

УДК 677.5.022

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ  
ПРИ СМАТЫВАНИИ НИТЕЙ ИЗ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ  
С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАТУШКИ**

**FEATURES OF CHANGE OF TENSION  
IN WINDING THREADS  
OF ALUMINUM OXIDE WITH A ROTATING COIL**

*A.B. МЕДВЕДЕВ, К.Э. РАЗУМЕЕВ  
A.V. MEDVEDEV, K.E. RAZUMEEV*

(НПО Стеклопластик (филиал) НПК "Терм",  
Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))  
(JSC "NPO Stekloplastik" (branch) NPK "Therm",  
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))  
E-mail: 24091955@mail.ru; k.razumeev@rambler.ru

*В статье рассмотрены некоторые особенности изменения натяжения нитей из оксида алюминия при сматывании с вращающейся катушки на экспериментальном стенде, и выполнена проверка независимости и стационарности результатов измерения натяжения с использованием непараметрических статистических критериев.*

*In the article some peculiarities of changes of the threads tension of aluminum oxide radial winding with a rotating coil at an experimental stand radial winding with a rotating coil at an experimental stand and verified that the independence and stationarity of the results of measuring tension using a non-parametric statistical criteria.*

**Ключевые слова:** нити из оксида алюминия, натяжение нитей, радиальное сматывание, непараметрические статистические критерии, стационарность процесса.

**Keywords:** threads of aluminium oxide, the threads tension, the radial winding, non-parametric statistical criteria, stationarity of the process.

Сматывание нитей в радиальном направлении с вращающейся катушки в силу ряда причин не нашло широкого применения при перематке и кручении нитей.

Но для нитей из оксида алюминия этот способ, с учетом физико-механических свойств нитей, оказывается единственно приемлемым. Способ радиальной подачи

нити в зону кручения с вращающейся катушки был реализован на экспериментальном стенде [1].

При перемотке нити с выходной на входную катушку было замечено, что нить с катушки сматывается неравномерно. Натяжение нити в ведущей ветви периодически снижалось до нуля, а через определенный промежуток времени достигало максимальных значений. При этом в некоторых случаях натяжение нитей превышало величину разрывной нагрузки, что приводило к обрыву нити. С целью создания оптимального натяжения при перемотке и кручении на экспериментальном стенде применено устройство, создающее тормозящий момент на оси выходной катушки.

Время пуска электродвигателя с учетом массы приводного механизма обычно не превышает 2 с [2], таким образом, начиная с третьей секунды после пуска, натяжение нити должно быть постоянным.

Цель работы заключалась в исследовании особенностей изменения натяжения при сматывании с вращающейся катушки в радиальном направлении.

В установленном режиме сматывания нити с выходной паковки натяжение, как правило, характеризуется стабильностью по величине. Стабильность натяжения можно оценить отношением среднего значения натяжения к максимальному значению натяжения нити по результатам многократных измерений в процентах.

Измерение натяжения нитей из оксида алюминия осуществлялось согласно разработанной методике [3], с учетом погрешностей измерения [4]. Величина натяжения нитей с учетом погрешностей измерения представлена в табл. 1. Скорость нити от 1,31 до 7,8 м/мин. Масса катушки и картонного патрона с нитью (в дальнейшем – катушки) составляла 0,150 кг.

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что с увеличением скорости движения нити стабильность скорости нити снижается, а квадратическая неровнота  $C\{Y\}$  практически не изменяется.

С целью определения зависимости натяжения нитей от массы катушки проведены эксперименты по измерению натяжения при сматывании с катушки массой 0,075 кг.

Таблица 1

Натяжение нитей, сН	Скорость движения нитей, м/мин				
	1,31	1,51	1,98	3,43	7,8
Максимальное	4,64	4,64	4,91	5,01	7,72
Среднее	3,07	2,93	3,13	3,26	3,39
Минимальное	0,80	1,00	1,20	1,20	1,40
Стабильность натяжения, %	66,16	63,15	63,75	65,07	43,91
Среднее квадратическое отклонение $S\{Y\}$	0,996	1,22	0,99	1,11	1,31
Квадратическая неровнота $C\{Y\}$ , (%)	32,44	41,63	31,62	34,04	38,68

Величина натяжения нитей при сматывании с катушек массой 0,15 кг и 0,075 кг при скорости движения нити 7,8 м/мин представлена в табл. 2. Время измерения

натяжения 3 и 4-я секунды после пуска. Как можно видеть из данных в табл. 2, стабильность натяжения для катушек массой 0,075 кг выше, чем для катушек массой 0,15 кг.

