

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРОЕНИЯ ТКАНИ ПОЛОТНЯНОГО ПРЕПЛЕТЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ИЗГИБА.¹

А. П. ГРЕЧУХИН, Д. В. ЗАЙЦЕВ

(Костромской государственный технологический университет)

В статье предложены уравнения, используемые для прогнозирования параметров строения ткани на станке и после отлежки. Система предложенных уравнений решается численными методами в различных приложениях. Использована нелинейная теория изгиба тонких упругих пластин, разработанная Поповым Е. П. и впервые примененная к прогнозированию параметров строения ткани Николаевым С. Д.

Вопросами прогнозирования параметров строения тканей занимались многие ученые [1-8]. Однако задача определения взаимосвязи между технологическими параметрами ткачества и параметрами строения тканей (на различных этапах ее формирования ткани) актуальна по настоящее время. Прогнозирование параметров строения тканей позволяет решать технологические задачи еще на стадии проектирования ткани (подбор натяжений нитей основы и утка для формирования ткани заданной структуры, определение их влияния на уработку нитей основы и утка). Интересна теория, предложенная С. Д. Николаевым. Данная теория впервые изложена в работе [1]. Впоследствии развита его учениками в работах [2-6]. Однако в работах данных авторов используется метод,

¹ Работа выполнена по проекту № НК-632П/38(3) в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы

который основывается на использовании диаграмм, отсутствует математическая модель строения ткани. Кроме того, известны работы [7], выполненная под руководством Т. Ю. Каревой и [8], выполненная под руководством В. П. Щербакова. Также интересна работа В. П. Щербакова [9]. В данной работе рассматривалось строение трикотажной петли, причем автор предложил модель, которая не требует использования таблиц и диаграмм. Все перечисленные труды базируются на работе [10]. Однако, в настоящее время не существует математической модели строения ткани, которая основывается на теории [10].

Автором [10] предложена нелинейная теория изгиба при больших перемещениях при плоском изгибе тонких упругих деталей, которая основана на точном решении дифференциального уравнения упругой линии. Изобразим нить в ткани полотняного переплетения в виде схемы на рисунке 1 [6].

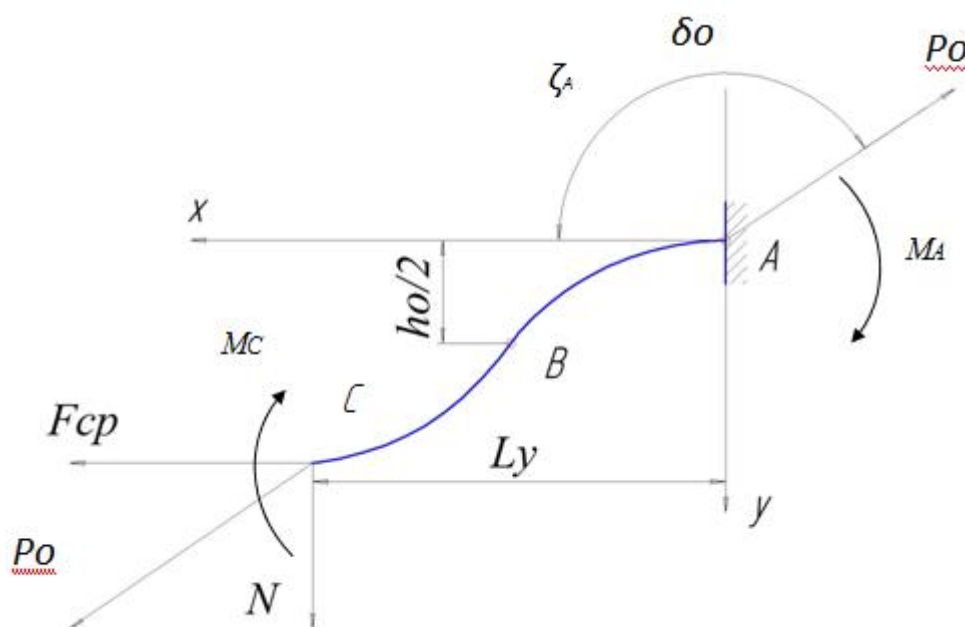


Рис. 1 – Схема нагружения нити основы в ткани полотняного переплетения.

