

**В.Н. Скляр**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

## ОЦЕНКА ОБОБЩЕННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

*В статье рассмотрены проблемы повышения уровня качества роликов ленточных конвейеров. Установлено необходимое и достаточное количество частных показателей качества ролика, разработана методика и приведены результаты оценки обобщенного показателя уровня качества основных типов роликов ленточных конвейеров.*

**Ключевые слова:** конвейер ленточный, частные показатели качества, коэффициент парной корреляции, обобщенный показатель уровня качества.

### Постановка проблемы

На угольных шахтах и открытых карьерах широко используются ленточные конвейеры, в которых для поддержания конвейерной ленты при транспортировании полезного ископаемого и породы используются роликотопоры, составленные из нескольких шарнирно соединенных между собой роликов. На долю роликотопор приходится до 30 % первоначальной стоимости всей конвейерной установки [1]. Ежегодно изготавливают примерно 10 млн. роликов и, тем не менее, потребность в них удовлетворяется на 65-70 %. Всего в эксплуатации находится примерно 40 млн. роликов. За рубежом ежегодно для ленточных конвейеров изготавливается свыше 30 млн. роликов.

Повышение уровня качества и увеличение ресурса роликотопор и шахтных ленточных конвейеров в целом является современной актуальной научной задачей.

### Анализ последних исследований и публикаций

Решение проблемы повышения качества горнодобывающей техники зависит в первую очередь от совершенствования методов оценки ее качества, которая должна быть доведена до такого уровня, что давало бы возможность оценивать качество продукции на всех стадиях: проектирования, производства, эксплуатации и ремонта.

В рациональном выборе мероприятий, направленных на повышение качества продукции, важная роль принадлежит количественным методам определения обобщенного показателя уровня качества изделий. Особенно жесткие требования предъявляются к оценке качества горной техники для основных производственных процессов: выемки, транспортирования и переработки полезного ископаемого.

Проблема объективной оценки качества и технического уровня промышленной продукции приобретает в настоящее время первостепенное значение, так как от успешного управления качеством продукции в значительной мере зависит уровень национальной экономики, повышение конкурентоспособности изделий, а также расширение экспорта.

В работе рассмотрены методики оценки качества продукции различных отраслей промышленности: химического машиностроения, изделий угольного машиностроения, горных машин [2], аппаратуры шахтной автоматики [3], а также определения функциональных параметров ленточных конвейеров [4-7].

Большое количество публикаций свидетельствует об актуальности проблемы комплексной оценки совокупности показателей свойств продукции и характеризует значительные трудности, которые стоят на пути создания научно обоснованной методики, применяемой для решения указанного круга задач.

Согласно ГОСТ 15467-70 качество продукции – совокупность свойств продукции, которые обеспечивают ее способность удовлетворять определенные потребности согласно ее назначению. Количественной характеристикой этой совокупности является обобщенный показатель уровня качества ( $\Pi_j$ ) – комплексный показатель уровня качества  $j$ -го типа ролика ленточного конвейера.

В ГОСТ 16431-70 указано, что оценкой уровня качества продукции является совокупность операций, которая включает выбор номенклатуры показателей качества, определение их численных значений, а также значений базовых и относительных показателей с целью обоснования наилучших решений, реализованных при управлении качеством продукции.

### Цель (задачи) исследования

Целью работы является оценка обобщенного показателя уровня качества основных типов серийных и опытных роликов, применяемых на угольных предприятиях.

### Основной материал исследования

Для достоверности и объективности оценки обобщенного показателя уровня качества роликов необходимо рассматривать как можно большую совокупность типов и моделей роликов, так как из этой совокупности выбирают значения базовых показателей эталона.

На основании проведенных исследований [2] предложено при определении обобщенного показателя уровня качества, прежде всего, выбрать функциональный параметр изделия ( $\lambda_j$ ) из условия функционального его назначения.

Ролик и роликостроение являются составной частью ленточного конвейера, функциональным назначением которого является транспортирование определенного объема груза за определенный промежуток времени.

