

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗГИБА МЕТАЛЛОКОРДА ПЕРЕД НАМОТОМ НА ЕГО ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ ПОСЛЕ НАМОТА

Ю.В. Мартьянов¹, Ю.Л. Бобарикин¹, А.В. Веденеев²

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

²ОАО «БМЗ Управляющая компания холдинга «БМК»
г. Жлобин, Республика Беларусь

Исследовано влияние изгиба металлокорда перед намотом на его прямолинейность после намота. Разработана модель изгиба металлокорда на деформирующем ролике. Приведен способ определения оптимального диаметра деформирующего ролика с помощью разработанного критерия оптимизации диаметра деформирующего ролика.

Ключевые слова: металлокорд, прямолинейность, напряжения, макроперемещения, моделирование

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STEEL CORD BENDING BEFORE LAPPING AT ITS STRAIGHTNESS AFTER LAPPING

Yu. V. Martyanov¹, Yu. L. Bobarikin¹, A.V. Vedeneev²

¹Gomel state technical university n. a. P. O. Sukhoi
Gomel, Republic of Belarus

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

The effect of the steel cord bending before lapping on its straightness after the lapping has been studied. A model of steel cord bending on a deforming roller is developed. A method for determination the optimum diameter of a deforming roller is presented with using the developed criterion for optimization the diameter of a deforming roller.

Keywords: steel cord, straightness, stresses, macrodisplacements, modelling.

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

Моделирование технических и технологических процессов является современным научным методом исследования. Моделирование процессов опирается на прин-

тип упрощения вторичных параметров процесса и абсолютизации первичных. Моделирование процессов позволяет уменьшить количество ресурсов, затрачиваемых на исследования и эксперименты. При этом количество лабораторных и промышленных испытаний сводится к минимуму.

Современным методом моделирования процессов является метод конечных элементов [1]. Для упрощения проведения и интерпретации расчётов используются современные программные продукты.

Для повышения прямолинейности металлокорда в процессе его производства и выдержки на катушках используются роликовые деформирующие устройства, устанавливаемые в канатных машинах в узле намотки металлокорда на приемную катушку [2]. Исследования показали, что использование деформирующих устройств является эффективным способом повышения прямолинейности металлокорда [3].

Цель исследования: произвести моделирование изгиба металлокорда перед намотом для повышения прямолинейности металлокорда, определить влияние диаметра деформирующего ролика на условия свивки и параметры металлокорда.

Простейший деформатор состоит из одного направляющего ролика и деформирующего ролика, который называют роликом обратной деформации (РОД). Схема простейшего деформатора представлена на рис. 1 [4].