Где F_{cp} – натяжение нити основы; P_o – равнодействующая сила; N – неизвестная сила, которая давит со стороны нити утка и которая включает вертикальные составляющие натяжения нити основы утка; L_y – расстояние между уточинами; $h_o/2$ – половина высоты волны изгиба нити основы в ткани; M_c – изгибающий момент; M_A – реактивный момент; $\delta\sigma$ – угол, определяющий направление оси x по отношению к направлению силы P_o в начальной точке A [10, стр.40]; ABC – средняя линия нити основы.

Форма нити симметрична относительно точки «В», т.к. схема нагружения нити соответствует периодически упругой кривой перегибного рода [10, стр.60] и [6].

Поэтому схему, согласно которой будем искать перемещение, изобразим на рисунке 2:

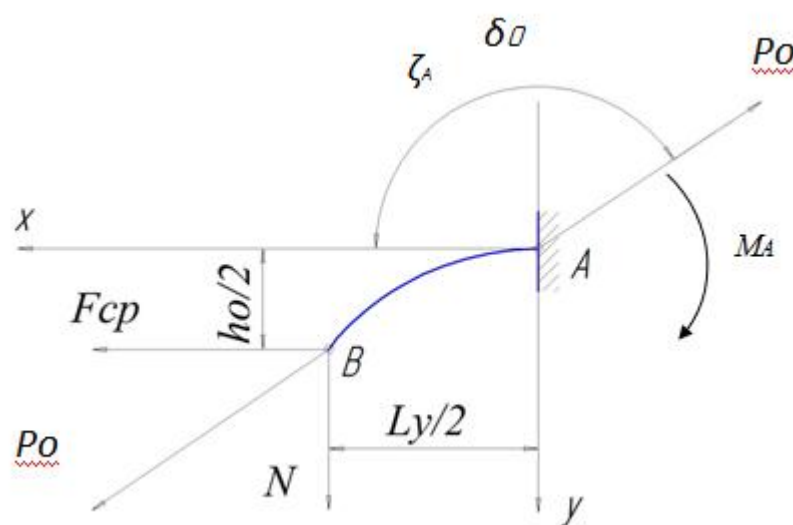


Рис. 2 – схема для определения высоты волны изгиба нити основы в ткани.

Можем записать следующие уравнения [10]:

$$\sqrt{\frac{P_o \cdot l_o^2}{H_o}} = \int_{\varphi A}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2(\varphi)}} \quad (1)$$

где l_o - половина длины нити основы в ткани;

φA – эллиптическая амплитуда в точке «А»;

k – эллиптический модуль;

H_o – жесткость нитей основы на изгиб.

Значение эллиптической амплитуды в точке «В» равно $\pi/2$.

Для нахождения силы, которая приведет к изгибу нити воспользуемся уравнением:

$$P_o = \sqrt{F_{cp}^2 + N^2} \quad (2)$$

Определим угол δ_o из треугольника, образуемого силами P_o , F_{cp} , N :

$$\delta_o = \frac{\pi}{2} + \arctg\left(\frac{F_{cp}}{N}\right), \text{ рад.} \quad (3)$$

Угол наклона касательной (ζ_A) в точке «А» изогнутой нити к линии действия силы P_o равен углу δ_o , тогда, согласно [10]:

$$\zeta_A = \delta_o = 2 \arcsin(k \cdot \sin(\varphi A)) \quad (4)$$

Формула для расчета смещения концевой точки «В» по оси ординат:

$$\frac{h_o}{2 \cdot l_o} = \frac{2 \cdot \cos \varphi A}{\sqrt{\frac{P_o \cdot l_o^2}{H_o}}} \cdot \cos \delta_o - \left(\frac{2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2(\varphi)} d\varphi}{\varphi A \sqrt{\frac{P_o \cdot l_o^2}{H_o}}} - 1 \right) \cdot \sin \delta_o \quad (5)$$

Формула для расчета смещения концевой точки «В» по оси абсцисс:

$$\frac{L_y}{2 \cdot l_o} = \left(\frac{2 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2(\varphi)} d\varphi}{\varphi A \sqrt{\frac{P_o \cdot l_o^2}{H_o}}} - 1 \right) \cdot \cos \delta_o + \frac{2 \cdot \cos \varphi A}{\sqrt{\frac{P_o \cdot l_o^2}{H_o}}} \cdot \sin \delta_o \quad (6)$$

Таким образом, неизвестными параметрами являются δ_o , φA , l_o , P_o , N , h_o , k , т.е. семь параметров и шесть уравнений.

