9 \cdot 0,1042 + \\ + 18,2 \cdot 0,125 + 63,5 \cdot 0,1042 = 20,57 \text{ мин,} \end{aligned}$$

$$\tilde{D}_{tp} = \sum (t_{pi} - m_{tp})^2 \frac{n_i}{n} - \text{статистическая дисперсия:}$$

$$\begin{aligned} (6,55 - 20,57)^2 \cdot 0,1042 + (11,1 - 20,57)^2 \cdot 0,25 + \\ + (15,6 - 20,57)^2 \cdot 0,2083 + (18,2 - 20,57)^2 \cdot 0,125 + \\ + (19,8 - 20,57)^2 + (27,9 - 20,57)^2 + (63,5 - 20,57)^2 = \\ = 246,44 \text{ мин,} \end{aligned}$$

$$\sigma_{tp} = \sqrt{\tilde{D}_x} - \text{среднее квадратическое отклонение:}$$

$$\sqrt{\tilde{D}_x} = \sqrt{246,44} = 15,69.$$

Полученное статистическое среднее  $m_{tp}=20,57$  мин является оценкой среднего восстановления отказа ролика:  $T_g=1002,6:48=20,88$  мин. Так как между статистическим средним  $m_{tp}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma_{tp}$  имеются существенные расхождения, принимаем гипотезу о логарифмически-нормальном законе распределения случайной величины (см. рис. 2) и рассчитываем параметры распределения по нижеприведенным формулам:

$$\tilde{m}_{\lg t_p} = \sum_{t=1}^k \lg \bar{t}_{p_i} \frac{n_i}{n} = 1,224,$$

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left( \lg \bar{t}_{p_i} - \tilde{m}_{\lg t_p} \right)^2 \frac{n_i}{n}} = 0,257.$$

Теоретическая вероятность попадания случайной величины в заданный интервал  $/\alpha, \beta/$  для логнормального распределения рассчитываем по формуле:

$$\begin{aligned} P\{\alpha < t_p < \beta\} = \phi\left(\frac{\lg \beta - \tilde{m}_{\lg t_p}}{\tilde{\sigma}_{\lg t_p}}\right) - \\ - \phi\left(\frac{\lg \alpha - \tilde{m}_{\lg t_p}}{\tilde{\sigma}_{\lg t_p}}\right) = \phi(z'') - \phi(z'), \end{aligned}$$

где  $\phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$  – нормированная функция Лапласа;  $\phi(Z)$  – является нечетной функцией, т.е.  $\phi(-Z) = -\phi(Z)$ .

На гистограмме (см. рис. 2) построена выравнивающая кривая распределения случайной величины, представляющая собой график функции  $f(t_p)$ , которая, сохраняя в основном существенные особенности статистического распределения, свободна от случайных неправильностей хода гистограммы.

При подборе теоретической кривой распределения, естественно, неизбежны некоторые расхождения. При этом необходимо знать, объясняются ли эти расхождения только случайными обстоятельствами, связанными с ограниченным числом опытных данных, или они являются существенными и связаны с тем, что подобранная кривая плохо выравнивает данное статистическое распределение. Установить это можно с помощью критерия  $X^2$ , называемого также «критерием согласия Пирсона», который определяется с учетом данных табл. 2 и табл. 3 по формуле [2]:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 4,2,$$

где  $k$  – число интервалов статистического распределения;  $n_i$  – количество значений случайной величины в  $i$ -м интервале;  $n$  – общее число наблюдаемых значений случайной величины;  $p_i$  – теоретическая вероятность попадания случайной величины в  $i$ -й интервал.

Оценка степени соответствия между выдвинутой гипотезой и статистическим распределением случайной величины производится по критерию  $X^2$  и параметру  $r$ , называемому «числом степеней свободы», которые взаимозависимы.

Число степеней свободы равно числу интервалов  $K$  за вычетом числа независимых условий (связей)  $S$ , наложенных на частоты:

$$r = K - S = 7 - 3 = 4.$$

Число независимых связей составляет:  $S=2$  – для экспоненциального распределения;  $S=3$  – для логарифмически-нормального распределения [2].

Табл. 3. Теоретические вероятности попадания случайной величины в интервал

Границы интервала	Теоретическая вероятность попадания случайной величины в $i$ -й интервал
4,7...8,4	0,1068
8,4...13,8	0,2984
13,8...17,4	0,1042
17,4...19,0	0,0593
19,0...20,8	0,0611
20,8...35,0	0,5368
35,0...92,0	0,1054

Для распределения  $X^2$  имеется специальная таблица [2], пользуясь которой можно для полученного значения  $X^2$  и определенного числа степеней свободы  $r$  найти вероятность  $p$  того, что величина, распределенная по закону  $X^2$ , превзойдет это значение.

Если получаемая вероятность  $p$  больше 0,05, обычно признают, что она не является немалой, поэтому гипотезу о том, что случайная величина распределена по принятому гипотезой закону, можно считать приемлемой.

По расчетам, при критерии согласия Пирсона равном 4,2 и числе степеней свободы  $r=4$ , по таблице [2] выдвинутую гипотезу о логарифмически-нормальном распределении случайной величины – времени восстановления отказа ролика можно считать приемлемой.

### **Выводы**

Установлены преимущества применения металлофторопластовых подшипников в конструкции роликов шахтных ленточных конвейеров:

- повышение допустимой загрузки на ролик до 350 МПа;
- исключение возникновения фреттинг-коррозии, ложного бринеллирования и статического электричества.

Конструкция ролика позволяет за счет резьбовых отверстий в корпусе подшипника производить многократную его замену, чем значительно повышает ремонтопригодность и увеличивает ресурс ролика до 50 тыс. ч.