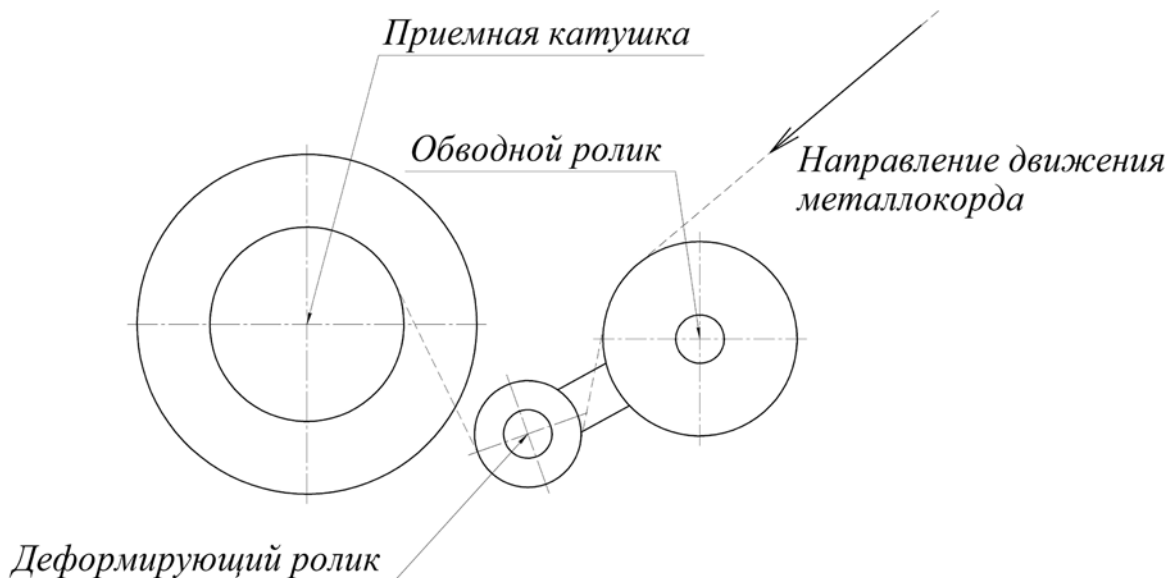


Рис. 1. Принципиальная схема простейшего деформатора металлокорда

Моделирование производится в два этапа: свивка металлокорда и изгиб свитого металлокорда на деформирующем ролике. Свивка металлокорда представляет собой скручивание двух цилиндрических тел в объемную спираль с заданным шагом спиральной линии. Второй этап моделирования представляет собой полученное тело, которое изгибается на ролике варьируемого диаметра, к верхней и нижней плоскости тела приложена растягивающая нагрузка в направлении $\pm Z$.

В моделировании приняты следующие входные параметры:

- свитый металлокорд находится в неподвижном состоянии;
- ролик принят деформирующим абсолютно жестким телом с цилиндрической рабочей поверхностью;
- деформирующий ролик движется со скоростью $V = 1$ мм/с в направлении Ox до полного контакта с шагом металлокорда;

- расчёт принят статическим;
- не учитывается гравитационный эффект;
- расчёт ведётся в пределах одного шага металлокорда;
- коэффициент трения принят постоянным;

Выходными параметрами служат напряжения, возникающие в процессе изгиба металлокорда на ролике, а также макроперемещения проволок в конструкции металлокорда, выраженные в смещении точек контакта проволок при изгибе.

Согласно ранним этапам исследования определено, что для однослойного металлокорда простой конструкции диаметр направляющего ролика оказывает незначительное влияние на прямолинейность металлокорда [5]. Поэтому моделирование деформатора осуществляется только на этапе изгиба на малом деформирующем ролике. За основу построения модели взят металлокорд конструкции $2 \times 0.30HT$. Металлокорд представляет собой объемную спираль из двух проволок, свитых между собой. Коэффициент трения принят с учётом использования жидкой смазки.

Общий вид модели представлен на рис. 2.