Для определения высот волн изгиба нити необходимо составить такие же уравнения и для уточной нити. Схема будет такой же как и на рисунках 1 и 2. Тогда:

$$P_y = \sqrt{Fy^2 + N^2} \quad (7)$$

$$\delta_y = \frac{\pi}{2} + \arctg\left(\frac{Fy}{N}\right), \text{ рад.} \quad (8)$$

$$\zeta_{Ay} = \delta_y = 2 \arcsin(ky \cdot \sin(\varphi Ay)), \text{ рад.} \quad (9)$$

$$\sqrt{\frac{P_y \cdot l_y^2}{H_y}} = \int_{\varphi_{Ay}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - ky^2 \cdot \sin^2(\varphi)}} \quad (10)$$

Где l_y - длина изогнутой линии нити утка в ткани (для участка изгиба в нашем случае соответствует половине изогнутой линии нити в ткани);

φ_{Ay} – эллиптическая амплитуда в точке «А»;

ky – эллиптический модуль;

H_y – жесткость нитей утка на изгиб.

$$\frac{h_y}{2 \cdot l_y} = \frac{2 \cdot \cos \varphi_{Ay}}{\sqrt{\frac{P_y \cdot l_y^2}{H_y}}} \cdot \cos \delta_y - \left(\frac{2 \cdot \int_{\varphi_{Ay}}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - ky^2 \cdot \sin^2(\varphi)} d\varphi}{\sqrt{\frac{P_y \cdot l_y^2}{H_y}}} - 1 \right) \cdot \sin \delta_y \quad (11)$$

$$\frac{L_o}{2 \cdot l_y} = \left(\frac{2 \cdot \int_{\varphi_{Ay}}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - ky^2 \cdot \sin^2(\varphi)} d\varphi}{\sqrt{\frac{P_y \cdot l_y^2}{H_y}}} - 1 \right) \cdot \cos \delta_y + \frac{2 \cdot \cos \varphi_{Ay}}{\sqrt{\frac{P_y \cdot l_y^2}{H_y}}} \cdot \sin \delta_y \quad (12)$$

Таким образом, неизвестными параметрами являются δ_y , φ_{Ay} , l_y , P_y , N , h_y , ky .

В системе уравнений для основы и утка 13 неизвестных и 12 уравнений.

Запишем основное геометрическое соотношение для основной и уточной нити:

$$h_o + h_y = d_{ov} + d_{ye} \quad (13)$$

где d_{ov} – размер поперечника нити основы по вертикали;

d_{ye} – размер поперечника нити утка по вертикали;.

С учетом (13) получаем систему из 13 уравнений с 13 неизвестными параметрами.

Перемещение точек осевой линии нити утка в зоне формирования связаны главным образом с деформацией растяжения нити утка. Это хорошо доказывается в работе [11]. В данной работе показано, что поступление дополнительного уточного резерва уточной нити со стороны соседних элементов за счет скольжения по нитям основы невозможно (если бы стало возможным поступление резерва уточины к центральному элементу, то это привело бы к неравномерности высот волн изгиба элементов уточной нити по ее длине) [11, стр.79-81]. Поэтому для утка можно записать еще одно соотношение. Тогда относительная деформация нитей утка в зоне формирования ткани при заработке его в ткань:

$$\Delta = \frac{l_y - \left(\frac{L_o}{2} - \frac{\frac{L_o}{2} \cdot \Delta_{нач}}{100} \right)}{\frac{L_o}{2} - \frac{\frac{L_o}{2} \cdot \Delta_{нач}}{100}} \cdot 100 \quad (14)$$

Где Δ – относительная продольная деформация нитей утка в ткани, %;

$\Delta_{нач}$ – начальная относительная продольная деформация нитей утка, проложенной в зев, %.

Начальная относительная деформация утка может быть определена через натяжение нити утка в момент ее прокладывания в зеве.

