

УДК 677.054.39

DOI 10.47367/0021-3497_2021_1_55

СИМУЛЯЦИЯ НАТЯЖЕНИЯ НИТЕЙ ОСНОВЫ ПРИ ТКАЧЕСТВЕ

THE SIMULATION OF TENSION OF THE WARP THREADS IN THE WEAVING PROCESS

Е.В. ГОЛУБЕВ, В.В. РОМАНОВ

E.V. GOLUBEV, V.V. ROMANOV

(Костромской государственной университет)

(Kostroma State University)

E-mail: evg-golub@mail.ru; wwr52@rambler.ru

В статье представлена методика компьютерного моделирования натяжения нитей основы на ткацком станке в процессе тканеобразования. В ходе исследования была решена система дифференциальных уравнений с использованием численных методов. Дается сравнение экспериментально полученных данных и результатов в виде графиков изменения натяжения основы и колебаний скала станка. Показано соответствие экспериментальных и теоретических результатов.

The article presents the method of computer modeling of the tension of the warp threads on a loom in the process of tissue formation. During the study, a system of differential equations was solved using numerical methods. A comparison is made of the experimentally obtained data and results in the form of graphs of changes in the base tension and oscillations of the machine rock. The correspondence of experimental and theoretical results is shown.

Ключевые слова: ткацкий станок, натяжение основы, компьютерное моделирование, зверообразование, численный метод, перемещение скала, прибор.

Keywords: weaving machine, a warp tension, computer simulation, shedding, numerical method.

Натяжение основы – это параметр, который следует тщательно контролировать, так как с его помощью можно избежать чрезмерных пиковых значений натяжения,

которые приводят к неудовлетворительным результатам зверообразования. Определить эффект комбинации факторов, таких как станок, материал основы, ткачество обыч-

ными способами достаточно трудоемко, неэкономично и иногда даже невозможно. Во избежание этого станок и силы натяжения основы могут быть математически смоделированы [1].

В ходе исследовательской работы был использован ткацкий станок со скоростью вращения главного вала 240 об/мин (4 уточ./с), 6 ремизных валов, симметричная геометрия зева, зев закрывается при 355° , непрерывный отвод ткани и периодический отпуск основы. Характеристики ткани, использованной в моделировании натяжения, были следующие: саржа (2/2), ширина 170 см, 20 уточин/см (50 текс/к), 20 основных нитей/см (2x55 текс/к).

Для моделирования натяжения основы в процессе ткачества была разработана математическая модель системы основа/ткань ткацкого станка (рис. 1 – схема ткацкого станка). На этом рисунке: L_{10} и L_1 – начальная и конечная длина участка основы между опушкой ткани и ремизками; L_{20} и L_2 – между ремизным прибором и скалом; L_{30} и L_3 – между скалом и навоем; L_{w0} и L_w – начальная и конечная длина участка основы, контактирующего со скалом. Известно, что длины участков L_2 , L_3 и L_w , а также их начальные длины можно вычислить из геометрии моделируемого станка; α – угол между скалом и вертикальной осью; β_1 – угол между участком основы L_2 и горизонтальной осью; y – перемещение ремизок; r – радиус скала; R – радиус навоя.

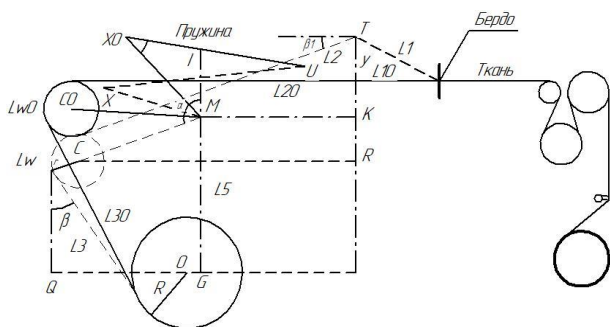


Рис. 1

В процессах зевобразования, отпуска основы и отвода ткани натяжение основы изменяется. В определении уравнения натяжения основы осуществим допущения, обусловленные механическими свойствами

нитей и модулем упругости растянутых нитей. Допустим, что упругие свойства нитей следуют закону Гука, то есть изменение натяжения линейно зависит от удлинения [2].

