

УДК 677.024:63.09:004.942  
DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_3\_91

**КОНЕЧНОМЕРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТА ТКАНИ**

**FINITE-DIMENSIONAL DYNAMIC MODEL  
OF THE FORMATION OF A FABRIC ELEMENT**

*Т.А. САМОЙЛОВА, П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, С.С. ЮХИН*

*T.A. SAMOILOVA, P.A. SEVOSTYANOV, S.S. YUKHIN*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: petrsev46@yandex.ru

*Предложена простая математическая модель динамики прибойной уточной нити и формирования элементов ткани. Модель имеет вид конечной системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с малым числом параметров и реализована в системе Simulink.*

*A simple mathematical model of the weft thread surf dynamics and the formation of fabric elements is proposed. The model has the form of a finite system of ordinary linear differential equations with a small number of parameters and is implemented in the Simulink system.*

**Ключевые слова:** прибойная полоска, уточная нить, элемент ткани, динамика, математическая модель, численные методы.

**Keywords:** surf strip, weft thread, fabric element, dynamics, mathematical model, numerical methods.

При формировании элемента тканого полотна положение уточных и основных нитей в зоне прибойной полоски еще не фиксировано и изменяется в каждом следующем цикле прибойной очередной уточины. Фиксация нитей происходит за счет сил упругой деформации и трения между нитями по мере оттягивания полотна из области формирования.

Изучению формирования полотна и взаимодействию нитей с системами подачи основы и утка, отвода ткани из зоны формирования и прибойной очередной уточной нити уделялось и уделяется пристальное внимание исследователей. Исследования проводились как экспериментальными методами [1], [2], [4...6], [8], [9], [13] (фиксация прибойной полоски, скоростная фото- видео-

съемка процесса, поперечные срезы участков полотна, датчики натяжения и расположения нитей и др.) и теоретическими методами [1...4], [7], [8], [15], [16]. Были построены математические модели, основанные на различных подходах, предположениях, уровнях детализации, масштабах и применяемом математическом аппарате. Строились, например, двухмерные и трехмерные модели [1], [3], [4], [14], в которых выделялись элементы нитей, связанные упругими связями с учетом изгиба нитей. Элементы нитей рассматривались как материальные точки с тремя степенями свободы. В других моделях для уточнения перемещения нитей в условиях сильного изгиба использовались нелинейные уравнения деформации [2], [16]. Были также построены геометрические модели переплетений, в которых нити изображались изогнутыми цилиндрами кругового сечения [2], [3], [14]. Деформации самих нитей, такие как изгибы, удлинения, смятие при взаимодействии нитей между собой учитывались в моделях, использующих метод конечных элементов [10...12]. Созданные модели, как правило, требовали задания большого числа параметров, связанных с механическими характеристиками нитей, геометрией переплетения, сложными математическими и программными реализациями. Большинство моделей рассматривало статическую задачу, в которой положение нитей оценивалось из условий статического равновесия действующих сил.

Представленная ниже динамическая модель основана на следующих предположениях. Подача и натяжение основы, отвода полотна и прибор утка реализуются как воздействия на нити и ткань, одинаковые по всей ширине заправки, содержащей тысячи, а в некоторых случаях, десятки тысяч нитей. Это позволяет исключить из модели координату вдоль ширины ткани. Направления движения берда, смещения вновь прибываемого утка и натяжения нитей основы и ткани не лежат в одной горизонтальной плоскости, более того, меняют направление в пределах одного цикла формирования элемента полотна. Поскольку моделируется поведение опушки ткани в течение

