

НОВЫЙ ПОДХОД В ОПРЕДЕЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РОЛИКА КАНАТНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОКОРДА

¹Ю.Л. Бобарикин, ¹Ю.В. Мартьянов, ²О.Ю. Ходосовская

¹Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

²ОАО «БМЗ – УКХ «БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь

Металлокорд преимущественно получают путём свивки стальной латунированной проволоки на канатных машинах двойного кручения. В процессе свивки на металлокорд воздействуют сложные изгибающие знакопеременные напряжения, которые приводят к появлению внутренних остаточных напряжений. Для снижения эффекта релаксации внутренних остаточных напряжений используются деформирующие роликовые устройства. Предложен новый подход для расчёта оптимального диаметра деформирующего ролика такого устройства, устанавливаемого на канатной машине в узле намотки металлокорда на приёмную катушку. Предложенный подход апробирован в промышленных условиях на канатной машине TD 2/401 и показал свою эффективность в части повышения прямолинейности металлокорда.

Ключевые слова: проволока, металлокорд, напряжения, кривизна, прямолинейность

A NEW APPROACH TO DETERMINING THE DEFORMING ROLLER OPTIMUM DIAMETER OF A ROPE MACHINE TO IMPROVE THE STEEL CORD TECHNOLOGICAL PROPERTIES

¹Yu.L. Bobarikin, ¹Yu.V. Martyanov, ²O.Yu. Khodosovskaya

¹Gomel State Technical University n. a. P.O. Sukhoi,
Gomel, Republic of Belarus

²OJSC «BSW – management company of «BMC» holding»,
Zhlobin, Republic of Belarus

A steel cord is mainly produced by twisting brass-plated steel wire at double-twisting rope machines. In the process of twisting, complex bending alternating stresses act on the steel cord, which lead to the appearance of internal residual stresses. Deforming roller devices are used to reduce the effect of relaxation of internal residual stresses. A new approach is proposed for calculating the optimal diameter of the deforming roller of such a device, which is installed on a

wire rope machine in the steel cord winding unit on the take-up spool. The proposed approach has been tested in industrial conditions on a TD 2/401 wire rope machine and has shown its effectiveness in terms of increasing the steel cord straightness.

Keywords: wire, steel cord, stresses, curvature, straightness

E-mail: bobarikin@tut.by, you_rock@tut.by

Металлокорд используется в качестве армирующего элемента в автомобильных резиновых каркасных шинах и резиновых полотнах. Металлокорд получают из тонкой стальной латунированной проволоки [1]. В современном метизном производстве металлокорд свивают с помощью канатных машин двойного кручения. Такие машины имеют повышенную производительность по сравнению с канатными машинами одинарного кручения и другими машинами старого типа. Во время свивки проволока находится в сложном напряжённо-деформированном состоянии. Такое состояние способствует возникновению остаточных напряжений внутри проволок металлокорда. Эти напряжения влияют на технологические свойства металлокорда: отклонение от прямолинейности, обрывность, нераскручиваемость и др. К тому же остаточные напряжения проходят релаксацию, находясь на приёмной катушке, и в течение семи суток переходят в пластическую деформацию, что проявляется в искажении прямолинейной формы металлокорда при его размотке с катушки перед использованием.

Для повышения прямолинейности металлокорда с компенсацией остаточных напряжений и деформаций используется дополнительная деформация металлокорда в дополнительном деформирующем ролике, установленном перед приёмной катушкой [2]. Существуют способы для определения оптимального диаметра деформирующего ролика, представленные в работе [3]. Имеющиеся способы достаточно эффективны, однако имеют некоторые недостатки: длительность расчётов, недостаточная точность при определённых конструкциях металлокорда. Основным недостатком известных способов заключается в отсутствии возможности учитывать модернизацию канатной машины. Например, при добавлении дополнительных обводных роликов внутрь канатной машины, изменении метода заправки торсионного устройства известные методы определения диаметра деформирующего ролика не позволят определить оптимальное значение диаметра деформирующего ролика.

Цель: разработать новый подход в определении оптимального диаметра деформирующего ролика канатной машины для повышения прямолинейности металлокорда, учитывающий возможности к модернизации канатных машин.

Метод исследования: теоретический, аналитические и экспериментальный.

