

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ МЕТАЛЛОКОРДА

Ю.Л. Бобарикин, Ю.В. Мартьянов

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
г. Гомель, Беларусь

*Рассмотрены причины повышенного отклонения от прямолинейности металлокорда после свивки в канатной машине. Исследованы возможные способы повышения прямолинейности металлокорда. Предложена зависимость для расчета диаметра ролика обратной деформации в способе повышения прямолинейности металлокорда воздействием на него обратным изгибом перед намотом на приёмную катушку. Полученные данные испытаний предложенной зависимости указывают на эффективность ее использования.*

**Ключевые слова:** металлокорд, прямолинейность, релаксация, напряжения

## METHODS OF INCREASING STEEL CORD STRAIGHTNESS

Yu.L. Bobarikin, Yu.V. Martyanov

Sukhoi State Technical University of Gomel  
Gomel, Republic of Belarus

*The reasons of increased deviation from the straightness of the steel cord after twisting in cable machines are given. Potentially possible ways of increasing the straightness of steel cord are considered. A dependence for calculating the diameter of the reverse-deformation roller in the method of increasing the steel cord straightness by acting on it with reverse bending before winding on the receiving coil is proposed in this article. The obtained test data of the proposed dependence show the effectiveness of its use.*

**Keywords:** steel cord, straightness, relaxation, stresses

**E-mail:** bobarikin@tut.by, you\_rock@tut.by

Процесс получения металлокорда начинается с выплавки стали и заканчивается свивкой проволок в витое изделие на канатной машине. В современных производственных условиях увеличилось требование к значению прямолинейности металлокорда в связи с ростом степени автоматизации производства шин.

Металлокорд преимущественно изготавливают на канатных машинах двойного кручения последовательной скруткой тонкой латунированной углеродистой и высокоуглеродистой стальной проволоки. В результате свивки металлокорда проволока образует объемную спираль. Технология свивки определяет конструкцию металлокорда. В процессе свивки проволока испытывает крутящие и растягивающие напряжения.

Прямолинейность металлокорда представляет собой отклонение металлокорда в свитом состоянии от формы прямой после выдержки на катушке. В производственных условиях регламентируется величина отклонения от прямолинейности. Испытания проводятся по методике в соответствии с техническими условиями [1].

Повышенное отклонение от прямолинейности металлокорда приводит к увеличению доли его отбраковки.

Цель исследования: рассмотреть возможные способы повышения прямолинейности металлокорда и разработать способ определения диаметра ролика обратной деформации в способе повышения прямолинейности металлокорда обратным изгибом перед его намотом на приемную катушку канатной машины.

Основное влияние на снижение прямолинейности металлокорда оказывают остаточные напряжения в его структуре, вызывающие упругие деформации металлокорда при дальнейшей релаксации. Релаксация представляет собой механизм перехода упругой деформации в пластическую при постоянной суммарной деформации. Поэтому пластическая деформация растет за счёт уменьшения упругой. При этом напряжения в металле снижаются [2]. Для повышения прямолинейности металлокорда необходимо повысить равномерность распределения остаточных напряжений, а также повысить однородность деформации при волочении и свивке. Снижение остаточных напряжений в проволоке вызовет снижение напряжений в металлокорде и повысит его прямолинейность.

Одним из способов снижения остаточных напряжений в металлокорде является роликовая рихтовка (рис. 1).

Принцип её работы заключается в воздействии на проволоку или металлокорд знакопеременных изгибающих деформаций. Дополнительная знакопеременная пластическая деформация снижает уровень остаточных напряжений [3].

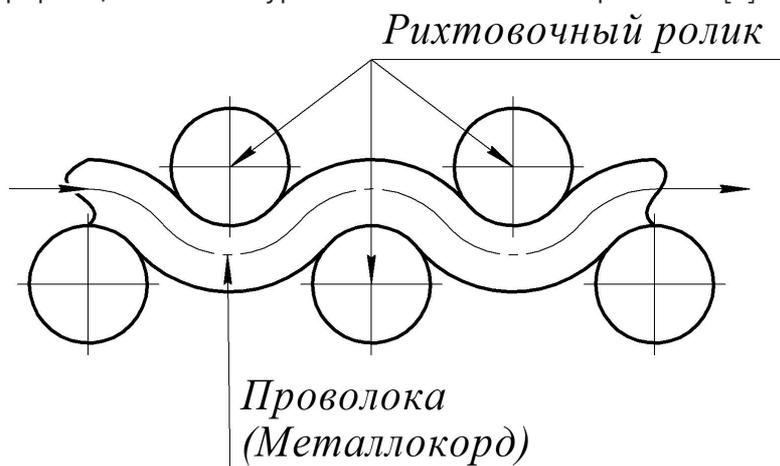


Рис. 1. Схема роликовой рихтовки металлокорда

Основным преимуществом является простота конструкции и удобство размещения в потоке проволочного стана. Недостатком является частый выход из строя подшипников роликов в рихтовке из-за больших нагрузок и скоростей работы, снижение