нескольких последовательных циклов, то будем рассматривать только проекции движения нитей утка в плоскости ткани. Поперечные сечения нитей в процессе формирования элемента ткани превращаются из круга в овалы, причем у разных нитей – разного размера и формы (рис. 1 – геометрическая модель динамики прибора утка и приборной полоски). Считаем, что каждая уточная нить на оси  $X$  моделируется материальной точкой, которая включает в себя и массы прилежащих участков основных нитей. Эти участки, отнесенные к каждой уточине, показаны на рисунке вертикальными штриховыми линиями. В общем случае прибываемые нити утка могут иметь разные линейные плотности, поперечные сечения, а массы элементов ткани (между штриховыми линиями) – разные массы. Массы участков обозначим  $m_1, m_2, \dots$

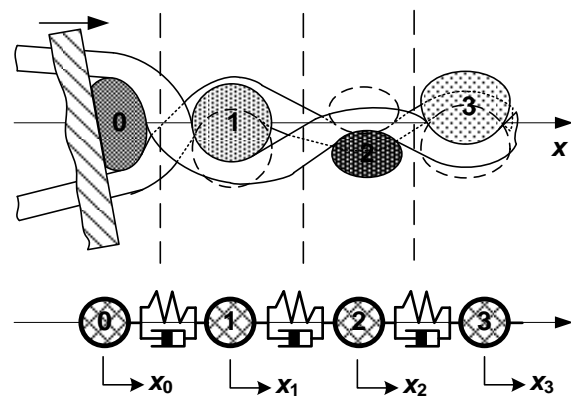


Рис. 1

Движение и изменения происходят в плоскости полотна в направлении оттягивания ткани по оси  $X$ . Смещение каждой уточной нити в момент  $t$  относительно ее равновесного положения задается координатой  $x_n(t)$ , где  $n$  – номер нити. Он отсчитывается от прибываемой нити:  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Нити связаны упругопластичными связями, для которых используем линейное приближение: упругая составляющая пропорциональна величине смещения нити от равновесного положения, а пластическая составляющая пропорциональна скорости этого смещения. Коэффициенты пропорциональности для упругой и эластической составляющей обозначим  $k$  и  $b$ . Величины

этих параметров могут быть разными по величине для разных элементов ткани.

Смещение уточной нити складывается из смещения  $u_n(t)$  вследствие прибой и перемещения вследствие действия механизмов натяжения и отпуска основы и ткани  $x_n(t) = u_n(t) + z(t)$ . Перемещения  $z(t)$  считаются одинаковыми для всех элементов ткани. Смещения нитей  $u_n(t)$  в начальный момент времени  $t = 0$  принимаем равными нулю. Сделанные предположения приводят к одномерной динамической модели с конечным числом степеней свободы, механическая аналогия которой показана в нижней части рис. 1. Движение берда и прибываемой нити утка  $x_0(t)$  моделировалось кривой, показанной на верхней диаграмме рис. 2 (динамика смещения формируемых элементов полотна в прибойной полоске), и соответствует экспериментальным осциллограммам перемещений прибываемой нити.

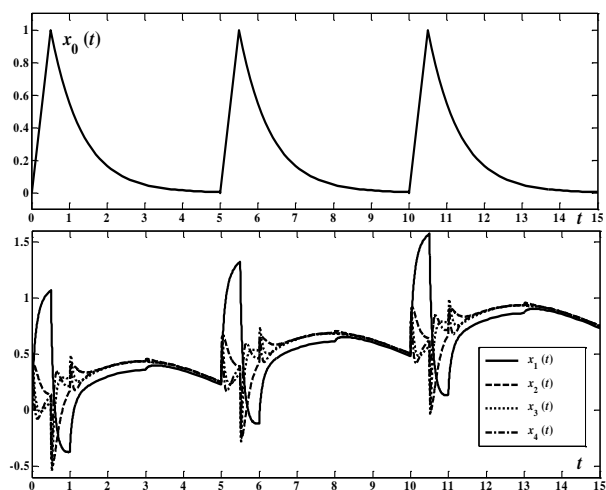


Рис. 2

При таких предположениях уравнения движения для каждой из уточных нитей в пределах зоны формирования запишутся в виде:

$$m_1 \frac{d^2 u_1(t)}{dt^2} = -k_1 u_1(t) - b_1 \frac{du_1(t)}{dt},$$

$$m_2 \frac{d^2 u_2(t)}{dt^2} = -k_1 (u_2(t) - u_1(t)) - k_2 (u_2(t) - x_3(t)) - b_2 \frac{du_2(t)}{dt},$$

