

УДК 677.017

**ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПОЛОТЕН ПРИ ИЗГИБЕ
НА СИЛУЭТНЫЕ ЛИНИИ ФОРМЫ
ЭЛЕМЕНТОВ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**THE IMPACT OF BENDING STIFFNESS
OF FABRICS ON THE SILHOUETTE LINE
OF THE ELEMENTS FORM OF CLOTHING**

С.В. БОЙКО, М.А. МАРИНКИНА, Л.Л. ЧАГИНА, Н.А. СМИРНОВА
S.V. BOYKO, M.A. MARINKINA, L.L. CHAGINA, N.A. SMIRNOVA

(Костромской государственный технологический университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: info@kstu.edu.ru

Предложен расчетный метод прогнозирования конфигурации силуэтных линий формы элементов швейных изделий, базирующийся на использовании теории больших перемещений при плоском изгибе тонких упругих

деталей, основанный на численном решении нелинейного дифференциального уравнения упругой линии.

The article offers the settlement prediction method of the silhouette line of the elements form of clothing configuration. The method is based on the use of the theory of large displacements in the thin elastic details plane bending, on the numerical decision of nonlinear differential equation of the elastic line.

Ключевые слова: жесткость при изгибе, нелинейная теория изгиба, силуэтные линии формы швейных изделий, прогнозирование.

Keywords: bending stiffness, nonlinear bending theory, the silhouette line of clothing form, the prediction.

Создание заданной на эскизе формы и объемно-пространственного решения модели изделия является одной из наиболее сложных задач в процессе ее проектирования и изготовления. Для создания формы швейных изделий необходимы не только конструктивные приемы и технологические методы обработки, но и определенные свойства материалов [1...6]. Из свойств полотен жесткость при изгибе является значимым критерием, определяющим возможность получения заданной формы изделия.

Плоскостное зрительное восприятие пространственной формы, ограниченной контуром, называют силуэтом изделия. Для прогнозирования конфигурации силуэтных линий формы элементов изделий на стадии проектирования в зависимости от значений жесткости полотен при изгибе предлагается расчетный метод, который реализуется на базе разработанной Е.П. Поповым нелинейной теории изгиба упругих стержней [7].

Используя точную теорию упругого изгиба тонкого стержня (полоски), предполагается, что материал работает упруго (то есть подчиняется закону Гука). За счет малой толщины полоски в плоскости изгиба по сравнению с длиной этой полоски получаются большие, сравнимые с ее длиной, перемещения концевых точек при изгибе. В то же время в любом малом объеме этой полоски (с линейными размерами порядка ее толщины) все деформации остаются малыми. Поскольку при малых внутренних упругих деформациях достигаются боль-

шие перемещения стержня конечной длины, к подобному объекту применим термин "стержень малой жесткости". Данная теория справедлива при любой другой форме поперечного сечения стержня, если имеет место его изгиб в одной плоскости [7].

В рассматриваемом случае стержень имеет вид тонкой полоски с поперечным сечением малой толщины h и ширины b , обеспечивающей устойчивость плоской формы изгиба. Жесткость H стержня при изгибе в произвольном сечении определяется:

$$H = EJ, \quad (1)$$

где E – модуль упругости (модуль Юнга); J – осевой момент инерции площади поперечного сечения.

В каждом малом элементе стержня возникают малые деформации, поэтому на базе теории упругости применимо точное уравнение упругого равновесия при плоском изгибе криволинейного стержня в виде:

$$\mu - \mu_0 = M / H, \quad (2)$$

где M – внутренний изгибающий момент в данном сечении стержня; μ , μ_0 – кривизна в определенной точке упругоизогнутой продольной оси стержня и начального ее очертания.

Для упругоизогнутой продольной оси стержня принимается термин "упругая линия" [7]. Для исходного прямого стержня уравнение упругой линии имеет вид:

$$\mu = M / H, \quad (3)$$

Выражение кривизны в линейной теории изгиба стержней вследствие незначительности перемещений упругой линии принимается:

$$\mu \approx d^2y/dx^2. \quad (4)$$

Для построения уточненной теории упругого изгиба точное выражение кривизны продольной оси стержня используется в виде:

$$\mu \approx d\vartheta / ds, \quad \mu_0 \approx d\Theta/ds, \quad (5)$$

где ϑ , Θ – углы наклона касательной в текущей точке соответственно упругой линии и начальной кривой; s – длина дуги упругой линии (и начальной кривой), отсчитанная от некоторой точки, принятой за начало.

Длина дуги продольной оси стержня принимается неизменной в процессе изгиба. Начальная и конечная точки упругой линии обозначаются соответственно 0 и 1.

