

УДК 677.053.74.001.5

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ НАМОТКИ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИНЫ НИТЕЙ
В СЛОЯХ ПАКОВКИ ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ**

**CALCULATING THE DENSITY OF THE WINDING
ACCORDING TO THE RESULTS OF DIRECT MEASUREMENTS
OF THE LENGTH OF THE FILAMENTS
IN LAYERS OF PACKING BATCH WARPING**

Н.А. КУЛИДА, Е.Н. НИКИФОРОВА, Г.И. ТОЛУБЕЕВА
N.A. KULIDA, E.N. NIKIFOROVA, G.I. TOLUBEEVA

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: info@ivgpu.com

Получено расчетное соотношение для определения объемной плотности намотки непосредственно в процессе снования при осуществлении косвенных измерений. Установлено, что для обеспечения неизменной плотности намотки в слоях необходимо, чтобы коэффициент приращения длины нитей увеличивался линейно по мере наматывания сновального вала. Полученное соотношение содержит один измеряемый параметр – коэффициент

приращения длины нитей в слое, позволяющий повысить точность измерений и увеличить производительность вычислительных процессов.

The calculated ratio to determine the bulk density of the winding directly in the process of warping in the implementation of indirect measurements. It is established that to ensure a constant density of winding in layers it is necessary that the ratio of the increment of the length of the filaments increased linearly as the winding warping of the shaft. The resulting ratio contains one measured parameter is the ratio of the increment of the length of the strands in the layer, which allows to increase the accuracy of measurements and to increase the performance of computational processes.

Ключевые слова: объемная плотность, косвенные измерения, сновальный вал, слой, коэффициент приращения длины.

Keywords: bulk density, indirect measurements, warping shaft, layer, ratio of the increment of the length.

Для определения плотности намотки непосредственно в процессе снования в соответствии с известной формулой объемной плотности [1] необходимы прямые измерения текущих значений радиусов намотки r_i и r_{i-1} , которые, как установлено в [2], осуществляются с большой погрешностью, поэтому предложено контролировать коэффициент приращения длины нитей в слое на основе прямых измерений длины нитей и определять параметры напряженно-деформированного состояния паковки [3] с его помощью. Найдем выражение, связывающее объемную плотность намотки с коэффициентом приращения длины нитей в слое.

Как и ранее, сновальный вал считаем состоящим из слоев, в каждом из которых радиус намотки изменяется в соответствии с выражением [1]:

$$r_i(\varphi_i) = r_{i-1} + c_i \text{Int}(\varphi_i/2\pi) - A_i, \quad (1)$$

где φ_i – угол поворота паковки в i -м слое; c_i – коэффициент нарастания толщины слоя; A_i – уменьшение радиуса намотки i -го

слоя вследствие его перемещения и деформации; $\text{Int}(\varphi_i/2\pi)$ – функция, возвращающая целую часть выражения $\varphi_i/2\pi$, то есть определяющая количество полных оборотов паковки. Слои выбираются такими, что c_i в пределах каждого из них остается неизменным. Заметим, что $c_i \text{Int}(\varphi_i/2\pi) - A_i$ в выражении (1) представляет собой толщину намотки i -го слоя с учетом его перемещения и деформации. Отсюда радиус i -1-го слоя:

$$r_{i-1}(\varphi_i) = \left[r_0 + \sum_{j=1}^{i-1} c_j \text{Int}(\varphi_i/2\pi) - \sum_{j=1}^{i-1} A_j \right]. \quad (2)$$

Тогда (1) с учетом (2) можно записать:

$$r_i(\varphi_i) = \left[r_0 + \sum_{j=1}^i c_j \text{Int}(\varphi_i/2\pi) - \sum_{j=1}^i A_j \right].$$

Пусть в выбранном слое угол поворота паковки составит $\varphi_i = 2\pi j + \Delta\varphi_i$, где $2\pi > \Delta\varphi_i \geq 0$, а $j \in 1, n_i$ – число полных оборотов паковки. Тогда длина нитей, намотанных на паковку в i -м слое, равна:

$$L_i(\varphi_i) = r_i(\varphi_i) \Delta\varphi_i + \sum_{j=1}^{n_i} 2\pi r_j(\varphi_i) = r_0 (2\pi n_i + \Delta\varphi_i) + \Delta\varphi_i \left(\sum_{j=1}^i c_j j - \sum_{j=1}^i A_j \right) + 2\pi \sum_{i=1}^{n_i} \left(\sum_{j=1}^i c_j j - \sum_{j=1}^i A_j \right).$$