Типовая схема канатной машины представлена на рис. 1.

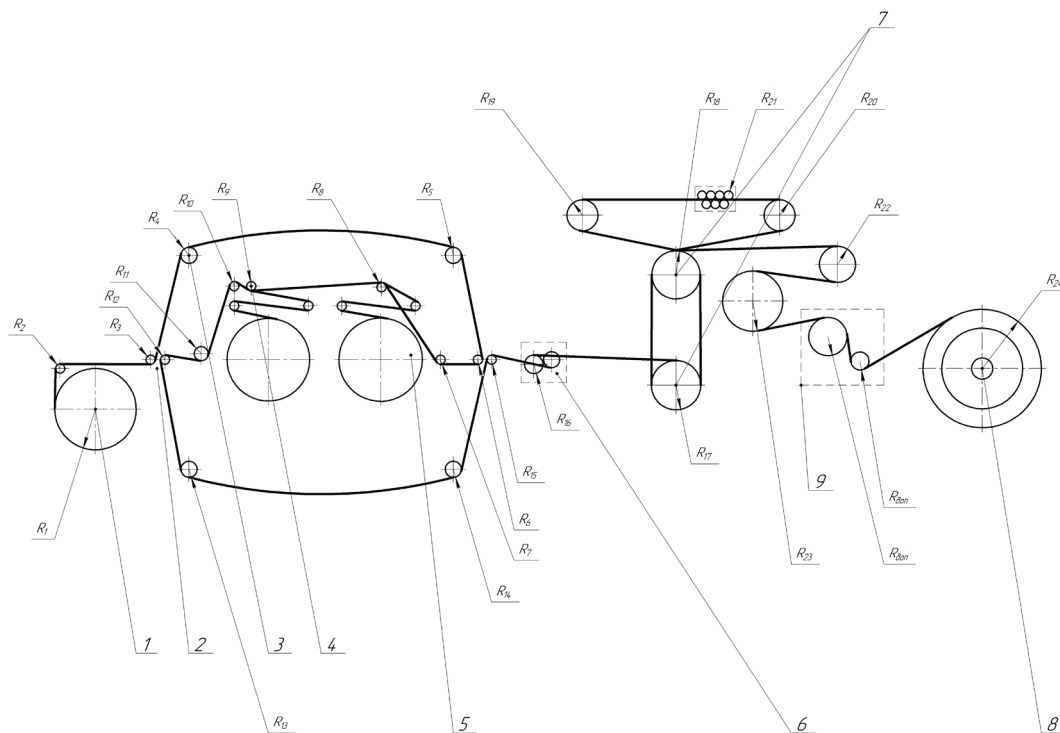


Рис. 1. Типовая схема канатной машины:

R – радиус соответствующего элемента; 1 – выносная катушка питания; 2 – обводные ролики; 3 – обводной блок; 4 – направляющий ролик; 5 – внутренняя катушка; 6 – торсионный блок; 7 – вытяжной кабестан; 8 – приёмная катушка; 9 – дополнительные деформирующие ролики

Согласно схеме на рис. 1 в процессе свивки металлокорда тонкая проволока проходит через множество роликов. При этом напряжённо-деформированное эквивалентное состояние металлокорда неравновесное. Равновесное напряжённо-деформированное состояние металлокорда означает, что уровень внутренних остаточных напряжений равен или близок к нулю. При таком уровне остаточных внутренних напряжений релаксация будет минимальна. Это значит, что готовый металлокорда будет обладать высокими технологическими свойствами, в частности, высокой прямолинейностью.

Разработанный подход состоит в положении: произведение коэффициента степени проработки металлокорда и суммарной кривизны всех роликов канатной машины должно равняться нулю. Под кривизной ролика понимается величина, обратная радиусу ролика. Общее выражение имеет вид:

$$K \cdot \sum \frac{1}{R} = 0 \quad (1)$$

$$\sum \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{\text{доп}}} = 0 \quad (2)$$

где K – коэффициент степени проработки металлокорда;

$1/R$ – кривизна соответствующего ролика, мм^{-1} ;

$R_{\text{доп}}$ – радиус дополнительного деформирующего ролика, мм .

