

УДК 621.833

**В.Г. Хромов, профессор, д-р техн. наук,****И.В. Хромов, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: i.v.khromov@sevntu.com.ua***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ СТЕПЕНИ ПРЕФОРМАЦИИ ВИНТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНОГО КАНАТА**

*Выполнена оценка погрешности определения степени преформации по измерениям наружного диаметра винтовой проволоки по трем точкам касания с измерительной планкой. Предложена новая методика измерения по пяти точкам, а также описаны новые схемы приборов для контроля степени преформации.*

**Ключевые слова:** *стальной канат, степень преформации, средства контроля.*

Одним из важных показателей качества стальных канатов является степень предварительной деформации (сокращенно – преформация). Этот показатель отображает способность каната не раскручиваться в свободном состоянии и сохранять плотную структуру [1]. Степень преформации

рассчитывается по формуле  $\delta = \frac{d_c}{d_k} 100\%$ . Для расчета этого параметра необходимо определить

наружный диаметр готового каната  $d_k$  и наружный диаметр цилиндра, описанного вокруг выплетенного из готового каната спиралевидного элемента  $d_c$  (далее называется наружный диаметр спиралевидной пряжи или проволоки). Измерение диаметра каната не представляет затруднений и осуществляется штангенциркулем в нескольких поперечных сечениях. Погрешность его измерения обычно составляет 0,05..0,1 мм.

Для определения диаметра  $d_c$  в заводских лабораториях используют вспомогательное устройство, включающее две установленные с возможностью параллельного перемещения по отношению друг к другу плоские планки, между которыми помещается спиралевидный элемент. При этом возникает погрешность, обусловленная особенностями схемы измерения (технологическая погрешность). Теоретический анализ такого рода погрешностей представляет один из актуальных вопросов, связанных с развитием системы контроля качества многопроволочных витых изделий.

**Целью данной работы** является математическое моделирование, включающее количественный анализ влияния схемы и средств измерения на результаты определения степени преформации винтовых элементов стального каната, а также разработка технических решений по совершенствованию соответствующих приборов.

Основная проблема определения диаметра  $d_c$  связана с тем, что применяемая в производстве канатов проволока всегда имеет некоторую остаточную кривизну. Поэтому поверхность, описанная вокруг выплетенной из готового каната проволоки, обычно представляет собой не цилиндр, а тор.

Рассмотрим применяемую до сих пор на отечественных заводах схему определения параметра  $d_c$ , когда длина измерительных планок  $l < 2h$  ( $h$  – шаг свивки каната), и спиралевидный элемент имеет не более трех точек касания с плоскими измерительными планками (рисунок 1). В процессе контроля планки сближаются до тех пор, пока одна планка коснется спиралевидного элемента в двух точках, а другая – в одной точке. При этом расстояние между двумя верхними точками касания равно шагу свивки  $h$ . Измеряемое расстояние между планками  $d_c^*$  принимается в качестве искомого параметра  $d_c$ . Однако, как видно из рисунка 1, расстояние  $d_c^*$  в действительности не равно  $d_c$ , а представляет собой сумму  $d_c^* = d_c + f_1$ , где  $f_1$  – неизвестный зазор, обусловленный кривизной оси тора, описанного вокруг спиралевидной проволоки. Вследствие этого относительная технологическая погрешность подобной схемы определения диаметра  $d_c$  составляет

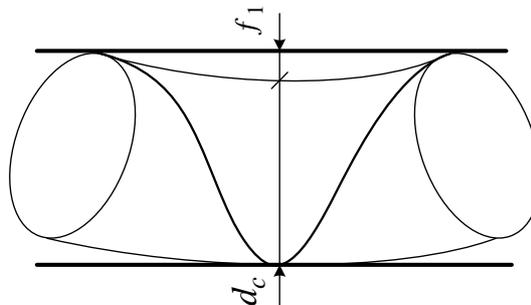


Рисунок 1 – Схема измерения наружного диаметра спиралевидного элемента по трем точкам касания

$\psi_1 = \frac{f_1}{d_c} 100\%$  и зависит от остаточной кривизны проволоки, т.е. может существенно изменяться при переходе от одной партии проволоки к другой.

