

УДК 677. 024

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ НИТИ ПРИ ИЗГИБЕ*

**THE METHOD OF DETERMINING THE RIGIDITY
OF THE THREAD AT THE BEND**

А.П. ГРЕЧУХИН
A.P. GRECHUKHIN

(Костромской государственный технологический университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: niskstu@yandex.ru

В статье представлен способ определения жесткости текстильной нити при изгибе и дано его обоснование. Особенностью способа является наиболее близкое соответствие схемы изгиба реальной нити в ткани. Это достигается благодаря тому, что нить под нагрузкой заправляют между двух опор в виде натянутых нитей.

In article the way definition of rigidity of a textile thread is presented at a bend and its substantiation is given. Feature of a way is the closest conformity of the scheme of a bend of a real thread in a fabric. It is reached thanks to that under loading fill a thread between two support in the form of the tense threads.

Ключевые слова: текстильная нить, определение жесткости, изгиб, реальная нить.

Keywords: textile thread, determining the rigidity, the bend, real thread

Существуют различные способы определения жесткости нити при изгибе. Остановимся подробно на способах [1], [2], которые, на наш взгляд, являются наиболее перспективными для использования.

В изобретении [1] способ определения жесткости нити при изгибе предусматривает измерение действительного радиуса кривизны нити, фактического угла охвата

нити цилиндра, натяжения в обеих ветвях нити. При этом радиус кривизны нити, при котором проводятся эксперименты, наиболее приближен к реальному. Недостаток данного способа заключается только в том, что нить изгибается около иглы, диаметр которой сложно подобрать для соответствия условий изгиба реальной нити в ткани.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-00475 а с участием Селиверстова В.Ю.

В работе [2] при определении жесткости нити используется нелинейная теория изгиба [3], которая успешно используется при моделировании структуры ткани [4...11]. Такой способ определения жесткости необходимо использовать при расчетах с помощью нелинейной теории изгиба [3]. Однако здесь могут возникнуть ограничения при использовании указанного способа. Согласно данным авторов [2] рассчитаем кривизну, которой соответствовала форма изгибающихся нитей. Используя [3], получаем значение 0,035 1/мм.

Нами был проведен эксперимент по определению жесткости льняной пряжи 50 текс (БМВЛ) согласно методике авторов [2]. Отмечаем простоту получения и точность полученных данных. Результат: уточная пряжа имеет жесткость 0,066 Н·мм², основная 0,0496 Н·мм². Далее провели расчет льняной ткани [6] и оценили кривизну нити в ткани, используя формулы [3]. Кривизна составила для уточной пряжи 0,67 1/мм, для основной пряжи 0,81 1/мм, что более чем в 20 раз больше, чем значение кривизны, полученное в опытах по определению жесткости нити при изгибе (0,035 1/мм), а этот факт может существенно повлиять на результаты расчетов параметров строения ткани. Также нами исследована углеродная ткань (основа и уток 205 текс, плотности по основе 60 нит/10 см и утку 50 нит/10 см) и кривизна нити составила 0,371 1/мм, что также существенно выше кривизны по методу [3]. На основании этого можно сделать вывод о целесообразности разработки дополнительных способов определения жесткости нити при изгибе с получением экспериментальных данных при большой кривизне нити, сопоставимой с реальной нитью в ткани, а также с учетом продольной нагрузки на нить.

В связи с этим задача, поставленная перед нами, состоит в расчете жесткости нити на изгиб при ее продольно-поперечном изгибе около нити, имитирующей противоположную систему нитей в ткани, находящейся под действием растягивающих усилий [12]. При этом возможно учитывать переменные значения

жесткости при различных значениях растягивающих нагрузок и кривизны нити для расчета жесткости нити при изгибе. Нелинейная теория изгиба [3], используемая применительно к строению ткани в работах [4...11], предполагает в качестве допущения наличие сосредоточенной нагрузки в месте контакта нитей противоположных систем и отсутствие деформации сдвига. Такие же допущения мы принимаем и при расчетах жесткости нити при изгибе. Тогда схема изгиба нити согласно нашему способу выглядит следующим образом (рис. 1):

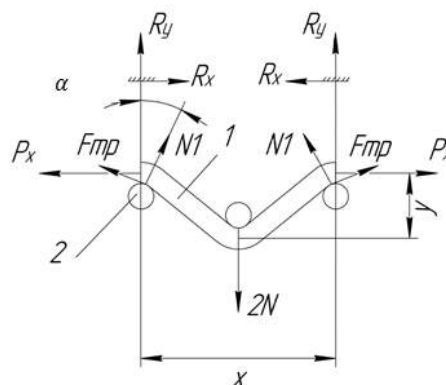


Рис. 1

Исследуемая нить 1 под нагрузкой P_x заправляется около крайних опор 2, представляющих собой натянутые нити. Расстояние между опорами подбирается сопоставимо исследуемой ткани. Нить заправляется таким образом, чтобы между крайними опорами 1 она представляла прямую линию (располагалась горизонтально). Горизонтальную нить перекидывают через блоки, расположенные на расстоянии от опор 2, нить натягивают путем подвешивания груза к ее концам и заправляют в прибор, позволяющий фиксировать натяжение (мы использовали прибор "Метротекс"). Затем на такой же нити, как и опоры 2, подвешивают груз $2N$ между опорами и нить 1 занимает положение согласно рис. 1. На исследуемую нить действует растягивающая сила P_x , сила нормального давления $N1$, сила трения $F_{тр}$. В опорах при этом возникают вертикальные реакции R_y и горизонтальные реакции R_x . В месте приложения нагрузки $2N$ возни-