Таблица 2

Натяжение нитей, сН	Масса катушки, кг			
	0,075		0,15	
	Время с момента пуска, с			
	3	4	3	4
Максимальное	5,32	5,61	7,31	9,66
Среднее	3,29	3,04	3,41	3,34
Минимальное	0,00	0,00	0,00	0,54
Стабильность натяжения, %	61,84	54,19	46,58	34,50
Среднее квадратическое отклонение $S\{Y\}$	1,74	1,77	2,04	2,19
Квадратическая неровнота $C\{Y\}$ , (%)	67,11	58,64	60,01	65,92

Низкие значения стабильности натяжения и квадратической неровноты обусловлены неравномерностью натяжения нитей вследствие продольных колебаний пружины тормозящего устройства. Расшифровка осциллограмм натяжения нитей показывает, что величина натяжения нити изменяется с частотой 25 Гц, причем частота колебаний не зависит от массы катушки, скорости движения нити и материала нитей. В связи с этим возникает вопрос о том, является ли случайная выборка результатов измерения натяжения стохастически независимой.

Случайный процесс называется стационарным, если его вероятностные закономерности неизменны во времени, то есть законы распределения зависят только от взаимного расположения моментов времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , но не от самих этих величин.

Проверка независимости и стационарности результатов измерения натяжения осуществлялась с использованием непараметрических методов. Рассмотрены выборки измерений натяжения нити для третьей и четвертой минуты после пуска, для каждой из катушек массой 0,15 и 0,075 кг.

Были использованы следующие непараметрические статистические критерии [5].

1. Критерий серий, основанный на медиане выборки.

Методика проведения вычислений с использованием данного критерия основана

на определении числа серий  $v(m)$  и протяженности самой длинной серии  $\tau(m)$ . В данном критерии рассматривается одновременно пара критических статистик  $\{v(m); \tau(m)\}$ . Для построения приближенного статистического критерия использовано нормальное приближение одномерного (частного) распределения случайной величины  $v(m)$  с пуассоновским распределением числа серий с длиной, большей или равной  $\tau(m)$ , и оценками сверху и снизу для вероятности:

$$P\{v(m) > v_{0,95}(m), \tau(m) < \tau_{0,95}(m)\},$$

где  $v_{0,95}(m)$  – 95% - ная точка частного распределения  $v(m)$ ; а  $\tau_{0,95}(m)$  – 5% - ная точка частного распределения  $\tau(m)$ .

Если хотя бы одно из неравенств (1) или (2) окажется нарушенным, то гипотеза о стохастической независимости исходных результатов измерений отвергается с вероятностью ошибки, заключенной между 0,05 и 0,0975 (то есть  $0,05 < \alpha < 0,0975$ ).

$$v(m) > v_{0,95}(m) = \left[ \frac{1}{2} (m - 1 + 1,96\sqrt{m - 1}) \right], \quad (1)$$

$$\tau(m) < \tau_{0,95}(m) = [3,3 \log_{10}(m + 1)]. \quad (2)$$

Расчетные и теоретические значения критерия приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Масса, кг	№ выборки	Время, с	$v(m)$	$v_{0,95}(m)$	$\tau(m)$	$\tau_{0,95}(m)$	Нарушение неравенства
0,150	1	3	29	18	10	9	да
	2	4	24	18	8	9	нет
0,075	3	3	36	18	5	9	нет
	4	4	50	18	5	9	нет

Неравенства (1) и (2) не нарушаются для выборки 2, 3 и 4, и гипотеза о стохастической независимости исходных результатов измерения натяжения нитей не отвергается. Неравенства (1) и (2) нарушаются только для выборки 1, и результаты измерений не являются стохастически независимыми.

2. Критерий «восходящих» и «нисходящих» серий.

Этот критерий «улавливает» постепенное смещение (по ходу выборочного обследования) среднего значения в исследуемом распределении не только монотонного, но и периодического характера.

Так же, как и в предыдущем критерии, исследуется последовательность знаков – плюсов и минусов. Последовательность подряд идущих плюсов будет соответствовать возрастанию результатов наблюдений (восходящая серия), а последовательность минусов – их убыванию (нисходящая серия). Критерий основан на том же соображении, что и предыдущий: если выборка случайна (наблюдения независимы), в полученной последовательности знаков общее число серий не может быть слишком малым, а их протяженность – слишком большой.

При уровне значимости  $0,05 < \alpha < 0,0975$  количественное выражение данного кри-

терия имеет вид:

$$v(m) > v_{0,95}(m) = \left[ \frac{1}{3}(2m-1) - 1,96 \sqrt{\frac{16m-29}{90}} \right], \quad (3)$$

$$\tau(m) < \tau_0(m), \quad (4)$$

где  $v(m)$  – общее число серий;  $\tau(m)$  – протяженность самой длинной серии. Величина  $\tau_0(m)$  в зависимости от  $m$  определяется следующим образом:

m	$m \leq 26$	$26 < m \leq 153$	$153 < m \leq 1170$
$\tau_0(m)$	$\tau_0 = 5$	$\tau_0 = 6$	$\tau_0 = 7$

Расчетные и теоретические значения критерия приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Масса, кг	№ выборки	Время, с	$v(m)$	$v_{0,95}(m)$	$\tau(m)$	$\tau_0(m)$	Нарушение неравенства
0,150	1	3	41	27	4	6	нет
	2	4	43	27	3	6	нет
0,075	3	3	50	27	5	6	нет
	4	4	46	27	1	6	нет

Так как неравенства не нарушаются, гипотезу о случайном расположении значений натяжения (в выборках 1; 2; 3 и 4) их независимости и стационарности процесса следует принять.