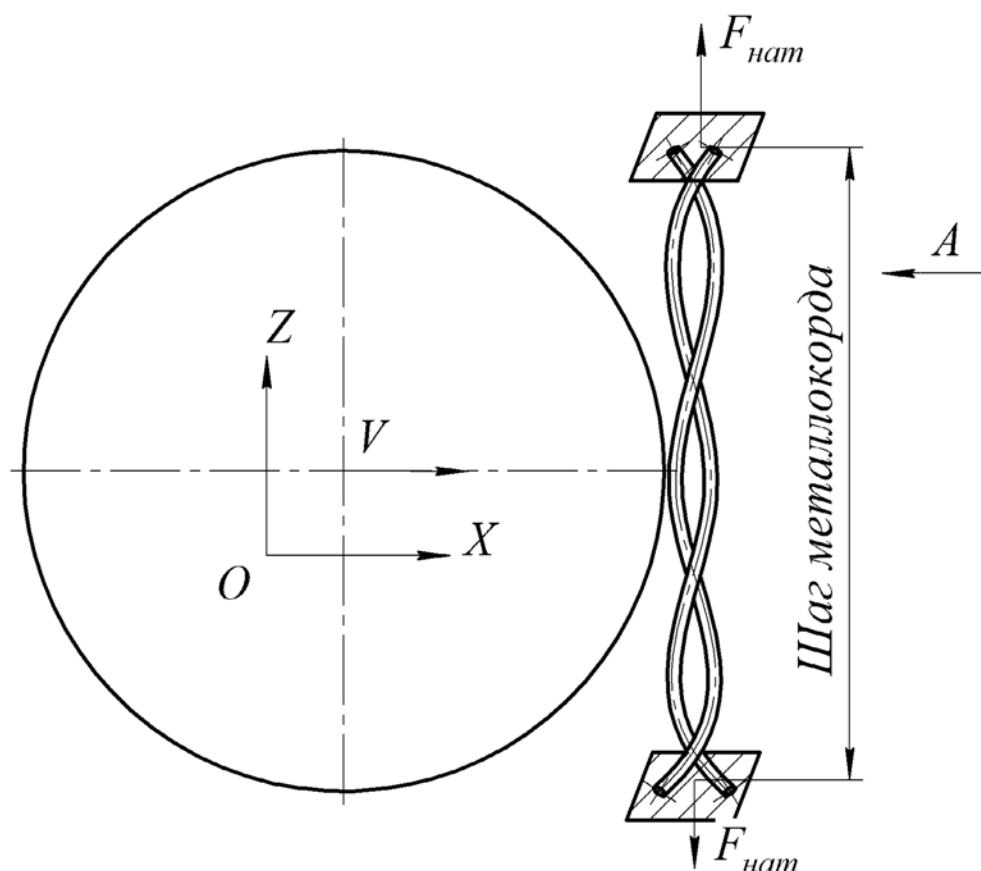


Рис. 2. Схема построения численной модели деформатора

В соответствии с рис. 2 существует две плоскости закрепления металлокорда, на которые действует сила натяжения. В модели учитываются напряжения и деформации, полученные в результате свивки. По рис. 2 видно, что конструкция металлокорда предполагает наличие точек контакта между проволоками. В процессе изгиба металлокорда на деформирующем ролике формируются напряжения изгиба, а также макроперемещения в конструкции металлокорда, определяемые как смещение точек

контакта. Осевое смещение проволок в конструкции металлокорда на одном участке до и после деформации на ролике представлено на виде А на рис. 3.

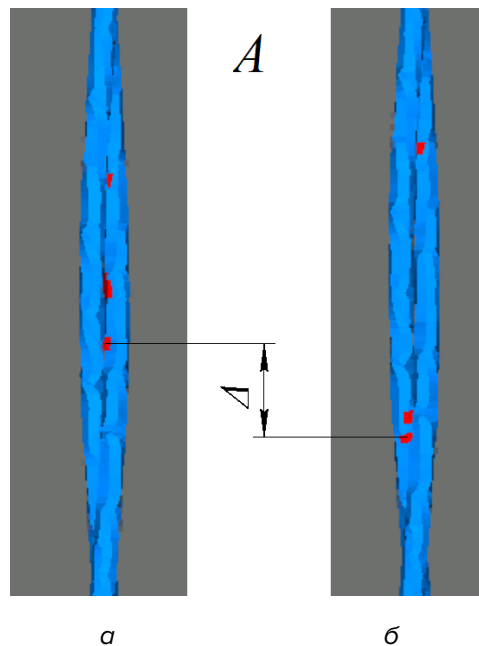


Рис. 3. Осевое смещение проволок в конструкции металлокорда на одном участке:
а – до изгиба на ролике; б – после изгиба на ролике

Варьируемым параметром в модели является диаметр деформируемого ролика. При построении модели согласно рис. 2 варьируемым параметром также может быть натяжение металлокорда. В исследовании натяжение принято константой.

Основные выходные данные для моделирования металлокорда $2 \times 0.30HT$ представлены в табл. 1.

Табл. 1

Выходные данные модели для металлокорда $2 \times 0.30HT$

Диаметр деформирующего ролика, мм	Напряжения, МПа		Среднее	Осевое смещение, мм		Среднее	Сумма смещений, мм
	min	max		min	max		
10	64	280	172	0	0,084	0,042	0,084
20	50	238	144	-0,143	-0,009	-0,076	0,134
30	45	271	158	-0,229	-0,051	-0,14	0,178
40	39	299	169	-0,145	0,043	-0,051	0,188
50	44	236	140	-0,075	0,092	0,0085	0,167
60	43	234	138,5	-0,108	0,026	-0,041	0,134
70	45	222	133,5	-0,039	0,065	0,013	0,104
80	40	226	133	-0,03	0,053	0,0115	0,083

Для наглядной оценки полученных значений данные представлены в виде диаграмм на рис. 4 и 5.