Для устранения указанного недостатка предложена схема измерения, в которой используется не менее пяти точек касания. В этом случае длина измерительных планок прибора должна удовлетворять условию  $l \geq 2h$ . Согласно новой схеме плоские параллельные планки прибора вначале касаются спиралевидного элемента в четырех точках (рисунок 2), а затем сближаются до тех пор, пока нижняя планка будет соприкасаться с винтовым элементом в двух точках, а верхняя – в трех точках. В этом положении первоначальный зазор  $f_2$ , обусловленный искривлением оси образующей поверхности, становится равным нулю, и образующая поверхность приобретает форму цилиндра. Таким образом исключается технологическая погрешность, присущая вышеописанному методу.

Вместе с тем появляется технологическая погрешность другого вида. Для устранения зазора  $f_2$  к спиралевидному элементу необходимо приложить некоторую поперечную силу  $P$ , в результате этого спиралевидный элемент испытывает поперечную деформацию  $\Delta$ . Следовательно, измеряемое расстояние между планками будет отличаться от искомого диаметра  $d_c$  на величину  $\Delta$ . Относительная технологическая погрешность подобной схемы измерения будет равна  $\psi_2 = \frac{\Delta}{d_c} 100\%$  и зависит от силы прижатия планок  $P = c \cdot f_2$ , где  $c$  – поперечная жесткость спирального элемента.

Для сравнительного анализа описанных выше методов определения диаметра  $d_c$  рассмотрим подробно геометрию схемы на рисунке 2. Пусть заданы: радиус  $R$  остаточной кривизны оси поверхности, описанной вокруг спиралевидного элемента; шаг свивки каната  $h$  и диаметр  $d_c$ . Необходимо определить величину зазоров  $f_1, f_2$ . Анализируя расчетную схему можно записать следующие геометрические соотношения:

– длина дуги  $\overset{\frown}{CD} = h = R \frac{\beta}{2}$ , отсюда  $\frac{\beta}{2} = \frac{h}{R}$ ; (1)

– зазор  $f_2 = OC - \frac{d_c}{2} - OC_1 = R - \frac{d_c}{2} - (R - \frac{d_c}{2}) \cos \frac{\beta}{2}$ . (2)

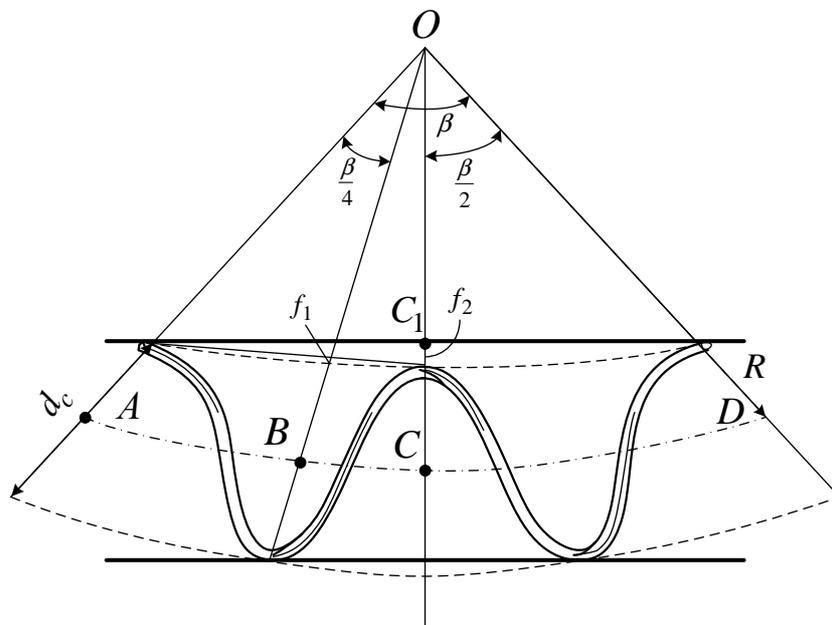


Рисунок 2 – Схема измерения по пяти точкам касания

После подстановки (1) в (2) получим искомую формулу для варианта схемы измерения при пяти точках контакта

