

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАТЯЖЕНИЯ МЕТАЛЛОКОРДА ПЕРЕД НАМОТКОЙ НА ЕГО ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ ПОСЛЕ НАМОТКИ

Ю.Л. Бобарикин, Ю.В. Мартьянов

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

*Изучено влияние натяжения металлокорда перед его намоткой на приёмную катушку на прямолинейность металлокорда после намотки. В исследовании учтено воздействие деформирующего ролика на металлокорд. Построена и проанализирована численная модель изгиба металлокорда на деформирующем ролике и натяжения металлокорда между деформирующим роликом и приемной катушкой. Выполнено сравнение результатов моделирования и результатов лабораторных испытаний. Определены технологические режимы настройки намотки металлокорда на приёмную катушку, обеспечивающие высокую прямолинейность металлокорда после намотки.*

**Ключевые слова:** металлокорд, прямолинейность, напряжения, макроперемещения, моделирование, натяжение.

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

Yu. L. Bobarikin, Yu. V. Martyanov

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

*The effect of the steel cord tension before its lapping on the receiving reel on the steel cord straightness after lapping has been studied. The study considers the effect of the deforming roller on the steel cord. A numerical model of the steel cord bending on the deforming roller and the tension of the steel cord between the deforming roller and the receiving reel are constructed and analyzed. The comparison of simulation results and laboratory test results was carried out. The technological modes of setting the steel cord lapping on the receiving reel was determined, which ensure the high steel cord straightness after the lapping.*

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

Производство металлокорда на канатных машинах двойного кручения – сложный комплексный процесс, имеющий возможность тонкой настройки технологических параметров свивки металлокорда из тонкой стальной проволоки. К настраиваемым параметрам свивки относятся скорость вращения ротора канатной машины, количество секций роликовых рихтовальных устройств, наличие или отсутствие деформатора перед намоткой, диаметр и количество деформирующих роликов деформатора, натяжение металлокорда при свивке, натяжение металлокорда при намотке. Вследствие большого количества настраиваемых параметров система является гибкой в эксплуатации. Одним из настраиваемых параметров свивки, который возможно использовать для увеличения прямолинейности металлокорда, является натяжение металлокорда при его намотке на приёмную катушку и использование деформатора перед намоткой. Существует потребность в исследовании совместного использования деформатора и натяжения металлокорда перед намоткой для оптимизации процесса производства металлокорда с обеспечением высокой прямолинейности металлокорда после намотки.

**Цель:** исследование влияния натяжения металлокорда перед намоткой с учетом изменения диаметра ролика деформатора на прямолинейность металлокорда после намотки.

**Метод исследования:** конечноэлементный численный анализ, лабораторные испытания.

После этапа свивки на канатной машине металлокорд проходит через деформатор и наматывается на приёмную катушку. При намотке на металлокорд воздействует натяжение, создаваемое магнитной муфтой привода приёмной катушки. С помощью магнитной муфты, а также с помощью рычажных устройств и грузов можно регулировать значение натяжения металлокорда при его намотке. Влияние этого параметра на металлокорд изучено в недостаточной степени, чтобы эффективно использовать данный метод настройки для повышения прямолинейности металлокорда.

Оценка прямолинейности металлокорда осуществлялась посредством безразмерного критерия качественной оценки прямолинейности  $S_g$ , основанного на феноменологической модели [1]. Принцип действия критерия заключается в следующем положении: обеспечение малого градиента относительного изменения эффективных напряжений в металлокорде и относительного изменения смещений точек контакта проволок в металлокорде позволяет получить низкое значение отклонения от прямолинейности металлокорда, данный градиент составляет величину критерия качественной оценки прямолинейности, поэтому чем ниже его величина, тем металлокорд более прямолинейный.

Для исследований была расширена компьютерная модель изгиба металлокорда на деформирующем ролике [2] путем расширения диапазона исследования. Изменяемыми параметрами модели являются диаметр ролика и натяжение металлокорда. Выходными данными служат эффективные напряжения металлокорда и смещения точек контакта проволок внутри конструкции металлокорда.