Обозначая

$$\Delta_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} h_j = \sum_{j=1}^{i-1} c_j n_j - \sum_{j=1}^{i-1} A_j$$

– как толщину намотки из $i-1$ слоев, получим:

$$L_i(\varphi_i) = \Delta\varphi_i(r_0 + \Delta_{i-1} + c_i n_i - A_i) + 2\pi n_i [r_0 + \Delta_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i]. \quad (3)$$

Если длина нитей в i -м слое определяется за n_i оборотов паковки, то $\Delta\varphi_i = 0$ и

$$L_i(n_i) = 2\pi n_i [r_0 + \Delta_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i]. \quad (4)$$

Функцию $L_i(n_i)$ можно рассматривать как решетчатую [4], поскольку аргумент принимает целочисленные значения. Поэтому:

$$L_i[n_i] = 2\pi n_i [r_0 + \Delta_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i]. \quad (5)$$

Рассмотрим первую прямую разность [4]

решетчатой функции $L_i[n_i]$:

$$\Delta L_i[n_i] = L_i[n_i + 1] - L_i[n_i] = 2\pi [r_0 + \Delta_{i-1} + c_i(n_i + 1) - A_i], \quad (6)$$

которую назовем коэффициентом приращения

длины нитей в слое k_i^L :

$$k_i^L = \Delta L_i[n_i] = 2\pi [r_0 + \Delta_{i-1} + c_i(n_i + 1) - A_i], \quad (7)$$

откуда:

$$c_i = k_i^L [2\pi(n_i + 1)]^{-1} - (r_0 + \Delta_{i-1} - A_i)(n_i + 1)^{-1} = \alpha_i k_i^L + \beta_i, \quad (8)$$

где $\alpha_i = [2\pi(n_i + 1)]^{-1}$ и $\beta_i = (A_i - r_0 - \Delta_{i-1})(n_i + 1)^{-1}$.

Вторая прямая разность решетчатой функции (5) определяет темп роста коэффициента

приращения длины нитей и показывает, как увеличивается этот коэффициент от слоя к слою:

$$\begin{aligned} \Delta^2 L_i[n_i] &= \Delta L_i[n_i + 1] - \Delta L_i[n_i] = 2\pi [r_0 + \Delta_{i-1} + c_i(n_i + 2) - A_i] - \\ &- 2\pi [r_0 + \Delta_{i-1} + c_i(n_i + 1) - A_i] = 2\pi c_i = 2\pi(\alpha_i k_i^L + \beta_i). \end{aligned} \quad (9)$$

Выразим радиусы r_i и r_{i-1} в известной формуле объемной плотности намотки i -го

слоя $\gamma_i = \frac{mL_i \Gamma}{10^6 \pi H (r_i^2 - r_{i-1}^2)}$ через коэффициент

k_i^L , принимая во внимание $r_i(n_i) = r_{i-1} + (\alpha_i k_i^L + \beta_i)n_i - A_i$.

Тогда

$$\gamma_i = \frac{mL_i \Gamma}{10^6 \pi H \left[(r_{i-1} + (\alpha_i k_i^L + \beta_i)n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2 \right]}. \quad (10)$$

Выполняя преобразования в знаменателе и учитывая, что $r_{i-1} = r_0 + \Delta_{i-1}$, получим:

$$\gamma_i = \frac{mL_i \Gamma}{10^6 \pi H \left[2(r_0 + \Delta_{i-1}) \left[(\alpha_i k_i^L + \beta_i)n_i - A_i \right] + \left[(\alpha_i k_i^L + \beta_i)n_i - A_i \right]^2 \right]}. \quad (11)$$