$$f_2 = (R - \frac{d_c}{2})(1 - \cos \frac{h}{R}). \quad (3)$$

Аналогичную формулу можно записать и для схемы измерения по трем точкам контакта согласно рисунку 1

$$f_1 = \left(R - \frac{d_c}{2}\right) \left(1 - \cos \frac{h}{2R}\right). \quad (4)$$

Из последних двух формул следует соотношение

$$f_1 = f_2 \frac{1 - \cos \frac{h}{2R}}{1 - \cos \frac{h}{R}}. \quad (5)$$

В качестве примера рассмотрим винтовой стержень со следующими значениями параметров: шаг свивки спирального каната  $h = 150$  мм; диаметр проволоки  $d = 2$  мм; диаметр цилиндра описанного вокруг спиралевидной проволоки  $d_c = 15$  мм; модуль упругости стальной проволоки  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа; радиус остаточной кривизны оси поверхности, описанной вокруг спиралевидной проволоки, находится в диапазоне  $R = 900 - 4000$  мм. Расчет зазоров  $f_1, f_2$  и относительной погрешности выполняли согласно приведенным выше формулам. Для расчета силы прижатия измерительных планок  $P(f_2)$  и деформации спиралевидного элемента  $\Delta(P)$  использовали методику, описанную в работе [2]. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1

$R$ , мм	$f_2$ , мм	$f_1$ , мм	$\Delta$ , мм	$\Psi_1$ , %	$\Psi_2$ , %
3750	3	0,75	0,045	5	0,3
1850	6	1,50	0,09	10	0,6
1250	9	2,25	0,135	15	0,9
930	12	3,00	0,18	20	1,2

Из таблицы видно, что в традиционной схеме определения диаметра  $d_c$  согласно рисунку 1 технологическая погрешность существенно зависит от остаточной кривизны исследуемого спиралевидного элемента и может достигать 20%. Это означает, что применение данного метода может давать абсолютно неверное представление о действительной степени преформации каната.

Более совершенной является схема определения диаметра  $d_c$  по пяти точкам касания (рисунок 2). Она позволяет на порядок снизить величину технологической погрешности при рациональном выборе силы прижатия измерительных планок. Очевидно, что точек касания может и больше, однако при этом могут слишком сильно увеличиваться габариты прибора. Для реализации последней схемы предложены три новых варианта устройств.

Первый вариант построен на использовании стандартного штангенциркуля, внешний вид представлен на рисунке 3.

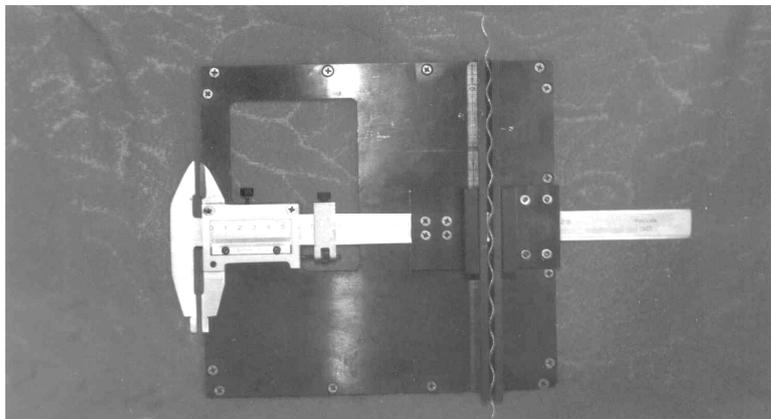


Рисунок 3 – Внешний вид прибора на базе стандартного штангенциркуля

Бегунок штангенциркуля и одна измерительная планка установлены неподвижно на плоском основании. Вторая измерительная планка закреплена на подвижной линейке штангенциркуля. Длина планок отвечает соотношению  $l \geq 2h$ . Исследуемый спиралевидный элемент помещается с зазорами

між планками. Згодом рухома планка вручну наближається до нерухомих планок до повного усунення зазорів.