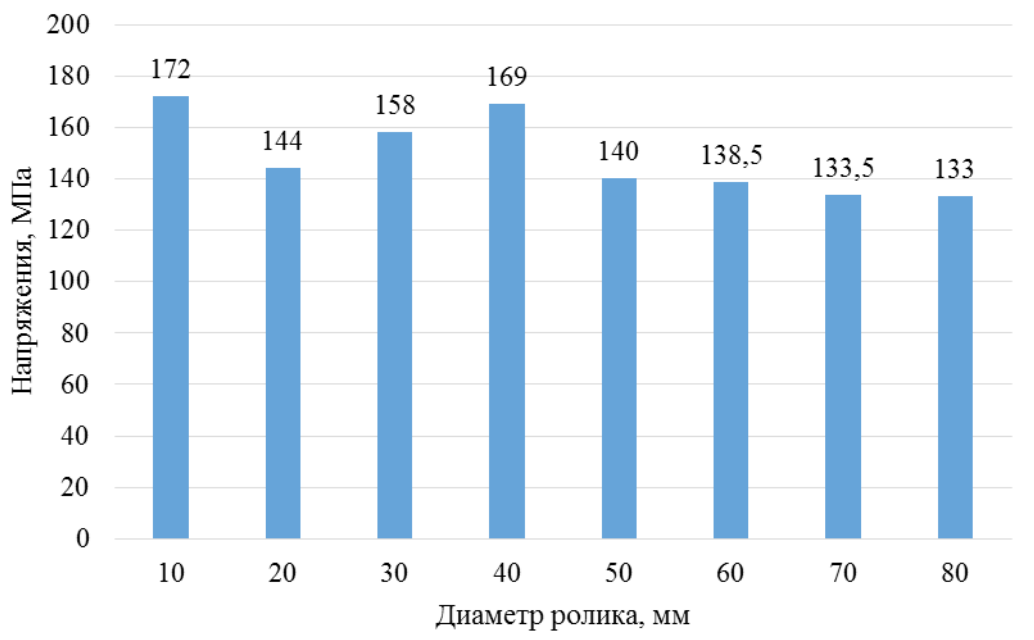


Рис. 4. Средние напряжения в металлокорде, вызванные изгибом на деформирующем ролике