Тогда, если известна функциональная зависимость между относительной деформацией и натяжением ($F(\Delta)$), получаем формулу для определения натяжения нити утка:

$$F_y = F(\Delta) \quad (15)$$

Таким образом, получена система из 15 уравнений (1-15) с 15 неизвестными: δo , φA , $l o$, $P o$, N , $h o$, k , δy , $\varphi A y$, $l y$, $P y$, $h y$, $k y$, Δ , $F y$. Данная система решается численными методами в среде Mathcad.

В систему уравнений могут быть введены уравнения для определения вертикальных диаметров нитей основы в зависимости от силы нормального давления между нитями. Однако, на данном этапе расчетов проще пользоваться коэффициентами смятия нитей в ткани или инструментально определенными значениями поперечников нитей по вертикали.

Известно, что в зоне формирования ткань имеет плотность по утку, отличную от плотности, которую задает позитивный товарный регулятор. Наиболее близкую плотность по утку к заданной имеет ткань в зоне грудницы. При этом плотность по основе также отличается в зоне формирования и у грудницы. То есть заданными являются расстояния между уточинами у грудницы и расстояния между нитями основы в зоне, близкой к зоне формирования. Поэтому для определения параметров строения ткани в зоне, близкой к зоне формирования, необходимо учитывать строение ткани как у зоны формирования, так и у грудницы и совместно решать соответствующие уравнения. Тогда в систему уравнений (1-15) добавятся еще уравнения, которые определяют строение ткани у грудницы. Неизвестными величинами являются: плотность ткани

по основе у грудницы, плотность по утку в зоне формирования ткани. Тогда получаем 32 неизвестных величины и 30 уравнений. Предполагаем, что длина нити основы в элементе ткани как у грудницы, так и у зоны формирования, будет одинаковой. Также очевидно два направления развития расчетов:

1. До достижения у грудницы максимально возможной плотности по основе (это зависит от натяжения нитей основы, которое определяется из предварительных расчетов) известной величиной становится длина уточной нити в элементе ткани без нагрузки. Она равна расстоянию между нитями основы (предполагаем работу без дозировки уточной нити);
2. После достижения максимальной плотности, дальнейшее ее увеличение не происходит, а начинается деформирование нитей утка (прирост длины уточной нити в элементе ткани). Известная величина - плотность по основе, равная максимально возможной плотности.

Таким образом, в зависимости от натяжения нитей основы, известной величиной становится либо длина уточной нити в ткани у грудницы, либо плотность по основе.

Исходя из вышесказанного имеем систему из 30 уравнений и 30 неизвестных.

Решение системы позволяет определить строение ткани у зоны формирования, и исходя из этого найти параметры ткани, снятой со станка.

Параметры ткани, снятой со станка необходимо определять исходя из тех длин нитей, которые сохраняются в просветах между соседними нитями после снятия нагрузок (натяжений вдоль основы и утка).

Зная длины нитей в ткани в основе и в утке в в просветах между соседними нитями и имея зависимости нагрузка-растяжение, определяем длины после снятия нагрузок. Систему уравнений (1-13) можно упростить.

Это связано с тем, что углы δo и δy будут равны 90° и не будет растягивающих сил.

Тогда система уравнений примет вид:

$$\sqrt{\frac{N \cdot l_o^2}{H_o}} = \int_{\varphi A}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2(\varphi)}}$$

$$\frac{\pi}{2} = 2 \arcsin(k \cdot \sin(\varphi A))$$

$$\frac{h_o}{2 \cdot l_o} = - \left(\frac{2 \cdot \int_{\varphi A}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2(\varphi)} d\varphi}{\sqrt{\frac{N \cdot l_o^2}{H_o}}} - 1 \right)$$

$$\frac{L_y}{2} = \frac{2 \cdot \cos \varphi A}{\sqrt{\frac{N}{H_o}}}$$

$$\sqrt{\frac{N \cdot l_y^2}{H_y}} = \int_{\varphi Ay}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - ky^2 \cdot \sin^2(\varphi)}} \quad (16)$$

$$\frac{\pi}{2} = 2 \arcsin(ky \cdot \sin(\varphi Ay))$$

$$\frac{h_y}{2 \cdot l_y} = - \left(\frac{2 \cdot \int_{\varphi Ay}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - ky^2 \cdot \sin^2(\varphi)} d\varphi}{\sqrt{\frac{N \cdot l_o^2}{H_y}}} - 1 \right)$$

$$\frac{L_o}{2} = \frac{2 \cdot \cos \varphi Ay}{\sqrt{\frac{N}{H_y}}}$$

$$h_o + h_y = d_{os} + d_{y2}$$

Получаем систему из 9 уравнений с 9 неизвестными величинами.