Выразим толщину намотки через коэффициент приращения длины нитей в слое. Поскольку

$$\Delta_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} c_j n_j - \sum_{j=1}^{i-1} A_j, \text{ а } c_j = \alpha_j k_j^L + \beta_j,$$

Учитывая

$$\alpha_j = [2\pi(n_j + 1)]^{-1} \quad \text{и} \quad \beta_j = (A_j - r_0 - \Delta_{j-1})(n_j + 1)^{-1},$$

получим:

$$\Delta_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \left([2\pi(n_j + 1)]^{-1} k_j^L + (A_j - r_0 - \Delta_{j-1})(n_j + 1)^{-1} \right) n_j - \sum_{j=1}^{i-1} A_j = \frac{n_j}{n_j + 1} \sum_{j=1}^{i-1} \left[(2\pi)^{-1} k_j^L - r_0 - \Delta_{j-1} \right].$$

Если $n_j \gg 1$, то

$$\Delta_{i-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \left[(2\pi)^{-1} k_j^L - r_0 - \Delta_{j-1} \right] = (2\pi)^{-1} \sum_{j=1}^{i-1} k_j^L - (i-1)r_0 - \sum_{j=1}^{i-1} \Delta_{j-1}. \quad (13)$$

Сумму $\Delta_{i-1} + \sum_{j=1}^{i-1} \Delta_{j-1}$ можно представить:

$$\Delta_{i-1} + \sum_{j=1}^{i-1} \Delta_{j-1} = \sum_{j=1}^{i-1} \Delta_j = (2\pi)^{-1} \sum_{j=1}^{i-1} k_j^L - (i-1)r_0.$$

Тогда

$$\sum_{j=1}^{i-1} \Delta_{j-1} = (2\pi)^{-1} \sum_{j=1}^{i-1} k_{j-1}^L - (i-2)r_0.$$

С учетом полученного выражение (13)

можно записать в виде:

$$\Delta_{i-1} = (2\pi)^{-1} \sum_{j=1}^{i-1} k_j^L - (i-1)r_0 - (2\pi)^{-1} \sum_{j=1}^{i-1} k_{j-1}^L - (i-2)r_0 = (2\pi)^{-1} k_{i-1}^L - r_0. \quad (14)$$

При экспериментальном вычислении плотности слоя в качестве длины L_i используются показания соответствующего энкодера [5], однако, если требуется установить зависимость $k_i^L(n)$, обеспечивающую неизменность объемной плотности

намотки, или определить погрешность ее измерения, необходимо рассматривать расчетное значение длины. Из (4) с учетом выражения для коэффициента нарастания толщины слоя c_i и толщины намотки Δ_{i-1} получим:

$$L_i(n_i) = 2\pi n_i [r_0 + \Delta_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i] = 0,5n_i (k_i^L + k_{i-1}^L - 2\pi A_i). \quad (15)$$

Выражение $(\alpha_i k_i^L + \beta_i) n_i$ из (11) с учетом $n_i \gg 1$, $\alpha_i = [2\pi(n_i + 1)]^{-1}$ и

$\beta_i = (A_i - r_0 - \Delta_{i-1})(n_i + 1)^{-1}$ можно упростить:

$$(\alpha_i k_i^L + \beta_i) n_i = n_i [2\pi(n_i + 1)]^{-1} k_i^L + n_i (A_i - r_0 - \Delta_{i-1})(n_i + 1)^{-1} = (2\pi)^{-1} (k_i^L - k_{i-1}^L) + A_i. \quad (16)$$

Принимая во внимание (15) и (16), объемную плотность (11) вычисляем по формуле:

$$\gamma_i = \frac{2\pi m T n_i (k_i^L + k_{i-1}^L - 2\pi A_i)}{10^6 H [(k_i^L)^2 - (k_{i-1}^L)^2]} \quad (17)$$

Отсюда, учитывая, что $k_i^L > 0$, получим:

$$k_i^L = \frac{2\pi m T n_i + \sqrt{(2\pi m T n_i)^2 + 4 \cdot 10^6 H \gamma_i [10^6 H \gamma_i (k_{i-1}^L)^2 + 2\pi m T n_i (k_{i-1}^L - 2\pi A_i)]}}{2 \cdot 10^6 H \gamma_i} \quad (18)$$

При вычислениях по формуле (18) следует принимать во внимание соображения, касающиеся выбора периода квантования [6], поскольку он определяет значение количества оборотов n_i паковки в i -м слое.