Для расчета натяжения основы из геометрии станка и траектории нитей основы от навоя до зоны приборя было определено полное удлинение нитей. Для получения уравнения скорости зевобразования уравнение перемещения было продифференцировано по времени t [3]:

$$T = T_0 + E_y \frac{d\ell}{\ell_0}, \quad (1)$$

$$T = T_0 + dT, \quad (2)$$

$$dT = E_y \frac{dL}{\ell_0}, \quad (3)$$

где T – натяжение основы в момент времени $t=t_0+dt$, T_0 – начальное натяжение основы в момент t_0 и dT – натяжение основы, обусловленное удлинением dL за время dt . Величины L и dL могут быть определены из уравнений и геометрии ткацкого станка. E_y – модуль упругости нитей определяется наклоном кривой сила-удлинение и может быть получен из уравнения (5). В данной работе было получено значение модуля упругости нити около 130 сН/текс:

$$E_y = \frac{T_f - T_i}{c(\ell_f - \ell_i) / \ell_i}, \quad (4)$$

где T_f и T_i – соответственно конечное и начальное натяжения нитей; ℓ_f и ℓ_i – конечная и начальная длина нитей; c – количество нитей.

Чтобы рассчитать натяжение основы, вычисляем изменения длин участков основы.

L_t (общая длина основы) и ее отклонения получаем из уравнений:

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + L_w + L_{let} - L_{tu}, \quad (5)$$

$$dL_t = dL_1 + dL_2 + dL_3 + dL_w + dL_{let} + dL_{tu}, \quad (6)$$

где L_{let} – количество (длина) нитей, отпущенных с навоя. L_2 , L_3 , L_w , L_{let} , L_{tu} могут быть определены из геометрии и документации на станок.

Чтобы вычислить натяжение основы в каждой зоне заправки, должны быть определены длины участков основы и их изменения. Определим уравнения для L1, L2, L3 и Lw также, как и для их изменений. Часть изменения натяжения основы происходит в связи с зевобразованием и прибором, что вызывает циклическое изменение длин участков основы [4].

Для определения длины участка основы между ремизками и опушкой ткани рассматриваются два отдельных состояния.

1) Длина участка основы в процессе прибора резко изменяется, что, следовательно, ведет к внезапному изменению натяжения основы. Длины L1 и L10 быстро изменяются в процессе прибора. Когда опушка ткани выталкивается вперед, расстояние между ремизками и опушкой:

$$L10 = d + cfd, \quad (7)$$

где cfd – перемещение опушки ткани в результате прибора; d=160 мм – расстояние

между ремизками и опушкой ткани до прибора. Длина основы между ремизками и опушкой ткани, то есть L1 и ее изменения, dL1, в результате прибора вычисляются из уравнений:

$$L1 = \sqrt{(160 + cfd)^2 + y^2}, \quad (8)$$

$$dL1 = \frac{(160 + cfd)d(cfd) + ydy}{L1}. \quad (9)$$

2) В отсутствии прибора смещение опушки ткани равно нулю. Таким образом, участок основы между ремизками и опушкой, а также его изменения можно получить из уравнения:

$$L1 = \sqrt{L10^2 + y^2}, \quad (10)$$

$$dL1 = \frac{ydy}{L1}. \quad (11)$$

Также необходимо определить L2, L3, Lw и их изменения:

$$L2 = \sqrt{(y + MS + MC \sin \alpha)^2 + (MK + MC \cos \alpha)^2 - r^2}, \quad (12)$$

$$dL2 = \frac{(y + MS + MC \sin \alpha)(dy + MC \cos \alpha d\alpha) + (MK + MC \cos \alpha) \cdot (-MC \sin \alpha d\alpha)}{L2}, \quad (13)$$

$$L3 = \frac{E - (R - r) \cos \beta 2}{\sin \beta 2}, \quad (14)$$

$$dL3 = \frac{(R - r - E \cos \beta 2)d\beta 2 + \sin \beta 2 dE}{\sin^2 \beta 2}, \quad (15)$$

$$Lw = r \left(\frac{\pi}{2} - \beta 1 + \beta 2 \right), \quad (16)$$

$$dLw = r(d\beta 2 - d\beta 1). \quad (17)$$

Меру удлинения участка основы, огибающего скало под натяжением, можно определить:

$$dLw_e = \frac{T2 - T3}{btE} \cdot \frac{r}{\mu}, \quad (18)$$

$$dLw_e = \frac{T2(1 - e^{-\mu\phi})}{E_y} \cdot \frac{r}{\mu}, \quad (19)$$

где μ – коэффициент трения между нитями основы и скалом.