сопротивления пластической деформации металла проволоки, для несимметричных конструкций металлокорда наблюдается неравномерное воздействие на эффективное сечение.

Рихтовочные устройства широко распространены на этапе волочения, их можно успешно использовать и на этапе свивки металлокорда в двух перпендикулярных плоскостях.

Отличие в использовании роликовых рихтовочных устройств на этапе волочения и на этапе свивки заключается в воздействии на деформируемое тело. При использовании на этапе свивки ролики изгибают металлокорд, вызывая осевые смещения проволок и переопределяя их контактное взаимодействие, снижая уровень остаточных напряжений, возникающих при свивке.

Для повышения равномерности распределения деформаций и снижения остаточных напряжений в проволоке возможно использование дополнительного растяжения в процессе волочения, использование роликов обратной деформации для изменения контактного взаимодействия между проволоками в процессе свивки за счёт упругого изгиба металлокорда.

Способы увеличения прямолинейности металлокорда находят отражение в патентах [4–7].

Схема для повышения прямолинейности металлокорда с помощью дополнительного растяжения тонкой проволоки в потоке волочильного стана представлена на рис. 2 [4].

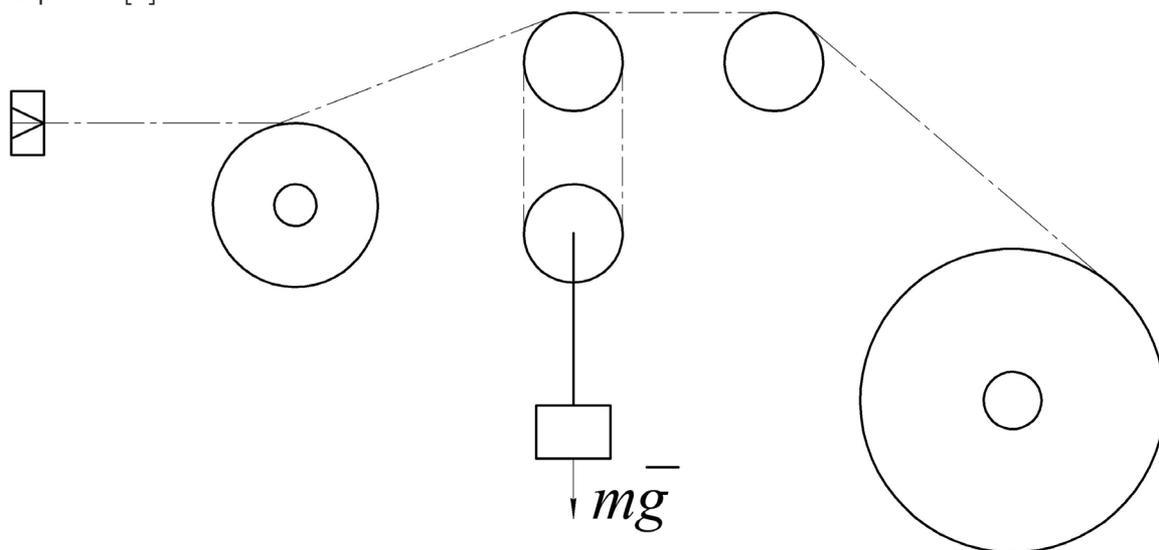


Рис. 2. Схема приложения дополнительного растяжения в потоке волочильного стана:

$mg$  — силовое воздействие растяжения на проволоку;

$m$  — масса груза, кг;  $g$  — ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/с}^2$

Особенностью данного способа является то, что после финального волочения проволоку подвергают разрывной нагрузке в пределах от 70 до 90 % от предела прочности.

Для снижения отклонения от прямолинейности металлокорда в процессе его выдержки на приемных катушках используются дополнительные деформирующие устройства (деформаторы), устанавливаемые в канатных машинах перед намотом металлокорда на приемную катушку [8].