При расчётах по формуле (2) необходимо принять условное направление изгиба проволоки в канатной машине. Если проволока при проходе по ролику условно из-

гибается в одном направлении, то принимается положительное значение кривизны, если в обратном направлении, то принимается отрицательное значение кривизны. По результатам расчётов результат должен равняться нулю. Если значение ненулевое, то необходимо добавить новое слагаемое, которое компенсировало бы полученное значение выражения и приводило бы его к нулю. Добавление нового слагаемого означает модернизацию канатной машины и внедрение нового обводного ролика в конструкцию канатной машины.

Размеры используемых роликов на канатной машине представлены в табл. 1.

Табл. 1

Размеры используемых роликов на канатной машине

Наименование	Обозначение	Значение диаметра, мм	Кривизна, мм ⁻¹
Питающая катушка	R_1	190/80	0,0148
Обводной ролик	R_2	40	0,05
Обводной ролик	R_3	40	-0,05
Обводной блок	R_4	43	0,0465
Обводной блок	R_5	43	0,0465
Обводной ролик	R_6	40	0,05
Обводной ролик	R_7	38	0,0536
Обводной ролик	R_8	36	-0,055
Профилирующий ролик	R_9	3,125	0,64
Обводной ролик	R_{10}	36	-0,055
Обводной ролик	R_{11}	30	0,066
Обводной ролик	R_{12}	40	-0,05
Обводной блок	R_{13}	43	-0,0465
Обводной блок	R_{14}	43	-0,0465
Обводной ролик	R_{15}	56	0,0357
Ролики торсионного блока	R_{16}	56	0,0357
Тяговый кабестан	R_{17}	134	0,0149
Тяговый кабестан	R_{18}	134	0,0149
Направляющий ролик к рихтовальному устройству	R_{19}	100	-0,02
Направляющий ролик к рихтовальному устройству	R_{20}	100	-0,02
Ролик рихтовального устройства	R_{21}	14	-0,1428
Направляющий ролик намоточного устройства	R_{22}	100	0,02
Направляющий ролик намоточного устройства	R_{23}	195	0,01
Направляющий деформирующий ролик	$R_{доп}$	-	0
Деформирующий ролик	R_n	-	0
Приёмная катушка	R_{24}	255/80	0,0119

Ролики торсионного блока имеют суммарную кривизну, равную 0 и в расчёте не учитываются. В расчёте принимается средняя кривизна для приёмной и питающей катушек, которая вычисляется как среднее арифметическое от максимального и минимального радиуса. Средний угол охвата роликов по канатной машине составляет $25,7^\circ$. Коэффициент проработки металлокорда роликами К вычисляется как отношение полного угла (360°) к углу охвата роликов. Для представленной схемы канатной машины (рис. 1) коэффициент составляет 14.

Согласно табл. 1 и выражению (2) суммарная кривизна составляет $0,6247 \text{ мм}^{-1}$. Это означает, что диаметр направляющего деформирующего ролика $R_{\text{доп}}$ с учётом коэффициента степени проработки роликами металлокорда должен быть 84 мм, а деформирующего ролика R_n с учётом коэффициента проработки роликами металлокорда должен быть равен 44 мм.

Для повышения технологичности производства металлокорда были использованы обводные ролики на тазах канатной машины (рис. 1, позиция 3) взамен салазок в количестве четырёх штук. Данная модернизация может привести к изменению состояния эквивалентной кривизны для металлокорда, определяемая из выражения 2. Результаты расчётов показывают, что эквивалентная кривизна после модернизации не изменилась. Модернизация не усугубляет прямолинейность металлокорда. Схема обводного ролика представлена на рис. 2.

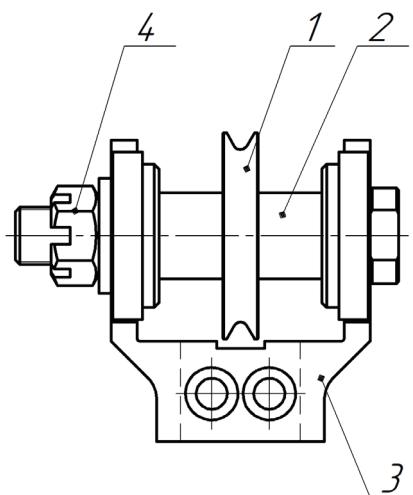


Рис. 2. Схема обводного ролика:
1 – рабочий ролик; 2 – ось ролика; 3 – основание; 4 – гайка