Основним недоліком приладу є відсутність елементів для контролю сили прижати́я пластинок. При цьому похибка вимірювання залежить від інтуїції та досвіду обслуговуючого персоналу.

Другим варіантом приладу (рис. 4) є несуча пластина 1, встановлена з можливістю повороту на заданий кут  $\beta$  відносно горизонтального основи 2. На пластині встановлена нерухома вимірювальна планка 3. Вимірювальна планка 4 встановлена на платформі 5 з можливістю поступального переміщення вздовж пластины 1 під дією власного ваги  $Q$ . Контрольований елемент каната 6 поміщається між планками 3 і 4. Платформа 5 впливає на елемент каната з силою  $P = Q \sin \beta$ , випрямляючи подовжню ось поверхні, описаної навколо спіралевидного елемента. В даній схемі величину вимірювального зусилля  $P$ , а значить і похибку вимірювання можна регулювати на основі вибору підходящих значень ваги  $Q$  і кута нахилу  $\beta$  для конкретних типорозмірів контролюваних свисаємих елементів.

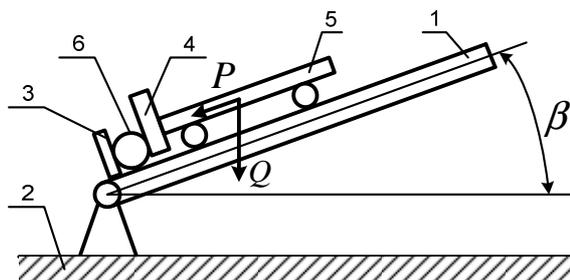


Рисунок 4 – Схема приладу з регулюваною нахилною площадкою

В таблиці 2 показано приклад рекомендацій по вибору кута  $\beta$  в залежності від діаметра проволочки  $d$ , зовнішнього діаметра  $d_k$  та кратності свивки  $K$  каната при заданих значеннях  $\psi_2 = 0,5\%$ ,  $Q = 30H$  та довжині вимірювальних планок 400 мм.

Таблиця 2

Діаметр проволочки, мм	Зовнішній діаметр каната, мм	Кратність свивки	Кут нахилу напрямлюючої, градус	
			мінімальний	максимальний
0,8	3,7	6	2,0	38,1
0,8	3,7	8	1,0	9,1
0,8	3,7	10	0,5	5,6
1	5	6	3,0	27,2
1	5	8	1,3	13,9
1	5	10	0,7	5,9
1,5	8	6	6,0	51,6
1,5	8	8	2,7	15,6
1,5	8	10	1,4	4,9
2	12	6	8,7	28,3
2	12	8	3,8	13,3
2	12	10	2,0	4,2

Третій варіант приладу дозволяє виключити необхідність ручної налаштування при переході від одного типорозміру контролюваного каната до іншого. Схема побудови останнього приладу заснована на використанні наступного ефекту. При зближенні вимірювальних пластинок зусилля прижати́я  $P$  спочатку плавно збільшується до того моменту, поки усувається зазор  $f_2$ . Після повного випрямлення осі утворюючої поверхні швидкість зміни сили  $P$  різко збільшується, що обумовлено початком процесу поперечного стиснення спіралевидного елемента. Таким чином, відповідно до цього моменту часу відстань між вимірювальними поверхнями і становить шуканий параметр  $d_c$ . Схема реалізації приладу наведено на рисунку 5. Прилад складається з трьох основних частин: механічна частина, що містить привод і дві вимірювальні планки, встановлені з можливістю переміщення відносно однієї одної; датчики для вимірювання сили та переміщення; пристрій зв'язки з комп'ютером; програмне забезпечення для управління приводом.