В табл. 1 представлены эффективные напряжения металлокорда (МПа) и смещение точек контакта проволок внутри конструкции металлокорда  $2 \times 0,30 \text{ НТ}$  (мм).

Для наглядного представления результатов построена диаграмма зависимости эффективных напряжений от натяжения металлокорда и диаметра ролика. Диаграмма представлена на рис. 1.

Табл. 1

**Эффективные напряжения металлокорда, МПа/Смещение  
точек контакта проволок в металлокорде, мм**

Диаметр деформирующего ролика, мм	Натяжение, Н				
	9	11	16	25	30
10	172/0,11	177/0,081	209/0,09	273/0,117	301/0,124
20	171/0,24	170/0,026	201/0,026	267/0,185	275/0,133
30	144/0,128	143/0,057	175/0,08	240/0,144	251/0,099
40	148/0,055	150/0,044	172/0,051	212/0,114	237/0,161
45	124/0,159	160/0,167	195/0,123	232/0,103	266/0,143
50	122/0,116	159/0,103	201/0,1	236/0,154	239/0,146
60	141/0,086	143/0,025	191/0,047	216/0,122	239/0,251
70	143/0,132	143/0,048	179/0,043	190/0,172	239/0,244
80	143/0,064	143/0,015	187/0,055	191/0,028	203/0,053

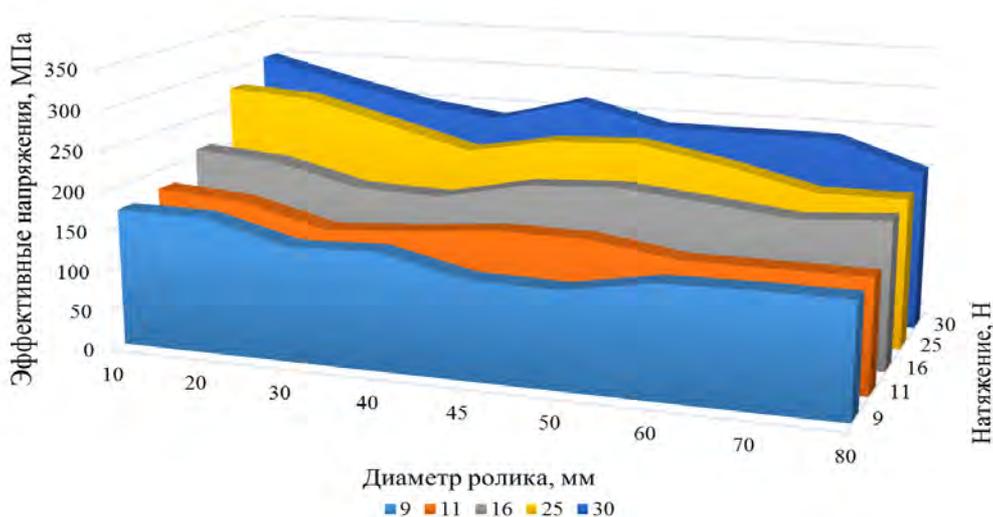


Рис. 1. Диаграмма зависимости эффективных напряжений от натяжения металлокорда и диаметра ролика

Согласно рис. 1 эффективные напряжения возрастают с увеличением натяжения металлокорда при изгибе и с уменьшением диаметра ролика. В зонах диаграммы, где угол наклона поверхности диаграммы к оси абсцисс малый и близок к нулю возможно наличие оптимального режима настройки технологического процесса.

Диаграмма зависимости смещений проволок внутри конструкции металлокорда от натяжения и диаметра ролика представлена на рис. 2.