3. Критерий квадратов последовательных разностей (критерий Аббе).

Данный критерий оказывается более мощным, чем предыдущий. То есть если применяются оба эти критерия, при данном объеме выборки  $m$  и данном уровне значимости  $\alpha$  вероятность принять гипотезу независимости, в то время как на самом деле она является ошибочной, окажется меньшей. Методика проведения вычислений с использованием данного критерия основана на использовании критерия квадратов последовательных разностей. Для проверки стохастической независимости результатов

измерений с помощью данного критерия подсчитывают величину:

$$\gamma(m) = \frac{q^2(m)}{s'^2(m)},$$

$$\text{где } q^2(m) = \frac{1}{2(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} (Y_{i+1} - Y_i)^2;$$

$$s'^2(m) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2.$$

Если окажется, что

$$\gamma(m) \leq \gamma_{\alpha}^{\min}(m), \quad (5)$$

то гипотеза о стохастической независимости результатов измерений отвергается. Величины  $\gamma_{\alpha}^{\min}(m)$  при  $m \leq 60$  даны в [6, табл. 4.9].

Расчетные и теоретические значения критерия приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Масса, кг	№ выборки	Время, с	$\gamma(m)$	$\gamma_{\alpha}^{\min}$	Нарушение неравенства
0,150	1	3	1,1988	0,7718	да
	2	4	1,5162	0,7718	да
0,075	3	3	1,3405	0,7718	да
	4	4	1,4312	0,7718	да

Неравенство (5) не выполняется. Таким образом, гипотеза о стохастической независимости результатов не отвергается.

Проверка независимости и стационарности выборки №1 по критерию серий, основанной на медиане выборки, показала, что имеется незначительное отклонение от допустимого значения по числу серий. Исходя из этого, можно считать, что проверка независимости и стационарности рассмотренных выборок результатов измерения натяжения подтверждена тремя непараметрическими критериями.

## ВЫВОДЫ

1. На экспериментальном стенде проведены исследования особенностей изменения натяжения при сматывания нитей из оксида алюминия с цилиндрической катушки.

2. С увеличением скорости движения нити стабильность скорости нити снижается, квадратичная неровнота  $C\{Y\}$  практически не изменяется.

3. Стабильность натяжения для катушек массой 0,075 кг выше, чем для катушек массой 0,150 кг.

4. Неравномерность натяжения нитей обуславливается продольными колебаниями пружины тормозящего устройства.

5. Проверка независимости и стационарности рассмотренных рядов измерения натяжения подтверждена тремя непараметрическими критериями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев А.В.* Разработка и исследование технологии получения трощено-крученых нитей из оксида алюминия: Дис...канд. техн. наук. – МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2012.

2. *Брон Л.С., Власов С.Н., Константинов К.Н. и др.* Конструкция и наладка автоматических линий и специальных станков. – М.: Высшая школа, 1996.

3. *Медведев А.В., Разумеев К.Э.* Разработка методики измерения натяжения нитей из оксида алюминия / Все материалы. Энциклопедический справочник. «Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам». – 2014. №9. С. 6...11.

4. *Медведев А.В., Разумеев К.Э.* Анализ и оценка погрешности измерения натяжения нитей из оксида алюминия при перемотке и кручении на экспериментальном стенде // Химические волокна. – 2016, №1. С. 66...69.

5. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983.

6. *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики – М.: Наука, 1983.

## REFERENCES

1. *Medvedev A.V.* Razrabotka i issledovanie tehnologii poluchenija troshheno-kruchenyh nitej iz oksida aljuminija: Dis...kand. tehn. nauk. – MGTU im. A.N. Kosygina, 2012.

2. *Bron L.S., Vlasov S.N., Konstantinov K.N. i dr.* Konstrukcija i naladka avtomaticheskikh linij i special'nyh stankov. – M.: Vysshaja shkola, 1996.

3. *Medvedev A.V., Razumeev K.Je.* Razrabotka metodiki izmerenija natjazhenija nitej iz oksida aljuminija / Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. «Kommentarii k standartam, TU, serti-fikatam». – 2014. №9. S. 6...11.

4. *Medvedev A.V., Razumeev K.Je.* Analiz i ocenka pogreshnosti izmerenija natjazhenija nitej iz oksida aljuminija pri peremotke i kruchenii na jeksperimental'nom stende // Himicheskie volokna. – 2016, №1. S. 66...69.

5. *Ajvazjan S.A., Enjukov I.S., Meshalkin L.D.* Prikladnaja statistika: Osnovy modelirovanija i pervichnaja obrabotka dannyh. – M.: Finansy i statistika, 1983.

6. *Bol'shev L.N., Smirnov N.V.* Tablicy matematicheskoj statistiki – M.: Nauka, 1983.

Рекомендована кафедрой прядения РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 10.04.17.