

**ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ИЗМЕНЕНИЯ РАДИУСА НАМОТКИ ОСНОВЫ
НА НАВОЕ В ПРОЦЕССЕ ТКАЧЕСТВА**

**A DYNAMIC MODEL OF CHANGE
OF THE RADIUS OF THE WINDING BASES
ON THE WARP BEAM IN THE WEAVING PROCESS**

Л.А. СЕКОВАНОВА, Е.С. ХОМЯКОВ, М.С. ШИРОКОВ

L.A. SEKOVANOVA, E.S. KHOMYAKOV, M.S. SHIROKOV

**(Костромской государственный университет,
Военная академия радиационной, химической и биологической защиты
имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко)**

**(Kostroma State University,
Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection
named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko)**

E-mail:sekovla@yandex.ru

Получена математическая модель радиуса намотки основных нитей на ткацком навое в текущий момент времени t от начала сматывания их в процессе ткачества. Модель намотки представлена в виде раскручивающейся спирали Архимеда с шагом, равным толщине слоя намотки за один оборот навоя. Толщина слоя определялась из геометрических соображений с учетом расстояния между фланцами, числа и линейной плотности нитей основы на навое. Представленная в работе модель является одной из составляющих динамической модели УСЗ (упругой системы заправки) ткацкого станка.

A mathematical model of the radius of the winding of the main threads on the weaving pile at the current time t from the beginning of their winding in the process of weaving is obtained. The winding model is presented in the form of a spinning spiral of Archimedes with a step equal to the thickness of the winding layer per one revolution of the Navoi. The thickness of the layer was determined from geometric considerations taking into account the distance between the flanges, the number and the linear density of the warp threads on the navoe. The model presented in the paper is one of the components of the dynamic model of USZ (elastic filling system) of the loom.

Ключевые слова: ткацкий навой, динамическая составляющая натяжения, радиус намотки, текущий радиус намотки, толщина одного слоя намотки.

Keywords: weaving needle, a dynamic component of tension, the radius of the winding, the current radius of the winding, the thickness of one layer of winding.

Процесс тканеобразования является сложным динамическим процессом, непрерывно протекающим во времени. Исследование этого процесса и решение задач его оптимиза-

ции невозможно без использования методов математического моделирования. Для совершенствования технологии выработки технических многослойных тканей особен-

но важно иметь адекватную модель натяжения основных нитей, создаваемого основным регулятором. Ткань будет иметь однородное строение по всей длине в том случае, если заправочное натяжение основы, создаваемое основным регулятором, будет постоянным за весь период срабатывания основы.

При выработке тяжелых технических тканей с очень большим заправочным натяжением применяют негативные фрикционные регуляторы. В тормозах с опорным трением нитям приходится преодолевать не только силу торможения навоя, но и довольно большую силу тяжести навоя. В процессе тканеобразования натяжение основы циклически изменяется. Значение циклически изменяющегося заправочного натяжения F_0 складывается из статической $F_{ст}$ и динамической $F_{дин}$ составляющих:

$$F_0 = F_{ст} + F_{дин}. \quad (1)$$

Динамическая составляющая $F_{дин}$ натяжения основы возникает в результате инерционного сопротивления навоя, поэтому

$$F_{дин} = \frac{\varepsilon I}{\rho}, \quad (2)$$

где ε – угловое ускорение навоя, рад/с²; I – момент инерции ткацкого навоя, кг·м²; ρ – радиус намотки основы на навой, м.

Модель динамической составляющей $F_{дин}$ в виде (2) можно рассматривать как квазистатическую. Целью нашей работы является разработка динамической модели $F_{дин}$, где аргументом входных и выходных параметров будет служить время t . Для исследования структуры намотки и процесса сматывания основы с навоя в процессе ткачества необходимы динамические модели $\rho = \rho(t)$ – текущего радиуса намотки и $\ell = \ell(t)$ – текущей длины основы на навое.

К проблеме стабилизации процесса ткачества на двухнавойных ткацких станках обращались многие исследователи. Целью исследования и моделирования намотки пряжи на ткацком навое являлось решение задачи формирования идентичных ткацких навоев с одинаковой длиной и плотностью намотки ([1], [2] и др.). В работе [1] авторы определяют длину нити на навое как длину

"раскручивающейся" спирали Архимеда в зависимости от числа n ее витков, где число витков определяется делением толщины намотки на расчетный диаметр нити. В указанной модели радиус намотки для каждого витка остается постоянным, то есть изменяется дискретно через каждый полный поворот навоя.