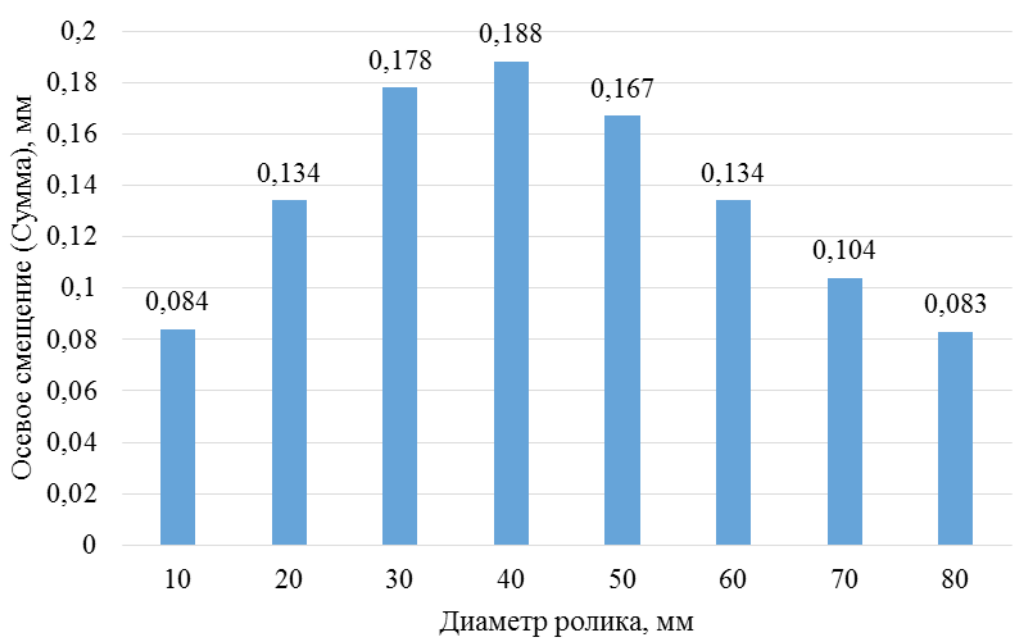


Рис. 5. Сумма осевых смещений точек контакта проволок в конструкции металлокорда

По рис. 4 видно, что напряжения, возникающие при изгибе с изменением диаметра ролика, изменяются незначительно относительно различных диаметров ролика. Согласно рис. 5 можно сделать вывод, что изменение положения точек контакта проволок в конструкции металлокорда изменяется в значительной степени с изменением диаметра ролика. Также визуально определяется предполагаемый оптимум, который находится в диапазоне диаметров деформирующего ролика от 30 до 45 мм.

Для оценки выходных параметров предлагается использовать предложенный критерий оценки прямолинейности металлокорда при изгибе его в деформаторе [6]. Согласно предложенному критерию необходимо выполнить расчёты нескольких вариантов изгиба металлокорда на деформирующем ролике с постоянной дискретностью.

В качестве оптимизационного параметра для поиска диаметра деформирующего ролика, обеспечивающего наилучшую прямолинейность металлокорда, принято, что оптимальный диаметр деформирующего ролика должен обеспечивать равномерность осевых смещений проволок совместно с равномерностью упругих напряжений в проволоках конструкции металлокорда при изгибе на деформирующем ролике. Под равномерностью следует понимать значение осевых сдвигов и напряжений, которое сохраняется с изменением диаметра ролика. Обеспечение равномерности контактных взаимодействий между проволоками в металлокорде повышает прямолинейность металлокорда [7].

После выполнения моделирования снимаются данные по напряжениям при изгибе и по осевому смещению проволок в металлокорде. Вычисляется относительная разница по значениям напряжений и осевому сдвигу между текущим значением и предыдущим по выражениям:

$$\varepsilon\sigma_i = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\sigma_{i-1}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\varepsilon\Delta_i = \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{\Delta_{i-1}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где σ_i – напряжения изгиба, МПа;

Δ_i – осевой сдвиг, мм.

Критерием выбора оптимального ролика является условие:

$$\begin{aligned} \varepsilon\sigma_i &\rightarrow 0 \\ \varepsilon\Delta_i &\rightarrow 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) в векторном представлении имеет вид:

$$\begin{cases} \varepsilon\bar{\sigma}_i \rightarrow 0 \\ \varepsilon\bar{\Delta}_i \rightarrow 0. \end{cases} \quad (4)$$

Согласно (4) справедливо выражение:

$$Sg_i = \sqrt{\varepsilon\sigma_i^2 + \varepsilon\Delta_i^2} \rightarrow 0 \quad (5)$$

где Sg_i – скалярное значение суммы относительных изменений напряжений и перемещений.

По методу локальной оптимизации функции значение функции $Sg(R)$ в точке оптимального диаметра ролика должно принимать минимальные значения:

$$Sg(R) \rightarrow \min, \quad (6)$$

Выполнение условия (6) обеспечивает устойчивый режим макродвижений в конструкции металлокорда, равномерное смещение точек контакта. Повышается стабильность процесса изменения контактного взаимодействия между проволоками и изменения напряжений, возникающих при изгибе. Смещение точек контакта и изменение контактного взаимодействия зависит от осевого сдвига проволок в металлокорде при изгибе.

График зависимости оптимизационного критерия Sg от диаметра ролика для металлокorda $2 \times 0,30HT$ представлен на рис. 6.



Рис. 6. График зависимости оптимизационного критерия Sg от диаметра ролика для метал-локorda $2 \times 0,30HT$

Согласно рис. 6 оптимальным диаметром деформирующего ролика является 43–44 мм по условию (6).

На рис. 7 представлен график зависимости прямолинейности металлокorda $2 \times 0,30HT$ после суток выдержки на приёмной катушке от диаметра деформирующего ролика.

