

УДК [677.025.071.252.: 677.53]: 677.071.4

## ОРИЕНТАЦИЯ ПЕТЕЛЬ В ТРИКОТАЖЕ

## ORIENTATION OF LOOPS OF JERSEY

*В.П. ЩЕРБАКОВ, О.А. ГОНЧАРОВА, Т.И. ПОЛЯКОВА*  
*V.P. SCHERBAKOV, O.A. GONCHAROVA, T.I. POLYAKOVA*

(Московский государственный университет дизайна и технологии)  
 (Moscow State University of Design and Technology)  
 E-mail: victor.scherbackov2012@yandex.ru

*Дано решение вопроса о величине жесткостных характеристик, значениях крутящего и изгибающего моментов в нити, образующей петлю кулирного трикотажа равновесной структуры. Анализ устойчивости сводится к определению соотношений между натяжением нити в петле, жесткостью нити при кручении, жесткостью нити при изгибе, длиной участка нити, соединяющего игольную и платинную дуги, круткой нити.*

*The article answers a question about values of stiffness properties, torque and flexion moment in a yarn that forms a loop in equilibrium structured filling-knit. Stability analysis is narrowed down to relating the yarn tension in loop, yarn rigidity under torque, yarn rigidity under bending, length of a yarn section connecting a needle bridge and a sinker bridge, and yarn twist.*

**Ключевые слова:** нить, петля, устойчивость, кручение, жесткость, натяжение, крутящий момент.

**Keywords:** string, loop, stability, twisting, rigidity, tension, torque.

В классическом учебнике по технологии трикотажа А.С. Далидовича [1], в других книгах и статьях указывается на перекос петельных столбиков в трикотаже, выработанном из пряжи, как отмечают авторы, неуравновешенной крутки. Причиной перекоса, который трудно устраним, является повышенная крутка пряжи или нити. Здесь же показано, что для вязания следует применять пряжу (нить) с незначительной круткой. Величина этой незначительности,

граница крутки для трикотажной пряжи на теоретическом уровне до сих пор не определены. Конечно, в условиях производства требования к пряже для вязания давно сформулированы и хорошо известны как прядильщикам, так и трикотажникам.

Здесь дано решение вопроса о величине жесткостных характеристик, значениях крутящего и изгибающего моментов в нити, образующей петлю кулирного трикотажа равновесной структуры. Из работ в

области трикотажного производства известно, что основные характеристики полотна определяются преимущественно длиной нити в петле. Наиболее распространенным в нашей стране является геометрический метод, разработанный А.С. Далидовичем. Взаимосвязь между длиной нити в петле  $\ell_{\text{петли}}$ , петельным шагом  $A$ , высотой петельного ряда  $B$  и диаметром нити  $d$  дана им в виде

$$\ell_{\text{петли}} = \frac{\pi}{2} A + 2B + \pi d.$$

И.И. Шалов [1] отметил, что при всех допущениях и условностях подход А.С. Далидовича является наиболее универсальным. Для времени, когда разрабатывался этот метод (1933 – 1948 гг.), это, может быть, и было верным. В последние годы появились геометрические модели, основанные на описании формы кривой различными функциями: нормальная кривая распределения (Е.Ю. Шустов), различные плоские кривые, приведенные в известной книге А.А. Савелова (Г.И. Чистобородов и др.). Эти модели вообще лишены какого-то ни было физического смысла. Сейчас задачи, описывающие механизм явлений в текстильных полотнах методами нелинейной механики, могут быть решены на ЭВМ без особых затруднений. Нами [2] на основе теории упругих нитей определена форма трикотажной петли, выраженная в эллиптических функциях, и разработан метод расчета ее параметров (рис. 1).

Показано, что стремление деформированной при вязании упругой нити восстановить естественную форму приводит к возникновению усилий, действующих в области контакта смежных петель. Результатирующей распределенных здесь сил является сила  $P$ , которая так же, как и сила трения между нитями контактирующих петель, есть результат взаимодействия двух соприкасающихся петель. В ходе решения вычисляются значения силы  $P$ , угла  $\gamma$  между  $P$  и направлением петельного ряда, длины  $\ell$  нити между игольной и платинной дугами (этот участок петли обычно называют палочкой, хотя его форма не

прямолинейная, а, как уже отмечалось, выражается в эллиптических функциях). Величина  $P$  определяет натяжение нити длиной  $\ell$  в петле. Только эта или подобные ей модели петли могут быть одной из основ решения вопроса о перекосе петельных столбиков.