В промышленных условиях выполнен эксперимент с использованием деформирующего ролика. Для определения влияния деформирующего ролика на прямолинейность металлокорда было проведено исследование при изготовлении металлокорда конструкции $2 \times 0,30HT$. На канатной машине типа $TD 2/401$, настроенной по действующей серийной технологии с использованием деформирующего ролика диаметром 56 мм в узле намотки металлокорда на приёмную катушку диаметром 80 мм (этап I), изготовили 3 катушки металлокорда. Требования к металлокорду при запуске канатной машины:

- отклонение от прямолинейности металлокорда (прямолинейность) не более 10 мм на измерительной линейке с базой 600 мм;
- остаточное кручение от 0,5 до 1,5 об/6м.

После работы по схеме этапа I на канатной машина была произведена модернизация с заменой деформирующего ролика с 56 мм на ролик диаметром 44 мм (этап II) и выполнена настройка без заправки через ролик до требований, указанных выше. Далее была произведена заправка металлокорда через деформирующий ролик (этап III) и изготовлено 3 катушки металлокорда. Этап II и этап III отличаются только способом настройки канатной машины. Свивка металлокорда на канатных машинах на этапе II и этапе III осуществлялась с использованием направляющего деформирующего ролика $R_{доп}$ и деформирующего ролика R_n на этапе II и на этапе III. Оценка прямолинейности металлокорда производилась с учётом релаксации остаточных напряжений в течение семи суток. Съём данных осуществлялся сразу после наработки, через одни сутки, через трое суток и через семь суток.

Данные по распределению среднего значения прямолинейности металлокорда по этапам изготовления представлены на рис. 3.

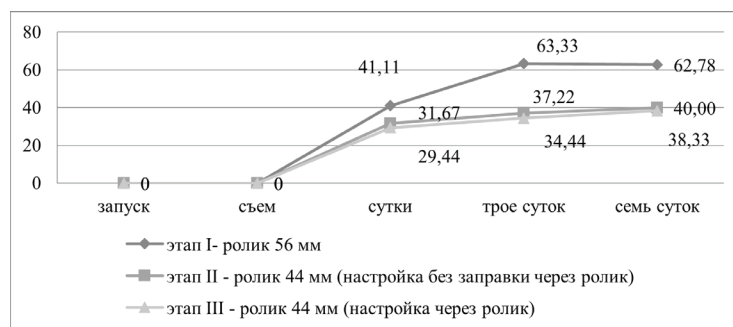


Рис. 3. Диаграмма изменения прямолинейности металлокорда конструкции $2 \times 0,30HT$ в промышленных условиях

Из диаграммы (рис. 3) следует, что значительное изменение прямолинейности металлокорда (в 3–4 раза) на всех этапах происходило в течение первых суток выдержки металлокорда на приёмной катушке.

Релаксация остаточных напряжений в течение следующих 3 суток на этапе I также проходила со значительным изменением прямолинейности металлокорда. Прямолинейность составила около 60 мм, что в 6 раз выше значения прямолинейности металлокорда при съеме с приёмной катушки канатной машины и стабилизировалась по истечении семи суток выдержки. На этапе II и III так же происходило изменение значения прямолинейности металлокорда, но с меньшей интенсивностью: после трех суток выдержки прямолинейность металлокорда в среднем составила 34...37 мм, а через семь суток 38...40 мм.

Полученные результаты свидетельствует об эффективности использования деформирующего ролика диаметром 44 мм на прямолинейность металлокорда.

Были проведены исследования по оценке влияния деформирующего ролика диаметром 55 мм на прямолинейность металлокорда для конструкции $2 \times 0,30SHT$. Свивка металлокорда производилась на машинах $TD 2/401$. Чтобы обеспечить нераскручиваемость проволок металлокорда применялось 2-х роликовое устройство с диаметром ролика 3 мм. В процессе наработки была отмечена повышенная непрямолинейность (отклонение от прямолинейности) металлокорда после 3-х суточной выдержки (около 100 %, превышение нормируемого значения прямолинейности более 60 мм на базе 600 мм). Для решения данной проблемы на укладчик канатной машины для намотки готового металлокорда был установлен деформирующий ролик диаметром 55 мм. От-

браковка по непрямолинейности снизилась примерно на 50 %. После изменения угла охвата роликом металлокорда до значения 90° отбраковка металлокорда по выдержке в течение 3-х суток снизилась до нуля.