В работе [2] рассматривается формирование идентичных ткацких навоев на основе экспериментально полученного закона $\gamma = \gamma(\rho)$ изменения средней плотности γ намотки в зависимости от радиуса намотки ρ . Показаны условия выполнения данного закона при формировании разных ткацких навоев. Условия идентичности следуют из математической модели намотки пряжи, которая представлена тремя дифференциальными уравнениями, определяющими: $\gamma = \gamma_c(\rho)$ – послойную плотность намотки; зависимость текущего радиуса намотки ρ и текущей длины основы L от послойной плотности и числа слоев n . Все параметры модели рассматриваются в момент укладки нитей на текущую открытую поверхность наматывания радиуса ρ .

В соответствии с целью в нашей работе получена математическая модель текущего радиуса намотки при ее сматывании с навоя в процессе ткачества в зависимости от непрерывно текущего времени t .

Примем следующее допущение: нить идеально гибкая, нерастяжимая с круговым поперечным сечением постоянного диаметра.

Рассмотрим вначале случай, когда

$$H = 2r_H m_0, \quad (3)$$

где H – рассадка фланцев навоя, мм; $2r_H$ – диаметр основных нитей; m_0 – число нитей на навое. В этом случае каждая нить располагается на навое таким образом, что линия, проходящая через центры ее поперечных сечений, образует спираль Архимеда.

Уравнение "скручивающейся" спирали Архимеда в полярной системе координат, с началом в центре поперечного сечения ствола навоя, будет иметь вид:

$$\rho(\phi) = \rho_0 - \frac{r_H}{\pi} \phi, \quad (4)$$

где ρ_0 (мм) – радиус навоя в начальный момент времени $t=0$; ϕ – текущий угол поворота навоя, $0 \leq \phi \leq 2\pi n$; n – число витков нити на навое.

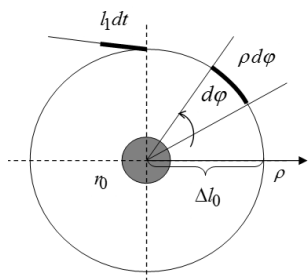


Рис. 1

Так как $r_H \ll \rho(\phi)$, то каждый виток основной нити может быть представлен в виде окружности (рис. 1). Тогда, в силу известной зависимости между длиной дуги окружности и величиной ее центрального угла, имеем:

$$\rho d\phi = l_1 dt, \quad (5)$$

где $l_1 = l_0 \omega$ – длина основы, сматываемой с навоя за 1 мин, мм/мин; ω – частота вращения главного вала, об/мин; l_0 – длина основной нити, которая идет на образование одного элемента ткани, мм.

Величина l_0 без учета фазы строения ткани может быть вычислена по величине уработки основных нитей a_0 (%), которая определяется экспериментально, и заданной плотности ткани по утку P_y (1/дм):

$$l_0 = 100(1 + 0,01a_0) / P_y. \quad (6)$$

Величина l_0 вычислялась нами по модели, предложенной в работе [3], для плотняного переплетения 9-й фазы строения ткани с учетом линейной плотности нитей основы и утка:

$$l_0 = \frac{8}{3} \sqrt{\left(\frac{50}{P_y}\right)^2 + 0,25(r_{он} + r_{ун})^2} - \frac{100}{3P_y}, \quad (7)$$

$r_{он}$ и $r_{ун}$ – расчетные радиусы поперечного сечения основной и уточной нитей, мм. Под-

ставляя выражение $\phi = \frac{\pi}{r_H}(\rho_0 - \rho)$ для текущего угла поворота навоя в уравнение (5), получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{2\pi}{d_H} \rho d\rho = -l_1 dt, \quad (8)$$

где d_H – расчетный диаметр основной нити, мм.