Простейший деформатор состоит из одного направляющего ролика и деформирующего ролика, который называют роликом обратной деформации (РОД). Схема простейшего деформатора представлена на рис. 3.

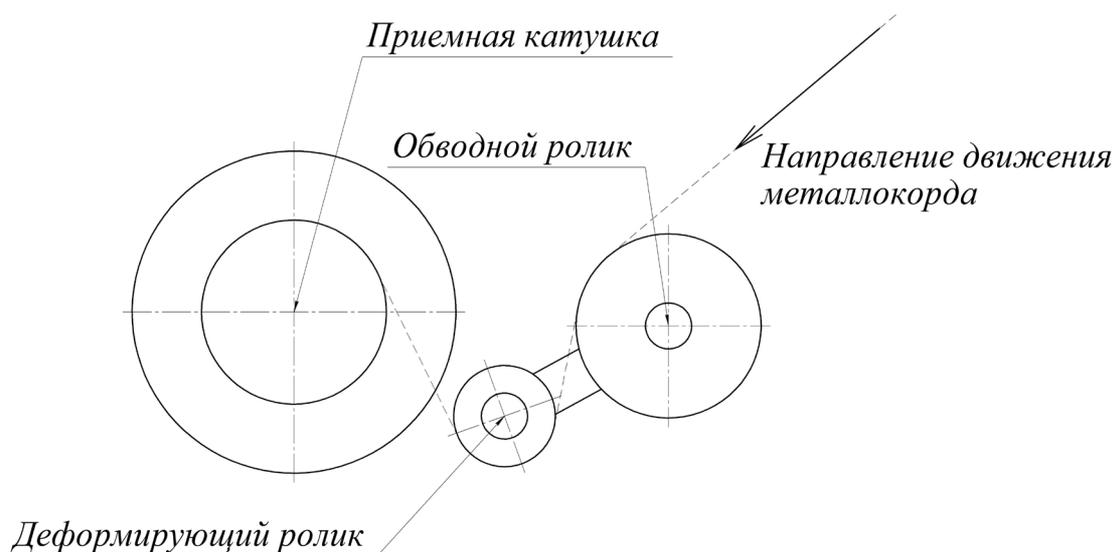


Рис. 3. Принципиальная схема простейшего деформатора

В лабораторных условиях была проверена целесообразность использования представляемого метода повышения прямолинейности металлокорда. Выбор диаметра деформирующего ролика основывался на решении аналитической задачи изгиба металлокорда на ролике. Схема построения задачи представлена на рис. 4.

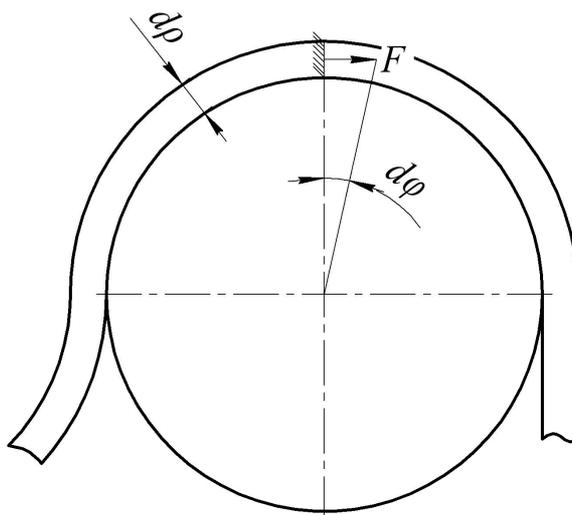


Рис. 4. Схема построения аналитической задачи

При решении задачи изгиба металлокорда на ролике обратной деформации были приняты следующие допущения: металлокорд принимается сплошным телом; сила натяжения  $F = const$ . Полученное выражение для величины напряжений, возникающих в металлокорде при изгибе, принимает вид:

$$\sigma = \frac{F \sin(d\varphi) \operatorname{tg}(d\varphi) \left( \frac{D_{\text{РОД}}}{2} + d\rho \right)}{0,1\rho^3}, \quad (1)$$

где  $F$  — сила натяжения металлокорда при намотке на катушку, Н;  
 $D_{\text{РОД}}$  — диаметр РОД, мм;  
 $\rho$  — диаметр металлокорда, мм.

$\sigma$  — напряжения, создаваемые роликом при изгибе на нём металлокорда, Мпа.