В результате была наработана опытная партия в объеме 1008 катушек. В процессе наработки опытной партии металлокорда конструкции 2×0,30SHT проводилась оценка изменения величины остаточного кручения и прямолинейности во времени. На рис. 4 и 5 показаны изменения средних значений по партиям остаточного кручения и прямолинейности, полученных на канатном участке (КУ) и линии инспекции (ЛИ).

Средний уровень изменения остаточного кручения в процессе релаксации для металлокорда 2×0,30SHT составил 1,31 об/6м. Средний уровень увеличения значения отклонения от прямолинейности в процессе релаксации на приёмной катушке диаметром 80 мм для металлокорда конструкции 2×0,30SHT составил: 17,4 мм/600 мм. Были выявлены отдельные катушки с непрямолинейностью более 40 мм в отдельной партии. Это означает, что полученный исправимый брак не является результатом использования деформирующего ролика при производстве металлокорда.

На рис. 5 показано распределение средних значений непрямолинейности металлокорда 2×0,30SHT: при съеме катушек с канатных машин на канатном участке и после 3-х суточной выдержки и релаксации на линии инспекции.

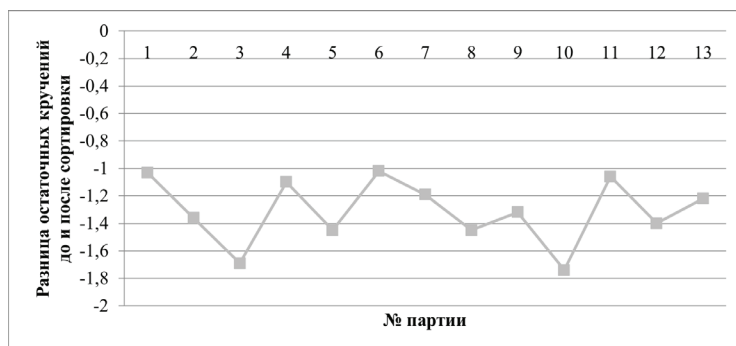


Рис. 4. Средние остаточные кручения до и после сортировки

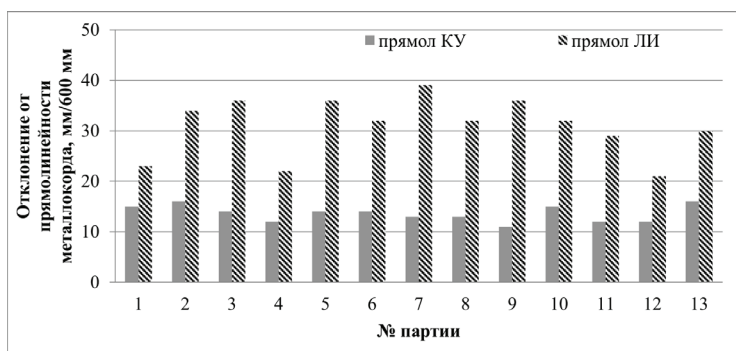


Рис. 5. Средние значения стрелы прогиба металлокорда

Согласно данным, представленным на рис. 5, в процессе выдержки и релаксации металлокорда на приёмных катушках отклонение от прямолинейности металлокорда увеличивается в связи с эффектом запоминания формы катушки металлокордом. Остаточные внутренние напряжения преобразовываются в пластическую деформацию.

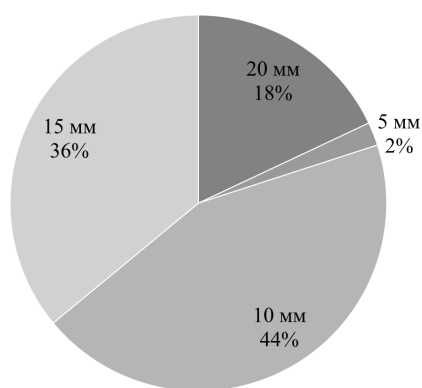


Рис. 6. Распределение значений отклонений от прямолинейности металлокорда на канатном участке