...

$$m_n \frac{d^2 u_n(t)}{dt^2} = -k_n (u_n(t) - u_{n-1}(t)) - k_{n+1} (u_n(t) - u_{n+1}(t)) - b_n \frac{du_n(t)}{dt}.$$

...

Решение уравнений было выполнено численными методами в виде Simulink-модели в среде Matlab при одинаковых значениях  $k_1 = k_2 = \dots = k$  и  $b_1 = b_2 = \dots = b$  для разного числа элементов формирования ткани в опушке. Для принятых значений  $m = 0,01$ ,  $k = 0,01$  и  $b = 0,1$  (в относительных единицах) заметные изменения смещений  $u(t)$  проявились только для 4-х нитей. Поэтому и решаемая система была ограничена четырьмя уравнениями. Диаграммы, отображающие динамику движения этих четырех элементов ткани во времени, показаны в нижней части рис. 2. Это движение – неупорядоченные затухающие колебания в виде суммы нескольких гармоник с экспоненциально затухающими амплитудами,

которые близки по форме к экспериментально регистрируемым перемещениям нитей утка в прибойной полоске.

Таким образом, предложена и опробована простая математическая модель движения элементов формируемой ткани в прибойной полоске. При малом числе параметров ( $m, k, b$ ) модель позволяет исследовать динамику прибойной уточной нити и формирования элементов ткани в области прибойной полоски. Линейного приближения оказывается достаточно для описания характерных, наблюдаемых в экспериментах, особенностей процесса. Модель пригодна как для однослойных, так и многослойных тканей независимо от особенностей переплетения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильченко В.Н.* Прибой уточной нити. – М.: Легпромбытиздат, 1993.
2. *Степанов С.Г.* Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей: Дис. ... докт. техн. наук. – Иваново, 2007.
3. *Примаченко Б.М.* Разработка путей оптимизации процесса прибоа уточной нити на ткацком станке: Дис.... канд. техн. наук. – Ленинград, 1984.
4. *Богинич Т.Ф.* Исследование натяжения основных нитей и его регулирования при формировании ткани на бесчелночном ткацком станке АТПР-120: Дис.... канд. техн. наук. – М., 1976.
5. *Козлов В.Г.* Исследование изменения натяжения нитей основы на ткацком станке при формировании элемента ткани: Дис.... канд. техн. наук. – М., 1971.
6. *Севостьянов П.А.* Неравномерность расположения утка в ткани и оценка ее регулирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1969, №5.
7. *Севостьянов П.А.* О закономерности расположения утка в ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1971, №2.
8. *Севостьянов П.А.* Методы оценки и измерения неравномерности расположения нитей в ткани: Дис.... канд. техн. наук. – М., 1972.
9. *Севостьянов П.А.* Оценка размера зоны формирования ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1978, №2.
10. *Севостьянов П.А., Радов А.В.* Алгоритм моделирования прибоа уточных нитей к опушке ткани как волнового процесса в сплошной среде с кулоновским трением // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №2С. С.118...120.
11. *Севостьянов П.А.* Компьютерные модели в механике волокнистых материалов. – М.: Тисо Принт, 2013.
12. *Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Тихомирова М.Л.* Компьютерная конечно-элементная модель взаимодействия утка с основными нитями в процессе прибоа на ткацком станке // Материалы и технологии – 2019, № 1 (3). С. 54...58.
13. *Абдуллаев У.Т., Велиев Ф.А., Аллаhverдиева И.Ф.* Экспериментальное определение смещения нитей утка на границе участков с разной плотностью по утку // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №1. С.155...160.
14. *Пирогов Д.А., Евграфова К.И.* Математическое моделирование квазистатического процесса деформирования нити утка при формировании многослойной тканой структуры // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С.87...92.
15. *Сергеев В.Т., Малафеев Р.М., Николаев С.Д.* Анализ прокладывания нетрадиционных уточных нитей на ткацком станке СТБ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, №6. С.90...95.