Для нахождения значения оптимального диаметра РОД, согласно [4], вследствие того, что изгибающие напряжения создают как растягивающие, так и сжимающие напряжения в металле проволоки, принимаем  $\sigma=0,7\sigma_B$ . В результате решения аналитической задачи для металлокорда конструкции 2x0.30НТ относительно  $D_{\text{РОД}}$  был выбран деформирующий ролик (РОД) диаметром 44 мм. Испытания деформатора, оснащённого деформирующим роликом диаметром 44 мм, представлены в табл. 1.

**Табл. 1**

**Результаты отклонения от прямолинейности металлокорда 2x0,30НТ с использованием деформатора с диаметром РОД 44 мм**

Время после опыта	№ образца	Отклонение от прямолинейности металлокорда, мм	
		без деформатора	с деформатором
0 суток	1	85	50
	2	105	45
	3	95	60
	средн.	95,0	51,7
1 сутки	1	100	60
	2	120	65
	3	110	65
	средн.	110,0	63,3
3 суток	1	90	60
	2	85	65
	3	95	65
	средн.	90,0	63,3
6 суток	1	90	60
	2	85	65
	3	90	65
	средн.	88,3	63,3
10 суток	1	85	65
	2	85	65
	3	90	60
	средн.	86,7	63,3
14 суток	1	95	65
	2	95	65
	3	90	65
	средн.	93,3	65,0

Использование деформаторов позволяет уменьшить уровень остаточных напряжений в металлокорде и увеличить прямолинейность металлокорда.

Расширенные испытания для оценки влияния угла охвата металлокордом деформирующего ролика представлены в табл. 2.

**Табл. 2**

**Результаты отклонения от прямолинейности  
металлокорда 2х0,30НТ с использованием деформатора**

Время после опыта	№ образца	Отклонение от прямолинейности, мм (по линейке)				
		Количество оборотов на ролике				
		без деформатора	1 оборот	2 оборота	0,46 оборота	0,6 оборота
Сразу после намота	1	85	55	75	50	50
	2	105	45	70	45	55
	3	95	50	70	60	55
	средн.	95,0	50,0	71,7	51,7	53,3
1 сутки	1	100	60	100	60	55
	2	120	60	70	65	50
	3	110	55	75	65	50
	средн.	110,0	58,3	81,7	63,3	51,7
3 суток	1	90	50	90	60	65
	2	85	50	90	65	65
	3	95	50	90	65	60
	средн.	90,0	50,0	90,0	63,3	63,3
6 суток	1	90	50	80	60	—
	2	85	50	90	65	—
	3	90	50	90	65	—
	средн.	88,3	50,0	86,7	63,3	—
10 суток	1	85	50	—	65	—
	2	85	55	—	65	—
	3	90	60	—	60	—
	средн.	86,7	55,0	—	63,3	—
14 суток	1	95	60	—	65	—
	2	95	55	—	65	—
	3	90	55	—	65	—
	средн.	93,3	56,7	—	65,0	—

Полученные данные в виде графиков изображены на рис. 5.

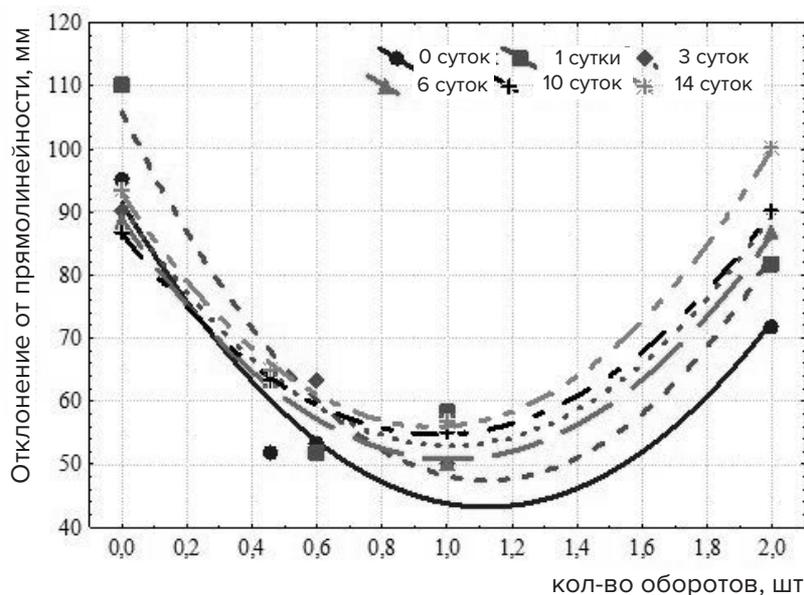


Рис. 5. Результаты отклонения от прямолинейности металлокорда 2x0,30НТ с использованием деформатора