Согласно рис. 2 распределение значений смещений проволок в металлокорде в зависимости от натяжения и диаметра ролика имеет нелинейный характер. Существуют зоны диаграммы, где с изменением хотя бы одного из параметров значение осевого смещения точек контакта проволок практически не изменяется. То есть угол наклона поверхности диаграммы по отношению к оси абсцисс минимальный. Это зна-

чит, что в текущем интервале настройки технологического процесса может находиться рекомендуемый вариант настройки [1].

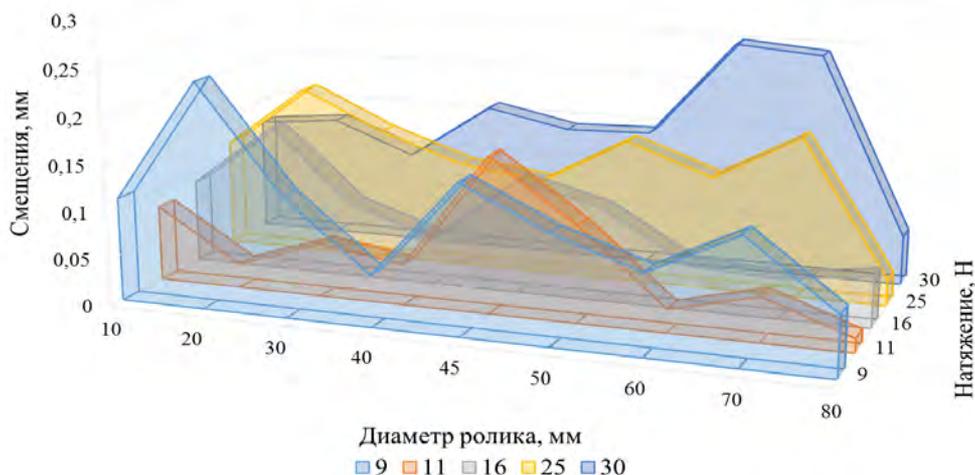


Рис. 2. Диаграмма зависимости осевых смещений проволок в металлокорде от натяжения и диаметра ролика

Для оценки прямолинейности металлокорда вычисляется критерий  $S_g$ . Результаты вычислений значений критерия качественной оценки прямолинейности металлокорда  $S_g$  представлены в табл. 2. Согласно алгоритму расчета, представленному в [1], малое значение (близкое к нулю) критерия оценки означает, что совокупность принятых технологических параметров будет обеспечивать низкое отклонение от прямолинейности металлокорда за счёт воздействия на него на макроуровне.

Табл. 2

**Значения критерия качественной оценки прямолинейности металлокорда  $S_g$**

Диаметр деформирующего ролика, мм	Натяжение, Н				
	9	11	16	25	30
10	Не вычисляется				
20	118,183	68,0163	75,652	58,1612	11,28239
30	49,2655	120,284	51,034	24,3602	27,01257
40	57,0989	23,3264	36,291	23,8776	62,87416
45	189,785	279,625	141,81	13,4946	16,57474
50	27,0921	38,3284	18,951	49,5446	10,36491
60	30,1892	76,3938	53,233	22,4409	71,91781
70	53,5072	92	10,578	42,7147	2,788845
80	51,5152	68,75	28,263	83,7226	79,71474

В табл. 1 выделены шесть ячеек, содержащие малые значения критерия качественной оценки прямолинейности металлокорда. Таким образом, имеется шесть потенциально благоприятных режимов для настройки намотки металлокорда на приёмную катушку на канатной машине. Данные режимы представлены в табл. 3.

**Потенциально благоприятные режимы для настройки намотки  
металлокорда на приёмную катушку на канатной машине**

Диаметр деформирующего ролика, мм	Натяжение, Н	Значение критерия качественной оценки $S_g$
20	30	11,28239
45	30	16,57474
45	25	13,4946
50	30	10,36491
70	16	10,578
70	30	2,788845

Для проверки адекватности данных, полученных в результате расчётов, выполнены лабораторные испытания по намотке металлокорда через деформирующий ролик диаметром 45 мм на приёмную катушку с натяжением металлокорда согласно табл. 2. Металлокорд был выдержан на приёмной катушке в течение 3 суток для снижения эффекта релаксации [3]. Сравнение результатов лабораторных испытаний и численного моделирования представлено в виде графика на рис. 3.