Доказана целесообразность использования роликов с металлофторопластовыми подшипниками в угольных шахтах опасных по газу и пыли вследствие отсутствия эффекта возникновения статического электричества на фторопластовом покрытии подшипника.

Сопротивления вращению роликов с бочкообразной формой корпуса металлофторопластового подшипника скольжения соизмеримы с сопротивлениями вращению роликов с подшипниками качения. Это дает основание считать, что ленточный конвейер, оснащенный металлофторопластовыми подшипниками скольжения, не даст увеличения энергозатрат при одновремен-

ном увеличении ресурса ролика до 50 тыс. ч.

Приемочная комиссия, с участием представителей МакНИИ и Отраслевой испытательной лаборатории ДонУГИ, подписала заключение о полноте проведенных приемочных испытаний опытной партии роликов в течение 921 часа в условиях ш/у «Донбасс» и считает возможным использование указанных роликов в шахтах, опасных по газу и пыли.

### **Список литературы**

1. Сидоров, Ю.П. Ролики ленточных конвейеров: обзор. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1990. – 37 с.
2. Солод, В.И. Надежность горных машин и комплексов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, Л.И. Шпильберг. – М.: МГИ, 1972. – 198 с.
3. Прохоров, С.М. Исследования работоспособности роликов ленточных конвейеров и пути ее повышения: автореф. дис.... канд. техн. наук: 06.05.06 / Прохоров Сергей Михайлович. – Днепропетровск, 1980. – 15 с.
4. Скляров, В.Н. Результаты испытаний роликов ленточных конвейеров повышенной долговечности / Сборник трудов XXIV Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», г. Севастополь, 11-17 сентября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 233-236.
5. Курицына, А.Д. Композиционные материалы и покрытия на базе фторопласта-4 для сухого трения подшипников скольжения / А.Д. Курицына, И.П. Истомин. – М.: НИИМАШ, 1971. – 52 с.
6. Семенов, Ф.П. Металлофторопластовые подшипники / Ф.П. Семенов, Ю.Э. Савинский. – М.: Машиностроение, 1976. – 192 с.
7. Yuan, X.Q. Analysis and Design of the Roller for Belt Conveyor Based on ANSYS / X.Q. Yuan, S.Y. Yang, Q.Y. Niu //Advanced Materials Research.– 2014. – Vol.1027. – P. 315-319.
8. Furmanik, K.J. Analysis of load application on idler roller bearing of belt conveyor in different dynamic models / Journal of Friction and Wear. – 2009. – Iss.2. Vol.30. – P. 142-147.

**N.A. Sklyarov /Cand. Sci. (Eng.)/, V.F. Shavlak /Cand. Sci. (Eng.)/, V.N. Sklyarov**  
Donetsk National Technical University (Donetsk)

### **APPLICATION OF METAL-FLUOROPLASTIC BEARINGS AS A FACTOR OF INCREASING MAINTAINABILITY OF BELT CONVEYOR ROLLERS**

**Background.** The paper deals with the causes of premature wear and low life of conveyor rollers. It is noted that the most responsible and mass units of belt conveyors, to a greater extent determining their performance, reliability and durability, are the rollers that support the loaded and idle branches of the

conveyors. There are about 40 million of these rollers in operation. On mine belt conveyors, the main factors determining the roller life is the failure of the bearing assemblies and wear of the roller shell. For these reasons, the service life of rollers in mining enterprises reduced to 5...7 months.

**Materials and/or methods.** The most valuable properties of fluoroplastic coating used in sliding bearings are established when working without lubrication. The material allows large specific loads (up to 350 MPa); maintains performance in a wide temperature range (from -250 to +300°C); has thermal conductivity and coefficient of thermal expansion almost the same as steel; on the surface there is no static electricity, fretting corrosion and false brinelling.

**Results.** The technique for estimation of belt conveyor rollers maintainability developed and the estimation of failure recovery time of rollers with rolling bearings which amounted to 20.88 minutes carried out. Using Pearson's criterion of the agreement, it is proved that the random variable – the failure recovery time of the belt conveyor rollers follows the logarithmic-normal law.

**Conclusion.** To improve the maintainability of the roller, it is recommended to cut at least two threaded holes in the bearing housing and use a threaded stud to change the worn bearing up to 5 times and replace it with a new one, thereby increasing the life of the roller up to 50,000 hours. This technical proposal is protected by the Patent of Ukraine for utility model No. 94664.

**Keywords:** conveyor, roller, maintainability, evaluation, improvement, resource.

#### Сведения об авторах

##### Н.А. Скляров

SPIN-код: 8015-9609  
Author ID: 850367  
ORCID iD: 0000-0002-2961-3164  
Телефон: +380 (62) 301-07-78  
Эл. почта: nikolay.sklyarov@mail.ru

##### В.Н. Скляров

SPIN-код: 5546-1135  
ORCID iD: 0000-0002-9630-9592  
Телефон: +380 (62) 301-08-54  
Эл. почта: vladimirnikol777@mail.ru

##### В.Ф. Шавлак

SPIN-код: 4837-7126  
Author ID: 852557  
Телефон: +380 (71) 323-19-17  
Эл. почта: shavlak1@yandex.ua

Статья поступила 18.10.2019 г.

© Н.А. Скляров, В.Ф. Шавлак, В.Н. Скляров, 2019

Рецензент д.т.н., проф. О.Е. Шабаев

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ

# ВИБРАЦИЯ МАШИН: ИЗМЕРЕНИЕ, СНИЖЕНИЕ, ЗАЩИТА

vibro.donntu.org