Анализ графиков показывает, что наибольшим эффектом для металлокорда 2x0,30НТ обладает заправка с 0,8–1,2 оборотом на деформирующем ролике диаметром 44 мм. Увеличение количества оборотов не даёт положительного эффекта. Напротив, при увеличении числа оборотов до двух наблюдается увеличение отклонения от прямолинейности металлокорда при выдержке его на катушке. Это значит, что воздействие на металлокорд должно быть ограничено упругой зоной и не превышать предел текучести металла, т. е. не переходить зону пластичности.

С увеличением времени выдержки металлокорда на катушке вследствие релаксации остаточные напряжения вызывают увеличение отклонения от прямолинейности металлокорда. Остаточные напряжения металлокорда складываются из напряжений, имеющих в проволоке после волочения, а также напряжений, возникающих в ней при свивке металлокорда. Изменение свойств высокопрочной проволоки и витого изделия в целом не заканчивается после свивки металлокорда. Различное воздействие в процессе свивки металлокорда дополнительной деформации знакопеременного изгиба с растяжением и скручиванием на поверхностные и центральные слои служит причиной возникновения в холоднодеформированной проволоке остаточных напряжений, обусловленных наличием областей с отличающимися по знаку напряжениями. После окончания свивки и снятия нагрузки развиваются процессы релаксации напряжений [9].

Представленные способы повышения прямолинейности металлокорда имеют достаточную эффективность и используются в настоящее время в производственных условиях. Наиболее классическим способом повышения прямолинейности является использование рихтовочных устройств в потоке волочильного стана и на этапе свивки в узле намота на приёмную катушку. Использование растяжения в потоке волочильного стана связано с определёнными конструктивными и технологическими трудностями. Современным и перспективным способом дополнительного повышения прямолинейности металлокорда является использование деформирующих устройств в узлах намота металлокорда на приёмную катушку на этапе свивки.

## Заклучение

1. Установлено, что для повышения прямолинейности металлокорда после свивки возможно использование рихтовочных устройств в потоке волочильных станов и после свивки перед намотом металлокорда на катушку; растяжение проволоки в потоке волочильного стана; использование деформирующих устройств перед намотом металлокорда на канатных машинах.

2. Определено, что при использовании деформирующих устройств перед намотом металлокорда на канатных машинах вариант заправки металлокорда в деформатор и диаметр деформирующего ролика влияют на эффективность повышения прямолинейности металлокорда. Предложено выражение для определения эффективного диаметра деформирующего ролика деформатора.

3. Определён расчётным методом диаметр РОД ( $D_{\text{РОД}}$ ) и оптимальный способ заправки металлокорда в деформатор, выраженный в количестве оборотов металлокорда вокруг деформирующего ролика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения дуги прогиба и отклонения от прямолинейности металлокорда МВИ 840-ТУ-615-2012;
2. Стальная проволока / Х. Н. Белахов [и др.]: Монография. — Магнитогорск: Издательство Магнитогорск, гос. Тех. Университета им. Г. И. Носова, 2011 г. — 689 с.
3. Перспективные направления развития производства металлокорда / В. П. Фетисов [и др.]. — Москва: Экспресс-информ. / Ин-т «Чернот-информация», 1992. — 40 с.
4. Способ производства нитей для изготовления стального корда и устройство для их производства. Пат. №2005-317120 (P2005-317120) Япония, Канаи Хироаки, Сасакура Нобухико Публ.: 17.05.2007г. // Патентное бюро Японии, 2007. — 8 с.
5. Способ производства стального корда и устройство для его производства. Пат. №1991-30982 Япония, Окамото Кэнъити, Кисимото Акира, Нисимура Ёсифуми Публ.: 25.09.1992г. // Патентное бюро Японии, 1992. — 6 с.
6. Способ высокоскоростного волочения сверхтонкой стальной проволоки. Пат. №1993-13893 Япония, Ямадзаки Цуёси, Тасиро Хитоси, Публ.: 16.08.1994г. // Патентное бюро Японии, 1994. — 7 с.
7. Способ отбора партий стальной высокоуглеродистой проволоки для свивки металлокорда с минимальной обрывностью. пат. 15384 Респ. Беларусь, МПК G 01N 3/08, G 01N 3/28 / В. В. Крылов-Олефиренко, А. И. Гордненко, А. В. Веденеев, О. И. Игнатенко, А. Н. Савенок; заявитель РУП «БМЗ»; №a20081133 ; заявл. 09.02.2008 ; опубл. 10.07.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. — 2012.
8. Определение диаметра ролика обратной деформации для канатной машины в узле намота металлокорда / Ю. Л. Бобарикин [и др.]. — ISSN 2076-2151. Обработка материалов давлением. — 2015, №1 (40).
9. Веденеев, А. В. Релаксационные явления при изготовлении металлокорда / А. В. Веденеев, В. С. Музыченко // Сталь, Москва: Интермет Инжиниринг, №5, 2016. — С. 41–46.