В соответствии с (18) коэффициент приращения длины нитей в слое k_i^L зависит не только от плотности намотки γ_i , но и от этого коэффициента k_{i-1}^L в предыдущем слое. При наматывании первого слоя коэффициент k_{i-1}^L определяется радиусом ствола r_0 сновального вала. С увеличением плотности намотки коэффициент k_i^L уменьша-

ется (рис. 1), причем с увеличением линейной плотности пряжи T коэффициент k_i^L увеличивается, а характер закономерности остается неизменным. На рис. 1 зависимости 1, 2 и 3 соответствуют линейным плотностям хлопчатобумажной пряжи 18,5; 29 и 34 текс. Из-за нелинейности зависимости $k_i^L(\gamma_i)$ чувствительность коэффициента k_i^L к изменению плотности γ_i с ее увеличением уменьшается, что необходимо принимать во внимание при разработке систем автоматического управления электроприводом сновальной машины [7], [8].

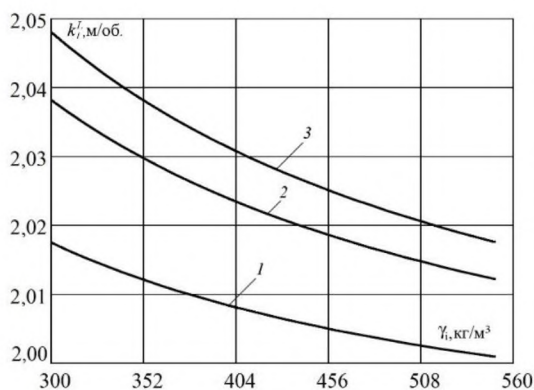


Рис. 1

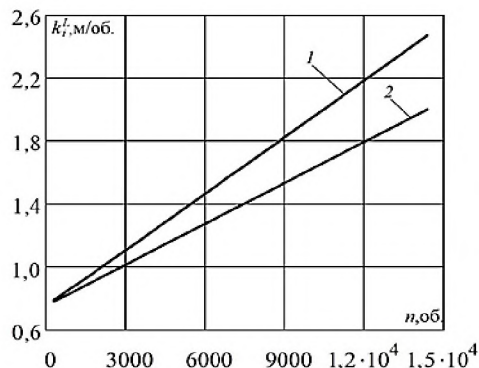


Рис. 2

Зависимость $k_i^L(n)$ при $\gamma = \text{const}$ является линейной. На рис. 2 показаны $k_i^L(n)$ для двух значений плотности намотки 1 –

300 кг/м³ и 2 – 420 кг/м³. Это свидетельствует о неизменности второй разности (9) решетчатой функции (5). Действительно,

$$\Delta^2 L_i [n_i] = 2\pi [(2\pi(n_i + 1))^{-1} (k_i^L - k_{i-1}^L) + A_i] = (n_i + 1)^{-1} (k_i^L - k_{i-1}^L + A_i),$$

и если выразить из (17):

$$k_i^L - k_{i-1}^L = \frac{2\pi m T n_i (k_i^L + k_{i-1}^L - 2\pi A_i)}{10^6 H \gamma_i (k_i^L + k_{i-1}^L)},$$

то принимая во внимание

$$k_i^L + k_{i-1}^L \gg 2\pi A_i,$$

получим

$$k_i^L - k_{i-1}^L = \frac{2\pi m T n_i}{10^6 H \gamma_i}.$$

Отсюда вторая разность:

$$\Delta^2 L_i [n_i] = (n_i + 1)^{-1} \frac{2\pi m T n_i}{10^6 H \gamma_i} \approx \frac{2\pi m T}{10^6 H \gamma_i}, \quad (19)$$

то есть $\Delta^2 L_i [n_i]$ остается неизменной на протяжении всей намотки при постоянной плотности. Таким образом, для того чтобы контролировать плотность паковки непосредственно в процессе ее намотки достаточно вычислять $\Delta^2 L_i [n_i]$.