Мы изучили параметры строения льняной ткани на различных этапах формирования. Параметры ткани следующие: плотность по основе в зоне формирования – 164 нит/10 см; плотность по утку у грудницы – 130 нит/10 см; жесткость нитей основы – 0,0496 Н*мм²; жесткость нитей утка – 0,0657 Н*мм²; вертикальный диаметр нитей основы и утка в ткани (инструментально определенный) – 0,16 мм; среднее значение натяжения нитей основы в цикле работы станка – 0,336 сН/нить; принимали, что начальное натяжение нитей утка до начала прибоа отсутствовало.

Таблица 1

	Высота волны нити основы, мм	Отклонение экспериментальных данных от расчетных, %	Высота волны нити утка, мм	Отклонение экспериментальных данных от расчетных, %
зона формирования	0,2581/0,25	3,24	0,0612/0,07	14,3
у грудницы	0,2125/0,22	3,5	0,1068/0,11	2,9
суровая ткань	0,2354/0,23	2,3	0,0839/0,089	6,1

В числителе показаны расчетные данные, в знаменателе – экспериментальные.

Жесткость нитей на изгиб определялась по методике, изложенной в работе [8].

ВЫВОДЫ

Усовершенствована методика прогнозирования параметров строения ткани на станке и после отлежки, основанная на нелинейной теории изгиба. Учтено, что плотность ткани по утку в зоне формирования отлична от плотности, которую задает позитивный товарный регулятор. Среднее расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет 5,4 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельяченко Ж. В. Взаимосвязь технологических параметров ткачества и параметров строения вырабатываемых тканей / Ж. В. Мельяченко, С. Д. Николаев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1991. - № 1. - С. 47...50.
2. Слугин А. И. Разработка оптимальных технологических параметров изготовления тканей на основе вторичной арамидной пряжи/ Н. В. Егоров: дис. канд. техн. наук.: 05. 19. 02 – Москва, МГТУ им. Косыгина , 2008 г., 173 с.
3. Иноземцева Н. А. Разработка метода проектирования тканей по заданному порядку фазы строения/ Н. А. Иноземцева: дис. канд. техн. наук.: 05. 19. 02 – М, МГТА им. А. Н. Косыгина , 2010 г., 152 с.
4. Кашеева М. М. Разработка облегченных структур технических тканей из углеродных нитей и особенности их изготовления на ткацком станке/ М. М. Кашеева: дис. канд. техн. наук.: 05. 19. 02 – М, МГТА им. А. Н. Косыгина , 2009 г., 141 с.

5. Степанова Г. С. Анализ причинно – следственных связей в ткачестве // Автореф. дис. канд. техн. наук, МГТУ им. А. Н. Косыгина, М, 2006, 16 с.
6. Николаев С. Д. Проектирование технологии тканей заданного строения: монография/ С. Д. Николаев, О. В. Ковалева, А. А. Ликучева и др. – М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007.
7. Черняева О. Е. Совершенствование технологии изготовления технических тканей специального назначения из арамидных нитей на ткацких станках Dornier/ О. Е. Черняева: дис. канд. техн. наук.: 05. 19. 02 – Иваново, ИГТА , 2010 г., 185 с.
8. Егоров Н. В. Анализ структур огнезащитных тканей из парармидных нитей и особенности их изготовления на современном ткацком станке/ Н. В. Егоров: дис. канд. техн. наук.: 05. 19. 02 – Москва, МГТУ им. Косыгина , 2010 г., 182 с.
9. Щербаков В. П. Расчет силовых и геометрических параметров кулирного двухслойного трикотажа сложнокомбинированных переплетений/ В. П. Щербаков, Е. Н. Колесникова, Ю. Г. Горелова// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. - № 6. С. 89 – 94.
10. Попов Е. П. Теория и расчет гибких упругих стержней / Е. П. Попов – М. : Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит, 1986.- 296 с.
11. Степанов С. Г. Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей/ С. Г. Степанов: дис. ... докт. техн. наук.: 05. 19. 02 – Иваново, ИГТА , 2007 г., 443 с.

Grechukhin A. P., Zaitsev D. V.