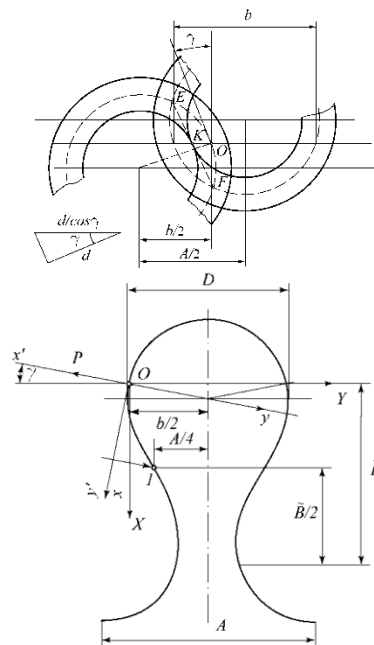


Рис. 1

Для ясности изложения рассмотрим форму и силовые факторы в трикотажной петле на примере двух видов трикотажа:

- 1) одинарный трикотаж из шерстяной пряжи 31 текс;
- 2) биоактивный трикотаж комбинированной структуры на базе двуластика и производной глади из полиэфирных нитей 11 текс ( $f$  128).

Направление, определяемое углом  $\gamma$ , и величина силы  $P$  неизвестны. В силу симметрии петли длина нити в ней [2]:

$$L = 4 \left[ \frac{\ell}{2} + \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) \frac{D}{2} \right]. \quad (1)$$

Здесь  $\ell / 2$  – длина упругой линии  $O1$ ,  $D$  – диаметр окружности, являющейся формой игольной и платинной дуг. Величины  $\ell$ ,  $\gamma$ ,  $D$  неизвестны и подлежат определению. Для вычисления пяти неизвестных  $P$ ,  $\ell$ ,  $k$ ,  $\alpha_0$ ,  $\gamma$  запишем пять уравнений [2]:

$$k \sin \alpha_0 = 0,707, F(k) - F(\alpha_0) = \omega,$$

$$\frac{\frac{B}{2} + \frac{H \sin \gamma}{2k\sqrt{PH} \cos \alpha_0}}{\ell} = \frac{2}{\omega} k \cos \alpha_0 \cos \gamma + \left[ 1 - \frac{2}{\omega} (E(k) - E(\alpha_0)) \right] \sin \gamma,$$

$$\frac{d}{2\ell \cos \gamma} = \left[ 1 - \frac{2}{\omega} (E(k) - E(\alpha_0)) \right] \cos \gamma - \frac{2}{\omega} k \cos \alpha_0 \sin \gamma,$$

$$A = 2 \left( \frac{H \cos \gamma}{k\sqrt{PH} \cos \alpha_0} - \frac{d}{\cos \gamma} \right). \quad (2)$$

Здесь через  $F(\alpha)$  обозначен эллиптический интеграл первого рода:

$$F(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}},$$

через  $E(\alpha)$  – эллиптический интеграл второго рода:

$$E(\alpha) = \int_0^\alpha \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha} d\alpha.$$

Решение системы (2) с учетом пространственной формы петли трикотажа из шерстяной пряжи дает: сила контактного взаимодействия петель  $P = 1,977$  сН, длина упругой линии  $O1 = \ell/2 = 1,5$  мм, угол  $\gamma = 0,1$ .

В ходе решения вычислена длина участка петли (на рис. 1 – это двойная длина упругой линии  $O1$ ), на концах которого приложены натяжение нити  $T$  и крутящие моменты  $M_{кр}$  (рис. 2).

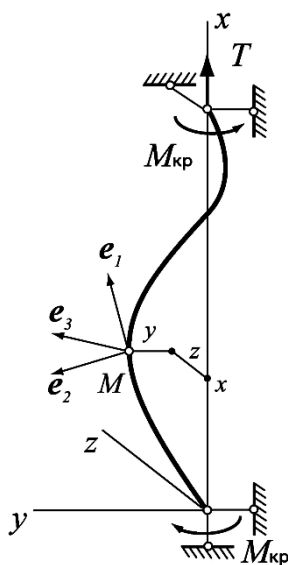


Рис. 2

Натяжение нити между игольной и платинной дугами определяется упругими свойствами нити, геометрией петли и находится с помощью полученного решения системы (2):

$$T = P \sin \gamma. \quad (3)$$

Внутренний крутящий момент определяется круткой пряжи  $K$  и жесткостью при кручении  $B$ . Относительный угол закручивания, то есть угол взаимного поворота двух сечений, отнесенный к расстоянию между ними, равен  $\theta = 2\pi K$ . Крутящий момент в пряже  $M_y = B\theta$ . Определение жесткости нити при кручении проведено методом крутильного динамометра. Идея метода основана на сравнении крутящего момента эталонного элемента с равновесным моментом исследуемой нити.