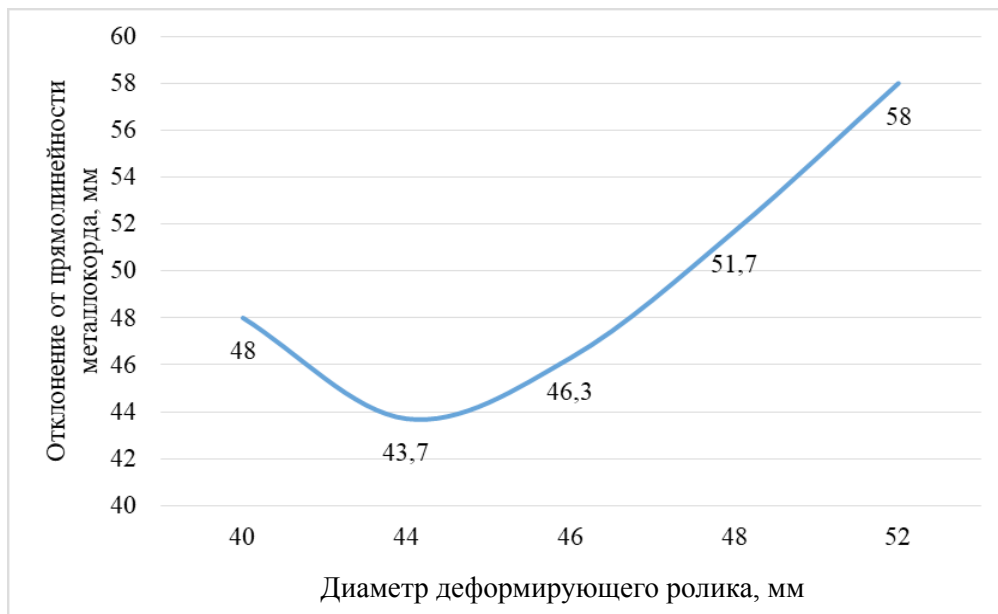


Рис. 7. График зависимости прямолинейности металлокorda $2 \times 0,30HT$ после суток выдержки на приёмной катушке от диаметра деформирующего ролика

В диапазоне диаметров ролика от 44 до 50 мм с увеличением диаметра ролика снижается прямолинейность металлокорда. Аналогично в заданном диапазоне испытаний увеличивается оптимизационный критерий Sg , что, согласно условию (6) показывает снижение прямолинейности металлокорда.

Сравнивая результаты, полученные моделированием (рис. 6) и полученные экспериментально (рис. 7) можно сделать вывод о том, что минимальному значению оптимизационного критерия Sg соответствует минимальное отклонение металлокорда от прямолинейности при значении диаметра деформирующего ролика 43–44 мм. Этот факт свидетельствует об адекватности построенной численной модели изгиба металлокорда перед намотом. Доказана возможность использования критерия Sg в качестве оптимизационного.

Заключение

Определен подход к построению численной модели изгиба металлокорда на деформирующем ролике деформатора для повышения прямолинейности металлокорда. Определено, что осевые смещения точек контакта проволок в конструкции металлокорда могут оказывать значительное влияние на прямолинейность металлокорда. Предложен оптимизационный критерий для поиска диаметра деформирующего ролика, подтверждена адекватность построенной численной модели изгиба металлокорда на деформирующем ролике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Численное моделирование процесса свивки металлокорда с использованием метода конечных элементов / Ю.Л. Бобарикин [и др.] // *Литье и металлургия* - 2012. – № 3. – С. 40-44.;
2. Определение диаметра ролика обратной деформации для канатной машины в узле намота металлокорда. Обработка материалов давлением/ Ю.Л. Бобарикин [и др.]. – 2015. – № 1 (40);
3. Bobarikin Yu.L., Martyanov Yu.V., Vedeneev A.V. Effect of deformation parameters of steel cord before lapping on straightness// XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, production engineering and physics»/ A collective monograph edited by J. Borica, D. Musial: monograph №68, Chestohowa (Poland).- 2017.- p.133-141;
4. Бобарикин, Ю. Л. Способы повышения прямолинейности металлокорда / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов*. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением / редкол.: А.В.Белый (гл. ред.) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. — С. 77–85.
5. Бобарикин, Ю. Л. Определение влияния диаметра ролика деформации металлокорда перед намотом на прямолинейность металлокорда после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов, А. В. Веденеев // *Пластична деформація металів: Колективна монографія*. – 2017. – С. 236-240;
6. Мартыанов, Ю. В. Моделирование изгиба металлокорда перед намотом в деформирующих устройствах, Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики управления / Ю. В. Мартыанов // материалы XVII Междунар. Науч.-техн. Конф. Студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27-28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. Гос. Техн. Ун-т им. П. О. Сухого: под общ. Ред. А. А. Бойко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого. 2017. – С. 93-96;
7. Бобарикин, Ю. Л. Влияние диаметра деформирующего ролика на макроперемещения в металлокорде / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов // *Современные проблемы машиноведения: тез. Докл. XI Междунар. Науч.-техн. Конф. (науч чтения, посвящ. П. О. Сухому)*, Гомель, 20-21 окт. 2016г. /М-во образования Респ. Беларусь, ГГТУ им. П. О. Сухого, филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого»; под общ. Ред. С. И. Тимошина. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 117-118.