Решение полученного дифференциального уравнения (8), при начальном условии $\rho(t=0) = \rho_0$, выражает зависимость величины радиуса намотки основы на ткацком навое $\rho(t)$ от времени t сматывания ($0 \leq t \leq t_{нс}$):

$$\rho(t) = \sqrt{\rho_0^2 - \frac{d_H l_1}{\pi} t}. \quad (9)$$

Таким образом, если выполняется условие (3), то формула (9) представляет собой динамическую модель текущего радиуса намотки. Однако в действительности при формировании ткацкого навоя на каждую нить приходится "коридор" шириной h , в который укладывается целое число k нитей основы и остается свободное пространство Δh :

$$h = \frac{H}{m_0} = k d_H + \Delta h. \quad (10)$$

Для практических расчетов были рассмотрены несколько образцов тканей, выработываемых в настоящее время в ткацком производстве ООО "БКЛМ-АКТИВ" (г. Кострома), технологические параметры которых представлены в табл. 1. Для каждой ткани по формуле (7) вычислены значения l_0 – длины основы, приходящейся на один продольный элемент ткани, расчетные значения радиусов нитей основы $r_{он}$ и утка $r_{ун}$, величины k и Δh по формуле (10). Оказалось, что для всех рассматриваемых образцов тканей величина $k=2$. Следовательно, толщина намотки навоя с каждым его поворотом уменьшается менее чем на радиус нити.

Найдем толщину слоя намотки δ_c при одном повороте навоя. Рассмотрим два случая.

Образец ткани	Вид и линейная плотность пряжи, текст	Плотность ткани, 1/дм	Длина нитей на навое, тыс. м	Ура-ботка, %	Число нитей основы	Рас-садка фланцев	Расчетные значения, мм		
	основа и уток						P_o/P_y	L_o	a_o
№1 106003	БМ 56 ВЛ	155/160	1,6 1,2	12	2548/32	1750	0,137	0,132	0,70
№2 876	БМ 86 ОЛ	138/132	1,3	13	2166/24	1650	0,170	0,093	0,85
№3 506074	БМ 105 ОЛ	134/124	1,3	13	2130/24	1650	0,188	0,014	0,92
№4 905069	С 29 х/б	220/115	1,6 1,4	9	4268/16	2100	0,104	0,072	0,90

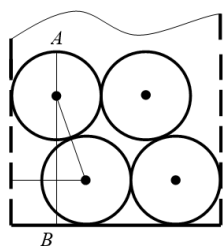


Рис. 2

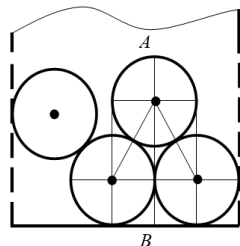


Рис. 3

Пусть $\Delta h \leq r_H$ (рис.2). Тогда толщина намотки за четыре оборота навоя возрастет на величину $AB=4\delta_c$, где

$$\delta_c = \frac{1}{4}(\sqrt{d_H^2 - \Delta h^2} + d_H). \quad (11)$$

Если $r_H < \Delta h < d_H$ (рис.3), то

$$\delta_c = \frac{d_H}{8}(\sqrt{3} + 2). \quad (12)$$

В формуле (9) заменим диаметр основной нити d_H на толщину слоя δ_c . Получим формулу для вычисления текущего радиуса намотки:

$$\rho(t) = \sqrt{\rho_0^2 - \frac{\delta_c \ell_1}{\pi} t}. \quad (13)$$

Время $t_{пс}$ полного сматывания нитей основы с навоя можно найти из формулы (13) с учетом того, что $\rho(t_{пс}) = r_0$, где r_0 – радиус ствола навоя, мм. Получим:

$$t_{пс} = \frac{\pi(\rho_0^2 - r_0^2)}{\delta_c \ell_1}. \quad (14)$$

Для проверки адекватности реагирования модели (13) на изменение входных параметров (табл. 1) радиус намотки ρ_0 в начальный момент ткачества $t=0$ для всех образцов тканей принят равным 280 мм. Результаты расчетов приведены в табл. 2 (расчетные значения текущего радиуса намотки $\rho(t)$, мм).

Из приведенных в табл. 2 расчетов следует, что радиус намотки адекватно реагирует на изменение частоты вращения главного вала: для пряжи большей линейной плотности текущий радиус уменьшается быстрее, нежели у пряжи меньшей линейной плотности. При полном сматывании нитей $\rho(t_{пс}) = r_0 = 77,5$ мм.