К методике оценки обобщенного показателя уровня качества ролика ленточного конвейера предъявляются повышенные требования:

- иметь функциональный подход к оценке уровня качества;
- учитывать условия эксплуатации;
- позволять оценивать уровень качества роликов ленточных конвейеров разных типов и исполнений;
- исключать субъективность при оценке качества роликов;
- допускать изменение количества показателей качества в зависимости от целей оценки, что особенно важно при сравнении уровней качества отечественных и зарубежных конструкций роликов;
- иметь динамичный эталон с прогрессивными базовыми показателями;
- позволять прогнозировать уровень качества роликов.

В общем случае методика оценки обобщенного показателя уровня качества роликов должна включать:

- выбор функционального параметра ролика ( $\lambda_j$ );
- выбор частных показателей качества ( $b_{ij}$ );
- определение удельных показателей качества ( $x_{ij}$ );
- определение доли участия каждого частного показателя в их общей совокупности ( $m_{ij}$ );
- определение коэффициентов участия частного показателя ( $\phi_{ij}$ );
- определение суммарного значения частных

показателей для каждого  $j$ -го типа ролика ( $\psi_j$ );

– определение обобщенного показателя уровня качества каждого  $j$ -го ролика ( $\Pi_j$ ).

Согласно [2] в качестве значения функционального параметра изделия рекомендуется принимать один из показателей назначения, например, массу изделия.

На основании проведенных исследований [8-10] в качестве функционального параметра  $j$ -го типа ролика ленточного конвейера принимаем массу перевезенного полезного ископаемого за время, равное ресурсу ролика до первого капремонта.

Функциональный параметр ролика можно определить по формуле:

$$(\lambda_j) = Q \cdot T, \quad (1)$$

где  $Q$  – теоретическая производительность конвейера, т/ч;  $T$  – ресурс до первого капитального ремонта, ч.

При равной производительности конвейера функциональный параметр будет выше у ролика с большим ресурсом.

При выборе необходимого и достаточного количества показателей для оценки обобщенного показателя уровня качества роликов ленточных конвейеров были отобраны из государственных и отраслевых стандартов, технических условий, отраслевых методик и других источников следующие параметры роликов ленточных конвейеров ( $b_{ij}$ ):

- $b_1$  – диаметр обечайки ролика,  $D$ , м;
- $b_2$  – ресурс ролика до первого капремонта,  $T$ , ч;
- $b_3$  – сила сопротивления вращению ролика,  $F$ , Н;
- $b_4$  – величина износа подшипника ролика после испытаний,  $\mu$ , мм;
- $b_5$  – длина ролика,  $L$ , м;
- $b_6$  – коэффициент трения в подшипнике ролика,  $f_{mp}$ ;
- $b_7$  – масса ролика,  $m$ , кг;
- $b_8$  – скорость вращения ролика  $v$ , об/мин, где  $i$  – номер частного показателя ролика;  $j$  – номер оцениваемого типа ролика.

Для статистического анализа данных о показателях роликов ленточных конвейеров использовались подпрограммы «Статистика» из Пакета научных программ, которые входят в математическое обеспечение ЭВМ. Исследовались статистические связи между функциональным параметром ( $\lambda_j$ ) ролика и его параметрами ( $b_{ij}$ ), а также между каждыми двумя параметрами ( $b_{ij}$ ). Коэффициент парной корреляции определялся по формуле:

$$r_{b_i; b_{i+1}} = \frac{\sum_{j=1}^m (b_{ij} - \bar{b}_{ij})(b_{i+1,j} - \bar{b}_{i+1,j})}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (b_{ij} - \bar{b}_{ij})^2 \cdot \sum_{j=1}^m (b_{i+1,j} - \bar{b}_{i+1,j})^2}}, \quad (2)$$

где  $m$  – количество одновременно оцениваемых роликов;  $\bar{b}_{ij}$ ,  $\bar{b}_{i+1,j}$  – среднее значение анализируемых показателей  $b_{ij}$  и  $b_{i+1,j}$ .

Коэффициент парной корреляции ( $r_{b_i; b_{i+1}}$ ) представляет собой меру тесноты линейной связи между двумя параметрами. Связь между параметрами отсутствует или отличная от линейной, если коэффициент корреляции равен нулю. Чем выше по абсолютной величине коэффициент корреляции, тем теснее линейная связь.