REFERENCES

1. Bobarikin Yu.L., Vereshchagin M.N., Avseikov S. V., Vedeneev A.V., Shamanovskaya E.V. Chislennoye modelirovaniye protsessa svivki metallokorda s is-pol'zovaniyem metoda konechnykh elementov [Numerical simulation of the metal cord laying process with use of finite element method]. *Lit'ye i metallurgiya*. 2012, № 3, pp. 40–44; (in Russian);
2. Bobarikin Yu. L., Avseykov S. V., Martyanov Yu. V., Vedenev A. V. Opredeleniye diametra rolika obratnoy deformatsii dlya kanatnoy 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. 2015. N° 1 (40). (in Russian)
3. Bobarikin Yu.L., Martyanov Yu.V., Vedeneev A.V. Effect of deformation parameters. XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, production engineering and physics» / A collective monograph edited by J. Borica, D. Musial: monograph No. 68, Chestohowa (Poland), 2017, pp. 133-141;
 4. Bobarikin Yu. L., Martyanov Yu. V. Sposoby povysheniya pryamolinejnosti metallokorda [Methods of increasing steel cord straightness] / Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]. Collection of scientific papers, Minsk, FTI NAN Belarusi [PTI NAS Belarus], A.V. Byeli (ed.), 2017, vol. 3, pp. 77–85. (in Russian)
 5. Bobarikin Yu. L., Mart'yanov Yu. V., Vedeneev A.V. Opredeleniye vliyaniya diametra rolika deformatsii metallokorda pered namotom na pryamolineynost' metallokorda posle namota [Determination of the influence of the diameter of the steel cord deformation roller before lapping on the straightness of the steel cord after lapping]. Plastic deformation of metals: Collective monograph, 2017, pp. 236–240. (in Russian)
 6. Martyanov Yu.V., Modelirovaniye izgiba metallokorda pered namotom v deformiruyushchikh ustroystvakh [Modeling of steel cord bending before lapping in deforming devices], Research and development in the field of engineering, power engineering management: materials XVII Intern. Conf. Students, graduate students and young scientists, Gomel, 27-28 April. 2017 / Education: Republic of. Belarus, Gomel. Gos. Techn. Un-t them. PO Sukhoi: under the general. Ed. A. A. Boyko. Gomel: GSTU them. PO Sukhoi. 2017, pp. 93–96. (in Russian)
 7. Bobarikin Yu. L., Martyanov Yu. V. Vliyaniye diametra deformiruyushchego rolika na makroperemeshcheniya v metallokorde [Influence of the diameter of a deforming roller on macro-displacements in a steel cord]. Modern Problems of Machine Science: Tez. Dokl. XI Intern. Conf. (scientific reading, dedicated to PO Sukhoi), Gomel, October 20–21. 2016 / Education: Republic of. Belarus, GSTU. PO Sukhoi, branch of PJSC «Sukhoi Company» Sukhoi Design Bureau; under the Society. Ed. SI Timoshina. Gomel: GSTU them. PO Sukhoi, 2016, pp. 117–118. (in Russian)

Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 28.04.18