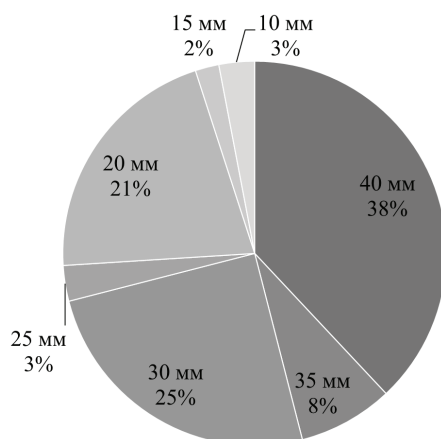


Рис. 7. Распределение значений отклонений от прямолинейности металлокорда на линии инспекции

Согласно анализу данных, представленных на рис. 6 и 7, видно, что основная масса образцов металлокорда с канатных машин с отклонением от прямолинейности металлокорда 10–15 мм/600 мм после 3-х суточных выдержки перемещается до уровня 30–40 мм/600 мм. Полученные значения находятся в допустимых регламентируемых пределах значений отклонения от прямолинейности металлокорда $2 \times 0,30SHT$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлен новый подход в определении оптимального диаметра деформирующего ролика на примере канатной машины *TD 2/401* для улучшения технологических свойств металлокорда. Подход состоит в определении эквивалентной кривизны всех обводных механизмов и роликов, добавлении дополнительных деформирующих роликов для приведения эквивалентной кривизны к нулевому значению для компенсации остаточных знакопеременных напряжений и деформаций. Углы охвата роликов проволокой и металлокордом учтены коэффициентом проработки металлокорда. Компенсация знакопеременных напряжений и деформаций позволит улучшить технологические свойства металлокорда: снизить отклонение от прямолинейности металлокорда, дополнительно снизить остаточное кручение.

Экспериментальные значения технологических параметров металлокорда (отклонение от прямолинейности, остаточное кручение), полученные с применением деформирующих роликов диаметром 55 и 44 мм с углом охвата 90° на канатной машине TD 2/401 показали адекватность предложенного подхода в определении оптимального диаметра деформирующего ролика канатной машины для улучшения технологических свойств металлокорда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобарикин, Ю. Л. Тонкое волочение и свивка в металлокорд стальной латунированной проволоки / Ю. Л. Бобарикин, М. Н. Верещагин, Ю. В. Мартьянов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 304 с.
2. Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния изгиба металлокорда перед намотом на его прямолинейность после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов, А. В. Веденев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / редкол.: А. В. Белый (гл. ред) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. – Кн. 3 : Обработка металлов давлением 137 с.
3. Бобарикин, Ю. Л. Способы повышения прямолинейности металлокорда / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартьянов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / редколлегия: А. В. Белый (гл. ред) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2017. – Кн. 3. Обработка металлов давлением. – 129 с.

REFERENCES

1. Bobarikin, Yu. L. Tonkoe volochenie i svivka v metallokord stal'noi latunirovannoi provoloki [Thin drawing and laying into steel cord of steel brass wire] / Yu. L. Bobarikin, M. N. Vereshchagin, Yu. Martyanov. – Gomel : GSTU n. a. P. O. Sukhoi, 2018. – 304 p. (in Russian)
2. Bobarikin, Yu. L. Issledovanie vliyaniya izgiba metallokorda pered namotom na ego pryamolineinost' posle namota [Investigation of the influence of steel cord bending before winding on its straightness after winding] / Yu. L. Bobarikin, Yu. V. Martyanov, A. V. Vedeneev // Modern methods and technologies for the creation and processing of materials : sat. scientific Proceedings : in 3 books / editorial board: A. V. Bely (chief editor) [and others]. – Minsk : FTI NAS of Belarus, 2018. – Book. 3 Processing of metals by pressure. – 137 p. (in Russian)
3. Bobarikin, Yu. L. Sposoby povysheniya pryamolineinosti metallokorda [Ways to improve the straightness of steel cord] / Yu. L. Bobarikin, Yu. V. Martyanov // Modern methods and technologies for creating and processing materials : sat. scientific Proceedings : in 3 books / editorial board: A. V. Bely (chief editor) [and others]. – Minsk : FTI NAS of Belarus, 2017. – Book. 3 Processing of metals by pressure. – 129 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 11.05.2022 г.