Статистическая значимость коэффициентов парной корреляции определялась при уровне значимости  $\alpha=0,05$  (доверительная оценка 0,95) и числе степеней свободы  $f=m-2=32$  ( $m=32$  – количество рассмотренных роликов). При этом критическое значение коэффициентов парной корреляции  $r_{крит}=0,210$ .

Линейная связь между параметрами считалась статистически значимой при полученном значении коэффициента корреляции больше значения критического коэффициента корреляции:  $|r_{b_i; b_{i+1}}| \geq r_{крит}$  [2].

Для удобства изучения результаты корреляционного анализа представлены графически в виде многоугольника – графа, вершинами которого являются рассмотренные параметры роликов, а отрезками прямых, которые соединяют вершины, – статистически значимые линейные связи между параметрами (рис. 1).

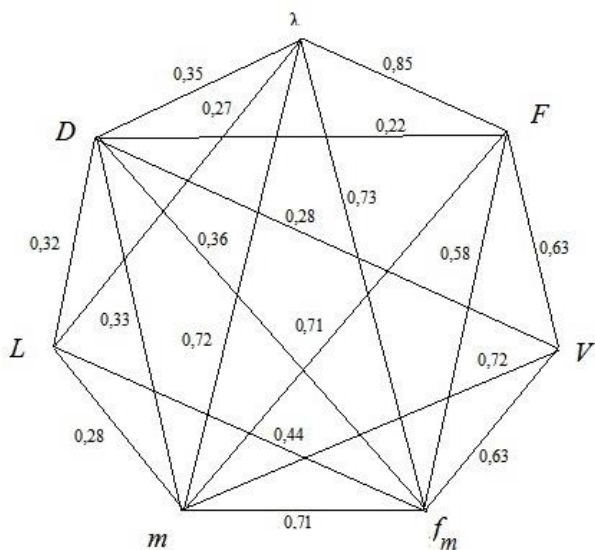


Рис. 1. Граф значимых корреляционных связей между параметрами ленточных конвейеров

Между функциональным критерием ( $\lambda_j$ ) и параметрами ролика ленточного конвейера ( $D, L, T, F, m, f_{mp}, \mu, V$ ) существует статистически значимая линейная связь. Статистически значимая линейная связь между вышеперечисленными параметрами ролика ленточных конвейеров, а также отсутствие между параметрами корреляции, близкой к функциональной, свидетельствует о том, что эти параметры могут быть приняты как единичные (частные) показатели качества роликов.

В соответствии с методикой обобщенный показатель уровня качества ролика определялся с использованием удельных показателей ( $x_{ij}$ ), полученных отношением частных показателей ( $b_{ij}$ ) к функциональному критерию ролика ленточного конвейера ( $\lambda_i$ ):

$$x_{ij} = \frac{b_{ij}}{\lambda_i}. \quad (3)$$

С физической точки зрения удельные показатели представляют собой долю наименьшего реально достигнутого значения, приходящегося на единицу функционального параметра  $j$ -го ролика.

Для определения базовых значений удельных показателей, рассчитанных по формуле (3), значения удельных показателей ( $x_{ij}$ ) заносят в таблицу-матрицу (4):

$$\{x_{ij}\} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1n} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{i2} & \dots & x_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1j} & x_{2j} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{nj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1m} & x_{2m} & \dots & x_{1m} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где  $n$  – количество частных показателей, принятых для оценки качества ролика;  $m$  – число типов роликов в рассмотренной совокупности.

За значение базовых удельных показателей ( $x_{i0}$ ) принимают минимальные значения удельных показателей, которые выбирают из каждой колонки таблицы-матрицы:

$$\sum \{x_{i0}\} = \min \{x_{ij}\},$$

где  $\{x_{i0}\}$  – динамическая модель фиктивного эталонного ролика, которая имеет наиболее высокие свойства, уже достигнутые в разных типах роликов.