кают такие же силы, как и в опорах 1 и 2 ($N_1, F_{тр}$). Поэтому расчетная схема приводится к виду [6] – то есть к такому виду, при котором рассчитывалась нить в ткани в работах [4...11]. Следует отметить, что полученные значения жесткости при изгибе будут справедливы только в расчетах, в которых схема изгиба соответствует вышеприведенной на рис. 1, и использование при расчетах строения ткани в рамках нелинейной теории изгиба [3], например, распределенной нагрузки, потребует уточнения расчетной схемы изгиба и учета в расчетах распределенной нагрузки.

Так как в опоре имеется горизонтальная составляющая реакции и сила трения, то результирующая продольная сила $R_{кx}$ будет рассчитываться.

Зная реакцию опоры R_x (предварительно измерив или рассчитав) и учитывая, что $R_y = N$, определяют силы $R_{кx}$, P и угол δ_0 по формулам:

$$R_{кx} = P_x - N_1 \sin(\alpha) + fN_1 \cos(\alpha), \quad (1)$$

где $R_{кx}$ – результирующая растягивающая сила; α – угол наклона силы N_1 к вертикали; f – коэффициент трения;

$$P = \sqrt{R_{кx}^2 + N^2}, \quad (2)$$

$$\frac{y}{2} = \ell \left(\frac{2k \cos f A}{\sqrt{\frac{P \ell^2}{H}}} \cos \delta_0 - \frac{2 \int_{fA}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2(f)} df}{\frac{fA}{\sqrt{\frac{P \ell^2}{H}}} - 1} \sin \delta_0 \right), \quad (8)$$

$$\frac{x}{4} = \ell \left(\frac{2 \int_{\phi A}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2(\phi)} d\phi}{\frac{\phi A}{\sqrt{\frac{P \ell^2}{H}}} - 1} \cos \delta_0 + \frac{2k \cos \phi A}{\sqrt{\frac{P \ell^2}{H}}} \sin \delta_0 \right), \quad (9)$$

где P – равнодействующая сил $R_{кx}$ и N ;

$$\delta_0 = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{R_{кx}}{N} \right), \quad (3)$$

где δ_0 – угол, определяющий направление оси абсцисс по отношению к равнодействующей продольной и вертикальной сил в начальной точке [6, рис. 1, 2].

Учитывая, что

$$R_x = N_1 \sin(\alpha) - fN_1 \cos(\alpha), \quad (4)$$

где N_1 – сила нормального давления между нитями, получаем:

$$R_{кx} = P_x - R_x. \quad (5)$$

Затем определяем высоту изгиба нити y , расстояние между опорами x .

Окончательно с учетом нелинейной теории изгиба [3] получаем систему уравнений для определения жесткости нити на изгиб H :

$$\sqrt{\frac{P \ell^2}{H}} = \int_{\phi A}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2(\phi)}}, \quad (6)$$

$$\delta_0 = 2 \arcsin(k \sin(\phi A)), \quad (7)$$

где ℓ – четверть длины изогнутой нити; φ_A – эллиптическая амплитуда в точке А; k – эллиптический модуль.

Здесь неизвестные величины φ_A , k , N , ℓ . Их получают путем решения системы уравнений.

Пример реализации заявленного способа экспериментально-расчетным путем.

Льняная нить 50 текс; $2N = 0,7$ Н; $P_x = 1,1$ Н. На основе анализа фотографии участка изгиба определяли $x = 2,00716$ мм ($x/4 = 0,50179$ мм); $y = 0,2356$ мм ($y/2 = 0,1178$ мм). Рассчитываем горизонтальную реакцию в опорах R_x . В нашем примере мы ее рассчитаем через угол α и силу трения $F_{тр}$. Определенные экспериментальные данные для расчета: $\alpha = 5,86^\circ$, f принимаем 0,3 [13], тогда $N_1 = 0,3414$ Н.

Зная N_1 , можем определить R_x :

$$R_x = fN_1 \cos(\alpha) - N_1 \cos(90 - \alpha) = 0,0696 \text{ Н.}$$

Тогда

$$\begin{aligned} R_{кх} &= P_x + R_x = 1,1603 \text{ Н,} \\ P &= \sqrt{R_{кх}^2 + N^2} = 1,212 \text{ Н,} \\ \delta\alpha &= \frac{\pi}{2} + \arctg\left(\frac{P_{кх}}{N}\right) = 161,37^\circ. \end{aligned}$$

Далее решаем систему уравнений (6)...(9) численными методами (возможно использование ПО Mathcad, Matlab).