Работа прибора включает следующие этапы. После установки исследуемого спиралевидного элемента между измерительными планками привод производит контрольное перемещение подвижной планки из нулевого положения  $l_0$  до появления нормируемой поперечной деформации исследуемого элемента. Устройство сопряжения снимает показания датчиков и передает их в компьютер. Затем выполняется автоматическое построение нагрузочной характеристики, определяется момент времени резкого перегиба характеристики и соответствующее этому времени расстояние  $l_1$ , измерительная планка возвращается в исходное положение. Компьютер на основе полученных данных определяет искомый параметр  $d_c = l_0 - l_1$ .

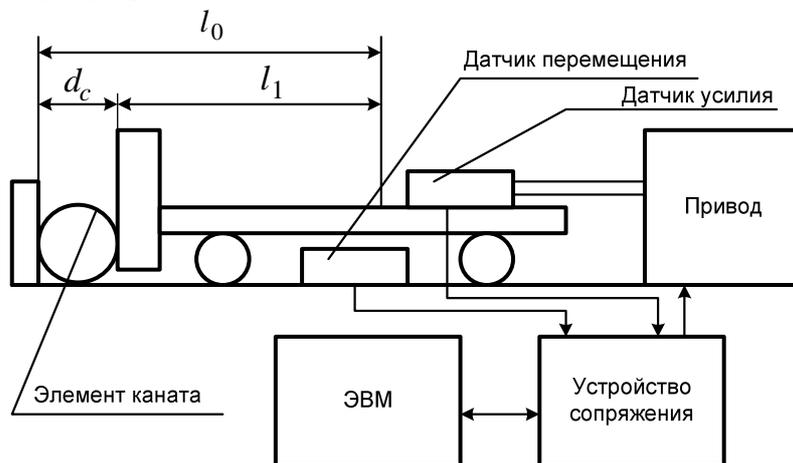


Рисунок 5 – Схема автоматизированного прибора

**Вывод.** Для обеспечения надежного контроля степени преформации стальных канатов необходимо использовать схему измерения, включающую не менее пяти точек контакта спиралевидного элемента с измерительными планками.

Реализация подобной схемы может осуществляться на основе различных вариантов новых приборов, создание которых и является предметом дальнейших работ в данном направлении.

#### **Бibliографический список использованной литературы**

1. Букштейн М.А. Производство и использование стальных канатов / М.А. Букштейн. — М.: Металлургия, 1973. — 360 с.
2. Поляков В.В. К вопросу оценки погрешности измерения степени преформации стальных канатов. / В.В. Поляков // Стальные канаты. — Одесса: Астропринт, 2001. — С. 176–182.

*Поступила в редакцию 16.05.2013 г.*

#### **Хромов В.Г., Хромов І.В. Вдосконалення засобів вимірювання ступеня преформації гвинтових елементів сталевих канатів**

Виконана оцінка похибки визначення ступеня преформації за допомогою вимірювання зовнішнього діаметра гвинтового дроту по трьох точках дотику з вимірювальною планкою. Запропоновано нову методику вимірювання по п'яти точках, а також розроблено принципові схеми механічного і автоматичного приладів для вимірювання ступеня преформації.

**Ключові слова:** сталевий канат; ступінь преформації; засоби контролю.

#### **Khromov V.G., Khromov I.V. Development of preformation degree measuring technique for spiral elements of a steel wire rope**

The paper deals with the estimation error in determining the preformation degree by measuring the outer diameter of a spiral wire from three contact points with the measuring bar. A new measuring technique from the five points has been proposed. On the basis of the technique the concepts of mechanical and automatic devices determining the preformation degree have been developed.

**Keywords:** steel wire rope; preformation degree; controlling instruments.