Известно, что $\mu \neq 0$, натяжение основы в различных частях не одинаково:

$$dT2 = E_y \frac{dL1 + dL2}{L1 + L2}. \quad (20)$$

Натяжение основы в зонах L2 и L1 полагается равным T2, а его изменения не являются чистым удлинением. В связи с этим важно найти чистое удлинение L1+L2, то есть dLe.

$$dT2 = E_y \frac{dLe}{L1 + L2}, \quad (21)$$

$$dLe = dLt - dLe3 - dLwe, \quad (22)$$

$$dLe = L3 \frac{dT3}{E_y} \quad (23)$$

Поскольку T3 < T2:

$$T3 = T2 e^{-\mu\phi},$$

$$dT3 = e^{-\mu\phi} dT2 - \mu e^{-\mu\phi} T2 d\phi = e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 d\phi, \quad (24)$$

$$dLe3 = L3 \frac{(e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 \cdot d\phi)}{E_y}, \quad (25)$$

$$dLe = dLt - L3 \frac{(e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 \cdot d\phi)}{E_y} - \frac{(T2 - T3)r}{E_y \mu}. \quad (26)$$

Подставляя dLe в уравнение (21):

$$dT2 = \frac{E_y}{L1 + L2} \left[dLt - L3 \frac{(e^{-\mu\phi} dT2 - \mu T3 \cdot d\phi)}{E_y} - \frac{(T2 - T3)r}{E_y \mu} \right], \quad (27)$$

$$dT2 = \frac{E_y dLt + (L3 \mu d\phi - (L1 + L2)(e^{-\mu\phi} - 1)r / \mu) T3}{L1 + L2 + L3 e^{-\mu\phi}}. \quad (28)$$

Угол поворота скала α должен быть определен из динамических уравнений системы [5].

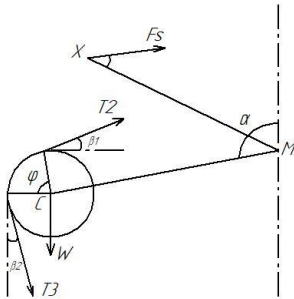


Рис. 2

Для вычисления α на рис.2 изображена система сил, действующих на скало.

Угловое ускорение скала $\frac{d^2\alpha}{dt^2}$ можно получить из уравнения:

$$\tau = \sum M_M = I_b \frac{d^2\alpha}{dt^2}, \quad (29)$$

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{\sum M_M}{I_b}, \quad (30)$$

где τ – крутящий момент, равный $\sum M_M$. Разложив его на составляющие, получим:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = \frac{(T2 \sin(\alpha - \beta1) + T3 \cos(\beta2 - \alpha) + W \cos \alpha) MC - (T2 - T3)r - F_s MX \sin \psi}{I_b}, \quad (31)$$

где $T2$ и $T3$ – натяжение основы в зонах $L2$ и $L3$ соответственно; W – масса скала; MC – длина рычага, соединяющего скало с осью M ; MX – длина рычага, связанного с пружиной; F_s – сила упругости пружины; I_b – момент инерции скала относительно оси M .

$$I_b = \frac{\ell}{2} \rho \pi L_m (r_0^4 - r_1^4) + 2 \frac{\ell}{2} \rho \pi L_1 r_1^4 + M_b MO^2, \quad (32)$$

где r_0 и r_1 – наружный и внутренний радиусы главного вала скала; L_m – длина главного вала скала; r_1 и L_1 – радиус и длина боковых стержней; M_b – масса скала.