Выражение (19) позволяет оценить величину погрешности косвенных измерений плотности при известной погрешности измерения коэффициента k_i^L или $\Delta^2 L_i [n_i]$ и выяснить влияние на точность измерений величины A_i .

Расчетное соотношение (17) для вычисления объемной плотности намотки в i -м слое содержит только один измеряемый параметр – коэффициент приращения длины нитей в слое, поэтому при вычислениях в процессе намотки, а также в случае использования полученной информации для автоматического управления оно является предпочтительным, поскольку расчеты выполняются с более высокой производительностью, а точность измерений при прочих равных условиях выше [9].

ВЫВОДЫ

1. Получены расчетное соотношение для вычисления объемной плотности намотки при ее косвенных измерениях и

закономерность увеличения коэффициента приращения длины нитей в слоях паковки, при которой плотность остается неизменной.

2. Темп роста коэффициента приращения длины нитей в слоях при постоянной плотности намотки остается неизменным на протяжении всего процесса наматывания паковки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулида Н.А., Демидов Н.А., Круглов А.В. Определение плотности намотки сновальных валов на основе кинематических параметров процесса // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 2. С. 77...81.
2. Кулида Н.А., Круглов А.В. Обеспечение контакта измерительного ролика с поверхностью сновального вала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 3. С. 88...92.
3. Кулида Н.А., Круглов А.В. Определение плотности намотки по закономерности изменения длины нитей в слоях // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 2. С. 63...66.
4. Ким Д.П. Теория автоматического управления. – Т. 1. Линейные системы. – М.: Физматлит, 2003.
5. Демидов Н.А. Микропроцессорная система контроля кинематических параметров партионного снования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4. С. 159...161.
6. Кулида Н.А., Круглов А.В., Карева Т.Ю. Обоснование выбора периода квантования при измерениях кинематических параметров партионного снования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 2. С. 77...81.
7. Тихонов А.И., Булатов Л.Н., Глазунов В.Ф. Математическая модель асинхронного электродвигателя в системе электропривода сновальной машины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 2. С. 117...120.
8. Глазунов В.Ф., Репин А.А., Родионов Ю.А. Анализ вариации параметров зоны деформации основы в системе электропривода механизма намотки сновальных валов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 5. С. 177...182.
9. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок / Пер. с англ. – М.: Мир, 1985.

REFERENCES

1. Kulida N.A., Demidov N.A., Kruglov A.V. Opredelenie plotnosti namotki snoval'nyh valov na osnove kinematiceskikh parametrov processa // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 2. S. 77...81.
2. Kulida N.A., Kruglov A.V. Obespechenie kontakta izmeritel'nogo rolika s poverhnost'ju

snoval'nogo vala // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2014, № 3. S. 88...92.

3. Kulida N.A., Kruglov A.V. Opredelenie plotnosti namotki po zakonomernosti izmenenija dliny nitej v slojah // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2014, № 2. S. 63...66.

4. Kim D.P. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. – T. 1. Linejnye sistemy. – M.: Fizmatlit, 2003.

5. Demidov N.A. Mikroprocessornaja sistema kontrolja kinematičeskikh parametrov partionnogo snovanija // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2012, № 4. C. 159...161.

6. Kulida N.A., Kruglov A.V., Kareva T.Ju. Obosnovanie vybora perioda kvantovanija pri izmerenijah kinematičeskikh parametrov partionnogo snovanija // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2013, № 2. S. 77...81.

7. Tihonov A.I., Bulatov L.N., Glazunov V.F. Matematičeskaja model' asinhronnogo jelektrodvigatelja v sisteme jelektroprivoda snoval'noj mashiny // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2015, № 2. S. 117...120.

8. Glazunov V.F., Repin A.A., Rodionov Ju.A. Analiz variacii parametrov zony deformacii osnovy v sisteme jelektroprivoda mehanizma namotki snoval'nyh valov // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2016, № 5. S.177...182.

9. Tejlor Dzh. Vvedenie v teoriju oshibok / Per. s angl. – M.: Mir, 1985.

Рекомендована кафедрой автоматик и радиоэлектроники. Поступила 21.04.17.