Рис. 3. Сравнение результатов лабораторных испытаний и численного моделирования для ролика диаметром 45

По рис. 3 видно, что результаты лабораторных испытаний синхронно изменяются относительно расчетных результатов табл. 2 для ролика диаметром 45 мм. Следовательно, разработанная численная модель адекватно описывает процессы, происходящие внутри конструкции металлокорда при изгибе на деформирующем ролике с применением регулируемого натяжения. Численная модель может быть использована для оптимизации процесса производства металлокорда с обеспечением высокой прямолинейности металлокорда после намотки.

Для реализации на практике представленных результатов требуется с помощью численного моделирования на компьютере рассчитать напряжения и осевые смещения, которые проявляются в выбранной конструкции металлокорда при его изгибе на ролике варьированного диаметра с варьированным натяжением. Далее, используя расчетные данные, необходимо вычислить критерий  $S_g$  согласно алгоритму, представленному в источнике [1]. По результатам вычислений определяют и выбирают наиболее благоприятные режимы настройки канатной машины. Согласно выбранному режиму для повышения прямолинейности металлокорда устанавливают деформирующий ролик определенного диаметра в деформатор и устанавливают определенное натяжение металлокорда при намотке, которое регулируют с помощью магнитной муфты на приёмной катушке или иными доступными способами.

### Заключение

Определено влияние эффективных напряжений и смещений точек контакта проволок внутри конструкции металлокорда на прямолинейность металлокорда после свивки с помощью критериального метода качественной оценки прямолинейности металлокорда ( $S_g$ ). Показано, что с помощью корректировки натяжения и диаметра деформирующего ролика имеется возможность настроить технологический режим намотки металлокорда на приёмную катушку с обеспечением минимального отклонения от прямолинейности. На примере металлокорда 2x0,30НТ определено шесть благоприятных методов настройки намотки металлокорда на приёмную катушку на канатной машине (табл. 3).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния изгиба металлокорда перед намотом на его прямолинейность после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов, А.В. Веденеев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. науч. Трудов. В 3 кн. Кн. 3 Обработка металлов давлением / редколлегия: А. В. Белый (гл. ред) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. – 137 с.
2. Мартыанов, Ю. В. Моделирование изгиба металлокорда перед намотом в деформирующих устройствах / Ю. В. Мартыанов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики управления: материалы XVII Международ. 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;
3. Стальная проволока / Х. Н. Белахов [и др.]: Монография. Магнитогорск: Издательство Магнитогорск, гос. Тех. Университета им. Г. И. Носова, 2011г. 689с.

### REFERENCES

1. Bobarikin Yu. L., Martyanov Yu. V., Vedeneev A.V. Issledovaniye vliyaniya izgiba metallokorda pered namotom na ego pryamolineynost' posle namota. [Investigation of the influence of the bending of the metal cord before winding on its straightness after lapping] // Modern methods and technologies for creating and processing materials: Coll. scientific works. In 3 books. Part 3 Metal Forming / Editorial Board: A. V. Bely (Ch. Ed.) [and others]. – Minsk: Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, 2018. – 137 p.(in Russian);
2. Martyanov Yu.V., Modelirovaniye izgiba metallokorda pered namotom v deformiruyuyu-shchikh 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. Nauch.-tehn. 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 n.a. P.O. Sukhoi. 2017. – p. 93-96; (in Russian);
3. Belakhov Kh. N., Gunn G. S., Klekovkin A. A., Klekovkina N. A., Korchunov A. G., Polyakova M. A. Steel wire: Monograph. Magnitogorsk: Magnitogorsk Publishing House, State. Techn. University. n.a.G.I. Nosov, 2011 689p. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 29.04.19