## REFERENCES

1. Bryukhov V.V. Povyshenie stoykosti instrumenta metodom ionnoy implantatsii [Increased tool life by ion implantation]. Tomsk, NTL Publ., 2003, p. 120. (in Russian)
2. Metodika opredeleniya dugi progiba i otkloneniya ot pryamolineynosti metallokorda [Procedure for determining the arc of deflection and deviation from the straightness of steel cord] MVI 840-TU-615-2012. (in Russian)
3. Belakhov Kh. N., Gun G. S., Klekovkin A. A., Klekovkina N. A., Korchunov A. G., Polyakova

- M. A. Stal'naya provoloka [Steel wire]. (monograph), Magnitogorsk, Izdatel'stvo Magnitogorsk, gos. Tekh. Universiteta im. G. I. Nosova, 2011, 689 p. (in Russian);
4. Fetisov V. P., Biryukov B. A., Feoktistov Yu.V., Kulichev L. A. Perspektivnyye napravleniya razvitiya proizvodstva metallokorda [Perspective directions of steel cord production development]. Ekspress-inform. / In-t «Chernot-informatsiya». Moscow, 1992, 40 p. (in Russian);
  5. Yaponiya, Kanai Khiroaki, Sasakura Nobukhiko. Sposob proizvodstva nitey dlya izgotovleniya stal'nogo korda i ustroystvo dlya ikh proizvodstva. [Method of producing wires for production of steel cord and a device for production.] Pat. N°2005-317120 (P2005-317120) Publ.: 17.05.2007. Japan Patent Office, 2007, 8 p. (in Russian)
  6. Yaponiya, Okamoto Ken»iti, Kisimoto Akira, Nisimura Yosifumi. Sposob proizvodstva stal'nogo korda i ustroystvo dlya yego proizvodstva [Method of producing steel cord and a device for production.]. Pat. N°1991-30982. Publ.: 25.09.1992. Japan Patent Office, 1992, 6 p. (in Russian)
  7. Yaponiya, Yamadzaki Tsuyosi, Tasiro Khitosi. Sposob vysokoskorostnogo volocheniya sverkh-tonkoy stal'noy provoloki [Method for high-speed drawing of ultra-thin steel wire]. Pat. N°1993-13893, Publ.: 16.08.1994. Japan Patent Office, 1994, 7 p. (in Russian)
  8. Krylov-Olefirenko V. V., Gordnenko A. I., Vedeneyev A. V., Ignatenko O. I., Savenok A. N. Sposob otbora partiy stal'noy vysokouglerodistoy provoloki dlya svivki metallo-korda s minimal'noy obryvnost'yu [Method for selecting batches of high-carbon steel wire for steel cord rope with minimal breakage]. pat. 15384 Resp. Belarus', MPK G 01N 3/08, G 01N 3/28. BMZ, N°a20081133. publ. 10.07.2011. National Intellectual Property Center, 2012. (in Russian)
  9. Bobarikin Yu. L., Avseykov S. V., Mart'yanov Yu. V., Vedeneyev A. V. Opredeleniye diametra rolika obratnoy deformatsii dlya kاناتnoy mashiny v uzle namota metallokorda [Determination of the diameter of the deformation roller for the reverse deformation in cable machine at the place of steel cord winding]. ISSN 2076-2151. Obrabotka materialov davleniyem [Processing of materials by pressure]. 2015, no 1 (40). (in Russian)
  10. Vedeneyev A.V., Muzychenko V.S. Relaksatsionnyye yavleniya pri izgotovlenii metallokorda [Relaxation phenomena in production of steel cord]. Moscow, Stal', Intermet Inzhiniring, no 5, 2016, pp. 41–46. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 26.04.17