Уровень качества  $j$ -го ролика по частным показателям:

$$\tau_{ij} = \frac{x_{i\bar{\sigma}}}{x_{ij}} \leq 1.$$

Для базовой конструкции ролика:

$$\tau_{ij} = \frac{x_{i\bar{\sigma}}}{x_{i\bar{\sigma}}} = 1.$$

Для определения комплексного показателя уровня качества определяют доли участия ( $m_{ij}$ ) каждого частного показателя в их общей сумме при  $n$  избранных показателях и коэффициент участия ( $\varphi_{ij}$ ) каждого частного показателя качества:

$$m_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{i=1}^n \tau_{ij}}; \quad m_{i\bar{\sigma}} = \frac{\tau_{i\bar{\sigma}}}{\sum_{i=1}^n \tau_{i\bar{\sigma}}} = \frac{1}{n};$$

$$\varphi_{ij} = \frac{1 - m_{i\bar{\sigma}}}{1 - m_{ij}}; \quad \varphi_{i\bar{\sigma}} = \frac{1 - m_{i\bar{\sigma}}}{1 - m_{i\bar{\sigma}}} = 1.$$

Суммарное значение частных показателей качества  $j$ -го ролика ( $\psi_j$ ) с учетом коэффициентов участия определяют по формуле:

$$\psi_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\tau_{ij} \varphi_{ij})^2}; \quad \psi_{\bar{\sigma}} = \sqrt{n}.$$

Обобщенный показатель уровня качества  $j$ -го ролика ( $\Pi_j$ ):

$$\Pi_j = \frac{\psi_j}{\psi_{\bar{\sigma}}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tau_{ij} \varphi_{ij})^2}.$$

Для выполнения оценки обобщенного показателя уровня качества роликов принят участковый ленточный телескопический конвейер 1Л80 с техническими параметрами: скорость ленты  $V=1,6$  м/с; диаметр роликов – 127 мм, максимальная производительность  $Q=330$  т/ч.

По предложенной методике выполнена оценка обобщенных показателей уровня качества четырех типов роликов. Исходные данные, используемые в расчете, представлены в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты определения суммарного значения частных показателей ( $\psi_j$ ) и обобщенных показателей уровней качества ( $\Pi_j$ ) по каждому типу ролика, полученные согласно предлагаемой методике оценки.

Из табл. 2 следует, что минимальное значение  $\Pi_j$ , равное 0,426, относится к роликам с подшипниками качения, а наибольшее 0,912 – для роликов с металлофторопластовыми подшипниками скольжения с бочкообразной формой корпуса.

Полученные результаты оценки обобщенного показателя уровня качества доказывают целесообразность применения в роликах ленточных конвейеров металлофторопластовых подшипников скольжения с бочкообразной формой корпуса.

Табл. 1. Исходные данные для оценки обобщенного показателя уровня качества роликов

№ п/п	Тип ролика	Исходные данные			
		$T$ , час	$F$ , Н	$\mu$ , мм	$\lambda_i$ , тыс.т
1	С шариковыми подшипниками качения	1500	6,92	0,070	330
2	С керамическими подшипниками	1500	7,05	0,060	495
3	С фторопластовыми подшипниками цилиндрической формы корпуса	8000	8,45	0,062	2640
4	С фторопластовыми подшипниками бочкообразной формы корпуса	10000	6,45	0,067	3300

Табл. 2. Обобщенные показатели уровня качества роликов

№ п/п	Тип ролика	Значения показателей уровня качества		
		$\psi_{ij}$	$\psi_{\bar{\sigma}}$	$\Pi_j$
1	С шариковыми подшипниками качения	0,852	2,0	0,426
2	С керамическими подшипниками	1,123	2,0	0,561
3	С фторопластовыми цилиндрическими подшипниками	1,500	2,0	0,750
4	С фторопластовыми подшипниками бочкообразной формы	1,824	2,0	0,912

**Выводы**

В результате проведенных исследований разработана методика оценки обобщенного показателя уровня качества роликов ленточных конвейеров, которая имеет функциональный подход, исключает элемент субъективности при выборе эталона, разрешает оценивать уровень качества изделия по любому числу показателей качества.

Установлен функциональный параметр ролика ленточного конвейера, который представляет собой объем полезного ископаемого, перевезенный конвейером по роликам за промежуток времени, равный ресурсу ролика до первого капитального ремонта.