В табл. 3 для ткани №1 (обр.106003) приведены расчетные значения толщины слоя намотки δ_c (11), длины $\ell_1 = \ell_0 \omega$ основы, сматываемой с навоя за 1 мин, и время $t_{пс}$ полного сматывания, вычисленное по формуле (14). Для этой же ткани в условиях производства были сделаны замеры радиуса намотки основы $\rho_0=236$ мм, длины нитей на навое $L_0=1200$ м, частоты вращения главного вала $\omega=226$ об/мин и $\ell_1^*=0,142$ м – длины ткани, вырабатываемой за 1 мин. Время $t_{пс}^*$ полного сматывания нитей по экспериментальным данным и величине уработки $a_0=12\%$ рассчитывалось по формуле:

$$t_{пс}^* = \frac{L_0(1 - 0,01a_0)}{60\ell_1^*}, \text{ ч.} \quad (15)$$

Таблица 2

Образец		t , мин	0	60	120	...	600	1200	2000	...	$t_{пс}$
		ω , об/мин									
$\rho(t)$, мм	БМ 56 ВЛ	220	280	279,3	278,6	...	273,2	266,2	256,5	...	77,5
		240	280	279,3	278,5	...	272,5	264,9	254,3	...	77,5
		320	280	279,0	278,0	...	270,0	259,6	245,1	...	77,5
	БМ 86 ОЛ	220	280	278,9	277,8	...	269,0	257,6	241,5	...	77,5
		240	280	278,8	277,6	...	268,0	255,5	237,7	...	77,5
		320	280	278,4	276,9	...	263,9	246,8	221,8	...	77,5
	БМ 105 ОЛ	220	280	278,7	277,4	...	266,8	252,9	233,1	...	77,5
		240	280	278,6	277,2	...	265,6	250,3	228,3	...	77,5
		320	280	278,1	276,2	...	260,6	239,5	208,3	...	77,5
	С 29 х/б	220	280	279,3	278,6	...	273,0	265,8	255,9	...	77,5
		240	280	279,2	278,5	...	272,3	264,4	253,5	...	77,5
		320	280	279,0	278,0	...	269,7	259,0	244,1	...	77,5

Таблица 3

Ткань №1	Расчетные значения			Экспериментальные значения	
	δ_c , мм	l_1 , мм	$t_{пс}$, ч	l_1^* , мм	$t_{пс}^*$, ч
106003	0,13	158,6	128,01	142	123,9

Сравнение полученных значений показывает, что различие между расчетным временем $t_{пс}$ и экспериментальным $t_{пс}^*$ составляет 3,33%.

ВЫВОДЫ

1. Получена детерминированная математическая модель зависимости радиуса намотки основы на ткацком навое от времени сматывания в процессе ткачества, которая является составляющей общей динамической модели УСЗ ткацкого станка.

2. Модель адекватно реагирует на изменение входных параметров (линейная плотность нитей основы, частота вращения главного вала, рассадка фланцев и число нитей на навое и др).

3. Расчетные значения времени срабатывания навоя хорошо согласуются с экспериментальными, полученными в ходе измерений в условиях ткацкого производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тягунов В.А., Сторц Т.П. Математические модели определения длины пряжи на навое // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1990, №2. С. 52...54.

2. Маховер В.Л., Бобылькова И.С., Кутын А.Ю. Математическая модель намотки пряжи на ткацком навое и методика расчета динамической спирали намотки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, №1. С.33...37.

3. Секванова Л.А., Собашко Ю.А., Савкин А.В. К вопросу рационального выбора типоразмера галева ремизки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №5. С.64...68.

REFERENCES

1. Tyagunov V.A., Storts T.P. Matematicheskie modeli opredeleniya dliny pryazhi na navoe // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 1990, №2. S. 52...54.

2. Makhover V.L., Bobyl'kova I.S., Kut'in A.Yu. Matematicheskaya model' namotki pryazhi na tkatskom navoe i metodika rascheta dinamicheskoy spirali namotki // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2004, №1. S.33...37.

3. Sekovanova L.A., Sobashko Yu.A., Savkin A.V. K voprosu ratsional'nogo vybora tiporazmera galeva remizki // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2014, №5. S.64...68.

Рекомендована кафедрой высшей математики КГУ. Поступила 10.08.19.