В результате, чтобы решить уравнения натяжения, угловой скорости и углового ускорения, необходимо проинтегрировать их численно, используя метод Рунге-Кутты [6]. Если предположить отпуск основы и

отвод ткани непрерывными, уравнения (8) и (9) примут вид:

$$L_t = L1 + L2 + L3 + Lw, \quad (33)$$

$$dL_t = dL1 + dL2 + dL3 + dLw. \quad (34)$$

Расчетные изменения натяжения основы сопоставили с результатами измерений. Измерение натяжения выполнялось с помощью тензометра. Датчиком служила латунная U-образная пружина с закрепленными тензорезисторами. Данные захватывались с выхода тензоусилителя и обрабатывались цифровым процессором. За оборот главного вала записывалось 512 значений натяжения. Расчетное перемещение скала с течением времени изображено на рис. 3.

Измерение колебаний скала было проведено с использованием лазерного преобразователя перемещений совместно с датчиком приближения, который использо-

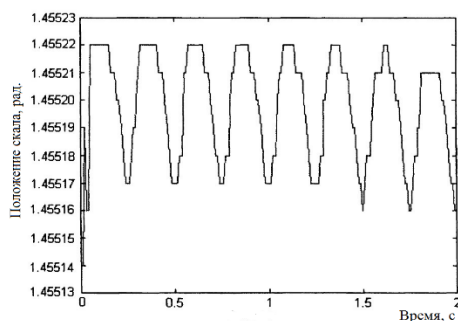


Рис. 3

Сравнение перемещений скала показывает общее соответствие между графиками. Отличие между двумя кривыми заключается в наличии вибраций на экспериментально полученной кривой.

ВЫВОДЫ

1. Расчетные кривые с достаточной точностью согласуются с результатами экспериментов.

2. Расчетные кривые можно еще более приблизить к экспериментальным, если допущения линейной эластичности участков основы пересмотреть (поскольку нити не следуют закону Гука).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Vatankhah E.* Importance of the Cloth Fell Position and its Specification Methods. – <https://www.intechopen.com/download/pdf/12241>;

2. *Брут-Бруляко А.Б., Романов В.В., Хомяков Е.С.* Влияние основных факторов на натяжение льняной пряжи при перематывании // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2018, №1. С.73...76.

3. *Голубев Е.В., Романов В.В.* Моделирование и оптимизация натяжения нити при ткачестве // *Мехатроника, автоматика и робототехника.* – 2019, №3. С.105...108.

вался для определения положения берда. На рис. 4 изображены колебания скала А и движение берда В.

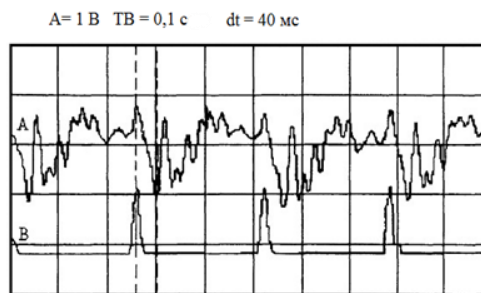


Рис. 4

4. *Гордеев В.А., Волков П.В.* Ткачество. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.

5. *Грановский Т.С., Мшвениерадзе А.П.* Строение и анализ тканей – М.: Легпромбытиздат, 1988.

6. *Романов В.В., Лясич В.А., Лопатин Д.Е.* Сравнение типовых методов анализа и синтеза машинного агрегата с методом М.З. Коловского // *Теория механизмов и машин.* – 2009, №2.

REFERENCES

1. *Vatankhah E.* Importance of the Cloth Fell Position and its Specification Methods. – <https://www.intechopen.com/download/pdf/12241>;

2. *Brut-Brulyako A.B., Romanov V.V., Khomyakov E.S.* Vliyanie osnovnykh faktorov na natyazhenie l'nyanoy pryazhi pri perematyvanii // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* – 2018, №1. S.73...76.

3. *Golubev E.V., Romanov V.V.* Modelirovanie i optimizatsiya natyazheniya niti pri tkachestve // *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika.* – 2019, №3. S.105...108.

4. *Gordeev V.A., Volkov P.V.* Tkachestvo. – М.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984.

5. *Granovskiy T.S., Mshvenieradze A.P.* Stroenie i analiz tkaney – М.: Legprombytizdat, 1988.

6. *Romanov V.V., Lyasich V.A., Lopatin D.E.* Sravnenie tipovykh metodov analiza i sinteza mashinnogo agregata s metodom M.Z. Kolovskogo // *Teoriya mekhanizmov i mashin.* – 2009, №2.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения. Поступила 17.06.19.