16. *Индербиева Т.А., Хусаинов Р.З., Терентьев В.И.* Исследование взаимодействия дисков тканеформирующего механизма с нитями утка // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №6. С.104...107.

## REFERENCES

1. Vasil'chenko V.N. Priboy utochnoy niti. – M.: Legprombytizdat, 1993.
2. Stepanov S.G. Razvitie teorii formirovaniya i stroeniya tkani na osnove nelineynoy mekhaniki gibkikh nitey: Dis. ... dokt. tekhn. nauk. – Ivanovo, 2007.
3. Primachenko B.M. Razrabotka putey optimizatsii protsessa priboya utochnoy niti na tkatskom stanke: Dis.... kand. tekhn. nauk. – Leningrad, 1984.
4. Boginich T.F. Issledovanie natyazheniya osnovnykh nitey i ego regulirovaniya pri formirovanii tkani na beschelnochnom tkatskom stanke ATPR-120: Dis.... kand. tekhn. nauk. – M., 1976.
5. Kozlov V.G. Issledovanie izmeneniya natyazheniya nitey osnovy na tkatskom stanke pri formirovani elementa tkani: Dis.... kand. tekhn. nauk. – M., 1971.
6. Sevost'yanov P.A. Neravnomernost' raspolozheniya utka v tkani i otsenka ee regulirovaniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1969, №5.
7. Sevost'yanov P.A. O zakonomernosti raspolozheniya utka v tkani // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1971, №2.
8. Sevost'yanov P.A. Metody otsenki i izmereniya neravnomernosti raspolozheniya nitey v tkani: Dis.... kand. tekhn. nauk. – M., 1972.
9. Sevost'yanov P.A. Otsenka razmera zony formirovaniya tkani // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 1978, №2.
10. Sevost'yanov P.A., Radov A.V. Algoritm modelirovaniya priboya utochnykh nitey k opushke tkani kak volnovogo protsessa v sploshnoy srede s kulonovskim treniem // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2008, №2S. S.118...120.
11. Sevost'yanov P.A. Komp'yuternye modeli v mekhanike voloknistykh materialov. – M.: Tiso Print, 2013.
12. Sevost'yanov P.A., Samoylova T.A., Tikhomirova M.L. Komp'yuternaya konechno-elementnaya model' vzaimodeystviya utka s osnovnymi nityami v protsesse priboya na tkatskom stanke // Materialy i tekhnologii – 2019, № 1 (3). S. 54...58.
13. Abdullaev U.T., Veliev F.A., Allakhverdieva I.F. Eksperimental'noe opredelenie smeshcheniya nitey utka na granitse uchastkov s raznoy plotnost'yu po utku // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №1. S.155...160.

14. Pirogov D.A., Evgrafova K.I. Matematicheskoe modelirovanie kvazistaticheskogo protsessa deformirovaniya niti utka pri formirovanii mnogoslnoy tkanoy struktury // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, №3. S.87...92.

15. Sergeev V.T., Malafeev R.M., Nikolaev S.D. Analiz prokladyvaniya netraditsionnykh utochnykh nitey na tkatskom stanke STB // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, №6. S.90...95.

16. Inderbieva T.A., Khusainov R.Z., Terent'ev V.I. Issledovanie vzaimodeystviya diskov tkaneformiruyushchego mekhanizma s nityami utka // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №6. S.104...107.

Рекомендована кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления. Поступила 19.04.21.

---