Получены первые оценки обобщенного показателя уровня качества роликов. В результате определено, что для роликов с подшипниками качения уровень качества составляет 0,426, а для роликов с металлофторопластовыми подшипниками скольжения с бочкообразной формой корпуса – 0,912.

**Список литературы**

1. Сидоров, Ю.П. Ролики ленточных конвейеров: обзор / Ю.П. Сидоров. – М.: ЦНИИТЭИ-тяжмаш, 1990. – 37 с.
2. Солод, Г.И. Методика оценки качества горных машин / Г.И. Солод [и др.] // Научные предпосылки создания высокопроизводительных комплексно-механизированных шахт с вычислительно-логическим управлением; под ред. В.И. Солода. – М.: МГИ, 1974. – С. 162-166.
3. Оценка уровня качества аппаратуры шахтной автоматики // Под общ. ред. А.Ф. Бородкина. – М.: Недра, 1974. – 177 с.
4. Furmanik, K. J. Analysis of load application on idler roller bearing of belt conveyor in different dynamic models / K. J. Furmanik // Journal of

- Friction and Wear. – 2009. – Vol. 30. Iss. 2. – P. 142-147.
5. 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.
6. Fedorko, G. The Calculation of Force Effects of a Conveyor Belt of the Pipe Conveyor to Forming Rollers by FEM / G. Fedorko, V. Molnár, P. Michalik // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 806. – P. 181-186.
7. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств : учеб. пособие для вузов / В.А. Будишевский [и др.]; под общ. ред. В.П. Кондрахина. – 2-е изд., перераб. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2017. – 216 с.
8. Скляр, В.Н. Ролик ленточных конвейеров нового технического уровня повышенной долговечности и ремонтпригодности / В.Н. Скляр // Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции «Горная энергомеханика и автоматика», г. Донецк, 21-23 ноября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 68-75.
9. Скляр, В.Н. Результаты испытаний роликов ленточных конвейеров повышенной долговечности / В.Н. Скляр // 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.
10. Скляр, В.Н. Разработка ролика шахтных ленточных конвейеров повышенной долговечности и ремонтпригодности / В.Н. Скляр // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 2. – С. 194-200.

**V.N. Sklyarov**

*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

**EVALUATION OF THE GENERALIZED QUALITY LEVEL INDICATOR OF BELT CONVEYOR ROLLERS**

**Background.** *The paper considers the problem of improving the quality level of the belt conveyor rollers, which depends primarily on the excellence of methods for its evaluation. The objective of the paper is to develop effective methods and evaluate the generalized indicator of the quality level of belt conveyor rollers of different types and designs.*

**Materials and/or methods.** *The author carried out the analysis of methods of assessing product quality in various industries. The method for evaluation of the generalized quality level indicator of the rollers of belt conveyors proposed, taking into account the functional purpose of the product, admitting the change in the number of partial indicators, allowing for the use of the dynamic standard with progressive baseline indicators.*

**Results.** Using the proposed method, the evaluation made of the generalized indicators of the quality level of four types of belt conveyor rollers: rollers with rolling bearings; rollers with metal-ceramic sliding bearings; rollers with metal-fluoroplastic sliding bearings of cylindrical and barrel-shaped bearing housing. Found that the rollers with rolling bearings have a generalized indicator of quality level 0.426, while the rollers with metal-fluoroplastic sliding bearings of cylindrical and barrel-shaped bearing housing – 0.912.

**Conclusion.** On the basis of the results of evaluation of the generalized indicator of the quality level, the expediency of the use of metal-fluoroplastic sliding bearings instead of rolling bearings in the rollers of belt conveyors justified.

**Keywords:** belt conveyor, partial quality indicators, pair correlation coefficient, the generalized indicator of quality level.

**Сведения об авторе**

**В.Н. Скляр**

Телефон: +380 (62) 301-08-54

Эл. почта: vladimirnikol777@mail.ru

Статья поступила 26.02.2018 г.

© В.Н. Скляр, 2018

Рецензент д.т.н., проф. О.Е. Шабеев