Вопрос об устойчивости прямолинейного упругого стержня, находящегося под действием приложенных к его концам сжимающих сил и скручивающих моментов, был рассмотрен Гринхиллом еще в 1883 г. Предполагая концы стержня опертыми, Гринхилл нашел, что критическая длина стержня  $\ell$ , за которой прямолинейная форма теряет устойчивость, определяется равенством:

$$\frac{M_{кр}^2}{4H^2} + \frac{P}{H} = \frac{\pi^2}{\ell^2},$$

где  $P$  – сжимающая сила;  $M$  – крутящий момент;  $H$  – жесткость стержня при изгибе. В зарубежной и отечественной литературе до сих пор для оценки устойчивости упругой нити используется условие, полученное

этим известным автором. Е.Л. Николаи [3] получил уточненное решение задачи об устойчивости прямолинейной формы равновесия сжатого и скрученного стержня. Хотя в этой работе рассмотрен сжатый стержень, исходные дифференциальные уравнения в форме уравнений Кирхгофа и полученное решение распространены и на растянутый стержень. Показано [2], [4], что решения по точной и приближенной теориям, то есть обычным линейным уравнениям сопротивления материалов, пригодны для изучения устойчивости нити при кручении. Для критического крутящего момента получено выражение:

$$M_{\text{крит}} = 2\sqrt{TH + \frac{\pi^2 H^2}{\ell^2}}. \quad (4)$$

Сравнивая величины внутреннего крутящего момента в пряже  $M_y$  и критического крутящего момента  $M_{\text{крит}}$ , получаем

$$M_{\text{крит}} = 2\sqrt{TH + \frac{\pi^2 H^2}{\ell^2}} = 2\sqrt{0,199 \cdot 0,2 + \frac{\pi^2 \cdot 0,2^2}{(2 \cdot 1,5)^2}} = 0,579 \text{ сН} \cdot \text{мм}.$$

Верхней границей крутки, обеспечивающей равновесную структуру трикотажа, является

$$K_{\text{крит}} = \frac{M_{\text{крит}}}{2\pi B}. \quad (6)$$

В данном случае  $K_{\text{кр}} = 961 \text{ кр/м}$ .

Что же касается биоактивного трикотажа из полиэфирных нитей 11 текс, то в области малых круток химических нитей прямолинейная форма равновесия всегда устойчива.

Здесь имеем:

$$M_{\text{крит}} = 0,727 \text{ сН} \cdot \text{мм} \text{ при } M_y = 0,012.$$

Особенностью текстильных нитей является увеличение их жесткостных характеристик, особенно жесткости при кручении, по мере увеличения крутки.

условие прямолинейной формы равновесия:

$$\sqrt{TH + \frac{\pi^2 H^2}{\ell^2}} \leq \pi BK. \quad (5)$$

Таким образом, анализ устойчивости сводится к определению таких соотношений между натяжением  $T$  нити в петле, жесткостью нити при кручении  $B$ , жесткостью нити при изгибе  $H$ , длиной участка нити  $\ell$ , соединяющего игольную и платинную дуги, круткой  $K$  нити, при которых выполняется условие (5).

В случае шерстяной пряжи с круткой  $K = 560$  кручений на метр опытное значение крутящего момента равно  $M_y = 0,565 \text{ сН} \cdot \text{мм}$ . При натяжении растянутого и скрученного участка петли длиной  $\ell = 1,5 \text{ мм}$  величина критического крутящего момента составляет:

Нами [5] для аппроксимации кривой принята экспоненциальная функция:

$$B(K) = b_0 e^{bK}. \quad (7)$$

С учетом изменения жесткости  $B$  по мере изменения крутки все критические характеристики устойчивости нити должны быть скорректированы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. Технология трикотажного производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.
2. Щербаков В.П. Прикладная и структурная механика волокнистых материалов. – М.: «Тисо Принт», 2013.
3. Николаи Е.Л. Труды по механике. – М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1955.
4. Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. – М.: Наука, 1996.

5. Щербаков В.П., Заваруев Н.В., Полякова Т.И., Панин А.И., Гончарова О.А. Теория и критерии устойчивости нити при вязании // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №3. С. 63...69.

#### REFERENCES

1. Shalov I.I., Dalidovich A.S., Kudrjavin L.A. Tehnologija trikotazhnogo proizvodstva. – M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1984.

2. Shherbakov V.P. Prikladnaja i strukturnaja mehanika voloknistyh materialov. – M.: «Tiso Print», 2013.

3. Nikolai E.L. Trudy po mehanike. – M.: Izd-vo tehniko-teoreticheskoj literatury, 1955.

4. Feodos'ev V.I. Izbrannye zadachi i voprosy po soprotivleniju materialov. – M.: Nauka, 1996.

5. Shherbakov V.P., Zavaruev N.V., Poljakova T.I., Panin A.I., Goncharova O.A. Teorija i kriterii ustojchivosti niti pri vjazanii // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №3. S. 63...69.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий. Поступила 31.03.15.

---