Получаем следующие данные: $k = 0,9999$; $\varphi_A = 1,42433$; $N = 0,01469$ Н·мм²; $\ell = 0,5168$ мм; кривизна при этом составляет 2,651 1/мм.

Существует погрешность ввиду сложности определения коэффициента трения f . Оценим ее. При использовании коэффициента трения, например $f=0,2$, $N = 0,0168$ Н·мм². Изменение коэффициента трения в достаточно широком диапазоне дает разницу в расчете жесткости при изгибе 14,5%.

Таким образом, в отличие от авторов [2] при определении жесткости на изгиб мы используем значение интервала изгиба, которое приближенно соответствует реальному, а поверхность, около которых изгибается нить, имитирует противоположную систему нитей. Также мы учиты-

ваем продольную нагрузку на нить. Жесткость нити при изгибе по указанному способу значительно ниже, чем при использовании методики [2]. Однако следует отметить недостаток представленного способа – он трудоемок. В рамках представленного в настоящей статье способа возможна корректировка методики проведения экспериментов. Так, например, использовать натянутые нити, около которых изгибается исследуемая нить, целесообразно для нитей и пряж, поперечное сечение которых может сильно сопротивляться смятию. Это льняные и хлопчатобумажные нити, в частности. При определении жесткости при изгибе углеродных нитей необходимо учитывать, что их поперечное сечение слабо сопротивляется изгибу и поперечный диаметр при изгибе больше горизонтального диаметра в несколько раз, а если нити, около которых изгибается исследуемая нить, будут сильно натянуты, то это приведет к более сильному сопротивлению поперечника нити давлению со стороны огибаемой нити, а поэтому возможны погрешности при расчете жесткости нити на изгиб. Поэтому необходимы корректировки предложенного способа в зависимости от типа исследуемых нитей и пряж. Этому будут посвящены дальнейшие исследования. Также нами получены предварительные данные о значительном влиянии продольной силы на жесткость нити при изгибе в рамках предложенного способа определения жесткости нити при изгибе, чему будут посвящены следующие работы.

ВЫВОДЫ

1. Существующие способы определения жесткости нити при изгибе имеют ограниченную область применения. Это не позволяет в полной мере использовать их при расчетах параметров строения ткани. Необходимо определить и ограничить круг задач, которые решаются с помощью различных способов определения жесткости нити при изгибе.

2. Предложен способ определения жесткости нити при изгибе, позволяющий учитывать продольную нагрузку на нить и

использовать в качестве огибаемой поверхности реальную нить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 2219544 РФ. Способ определения жесткости текстильной нити при изгибе. Крутикова В.Р., Общанская И.В., Лустгартен Н.В. G01N33/36; заявлено 05. 08. 2002; опубликовано 20. 12. 2003, ФИПС.

2. *Егоров Н.В., Щербаков В.П.* Новый метод расчета жесткости нити при изгибе// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 5. С. 23...27.

3. *Попов Е.П.* Теория и расчет гибких упругих стержней. – М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит, 1986.

4. *Мельяченко Ж.В., Николаев С.Д.* Взаимосвязь технологических параметров ткачества и параметров строения выработываемых тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1991, № 1. С. 47...50.

5. *Николаев С.Д., Ковалева О.В., Лукучева А.А. и др.* Проектирование технологии тканей заданного строения.– М.: МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007.

6. *Гречухин А.П., Зайцев Д.В.* Совершенствование методики прогнозирования параметров строения ткани полотняного переплетения на основе нелинейной теории изгиба// Научный вестник Костромского государственного технологического университета [электронный ресурс], <http://vestnik.kstu.edu.ru/>.

7. *Гречухин А.П., Селиверстов В.Ю.* Трехмерная модель формы нити в однослойной ткани полотняного переплетения // Изв. вузов. Техноло-

гия текстильной промышленности. – 2011, № 5. С.62...64.

8. *Зайцев Д.В., Гречухин А.П.* Компьютерное трехмерное моделирование строения ткани полотняного переплетения на различных этапах формирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4. С. 85...88.

9. *Гречухин А.П., Селиверстов В.Ю.* Способ построения границ профиля нити в ткани с переменной плотностью расположения нитей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 1. С. 46...49.

10. *Зайцев Д.В., Гречухин А.П.* Реализация метода расчета параметров строения ткани полотняного переплетения на основе нелинейной теории изгиба// Научные труды молодых ученых КГТУ. – Кострома: КГТУ, 2012, вып. 13. С. 42...46.

11. *Зайцев Д.В., Гречухин А.П.* Расчет параметров строения тканей полотняного переплетения на основе нелинейной теории изгиба. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2012612560 от 11.03.2012.

12. *Гречухин А.П., Селиверстов В.Ю.* Способ определения жесткости текстильной нити при изгибе. Заявка на получение патента РФ № 2013125636 от 03.06.2013.

13. *Ямщиков С.В.* Развитие теории формирования ткани и методов прогнозирования технологических параметров ткачества: Дис. ... докт. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 1997.

Рекомендована кафедрой технологии проектирования тканей и трикотажа. Поступила 30.09.14.