Уравнение равновесия упругой линии с учетом (2) и (5) при больших перемещениях и плоском изгибе преобразуется:

$$d\vartheta/ds - d\Theta/ds = M / H. \quad (6)$$

Общее уравнение равновесия сил для всех рассматриваемых задач точной теории упругого изгиба тонкого стержня в плоскости при больших перемещениях в процессе изгиба, предлагаемое Е.П. Поповым, имеет вид:

$$dM/ds = -P_c \sin(\vartheta + \delta_c) - P_q \sin(\vartheta + \delta_q) + m. \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в уравнение равновесия упругой линии (6) и дифференцируя (7) по s , при этом принимая жесткость H постоянной по длине ℓ стержня:

$$d^2\vartheta/ds^2 - d^2\Theta/ds^2 = -P_c/H \sin(\vartheta + \delta_c) - P_q/H \sin(\vartheta + \delta_q) + m/H. \quad (8)$$

Обозначив:

$$\beta_c^2 = P_c \ell^2 / H, \quad \beta_q^2 = P_q \ell^2 / H, \\ \zeta_c = \vartheta + \delta_c, \quad \zeta_q = \vartheta + \delta_q. \quad (9)$$

Точное уравнение равновесия упругой линии (8) в общем случае в безразмерном виде преобразуется:

$$\ell^2 d^2\vartheta/ds^2 = \beta_c^2 \sin \zeta_c - \beta_q^2 \sin \zeta_q + m \ell^2 / H + \ell^2 d^2\Theta/ds^2. \quad (10)$$

Уравнение (10) может использоваться для решения задач сколь угодно сильного упругого изгиба прямых и криволинейных тонких стержней в одной плоскости [7].

Для разрабатываемого расчетного метода принимается, что консольный стержень (полоска) изгибается в одной плоскости под действием сил тяжести, при этом начальная кривизна стержня μ_0 равна нулю.

Точное уравнение равновесия упругой линии сильно изогнутого стержня для рассматриваемого случая имеет вид:

$$d^2\vartheta/ds^2 = -P_q \ell^2 / H \sin(\vartheta + \delta_q) + d^2\Theta/ds^2, \quad (11)$$

где H – жесткость стержня при изгибе; $s = s^* / \ell$ (s^* – текущая длина дуги упругой линии, ℓ – длина стержня); $\Theta(s)$ – угол наклона касательной к исходному очертанию стержня (полоски); $d\Theta/ds = f(s)$ – начальная кривизна стержня; $\vartheta(s)$ – угол наклона упругой линии изогнутого стержня; $P_q(s, \vartheta)$ – сила тяжести текущего участка стержня; $\delta_q(s, \vartheta)$ – угол наклона линии действия силы, определяемый от направления P_q , к оси x против часовой стрелки.

Для решения рассматриваемой задачи по определению линейных и угловых перемещений при изгибе, а также нахождения очертания упругой линии в соответствии с условиями экспериментального исследования жесткости при изгибе текстильного полотна на приборе ПТ-2, имеем консольно закрепленную полоску, изгибающуюся под действием сил тяжести (рис. 1). Параллельные силы P приложены на равных расстояниях друг от друга перпендикулярно первоначальному расположению объекта исследования.

Дифференциальное уравнение упругой линии для каждого L -го участка принимает вид:

$$\frac{d^2\vartheta}{ds^2} = -(n+1-L) \frac{P\ell^2}{H} \sin(\vartheta + \Theta), \quad \frac{L-1}{n} < s \leq \frac{L}{n}. \quad (12)$$

Принимаются краевые условия второго рода: $\vartheta = 0$ при $s = 0$, $d\vartheta/ds = 0$ при $s = 1$. Помимо этого должны выполняться условия непрерывности упругой линии в точках стыков участков:

$$(\vartheta)_{\text{лев}} = (\vartheta)_{\text{прав}}, \quad (d\vartheta/ds)_{\text{лев}} = (d\vartheta/ds)_{\text{прав}}.$$

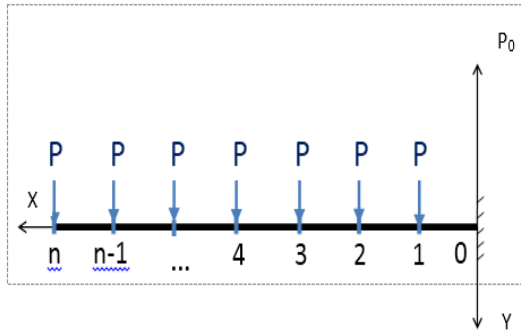


Рис. 1

Для решения нелинейного дифференциального уравнения (12) использовали метод численного решения на ЭВМ с применением пакета прикладных программ в среде MATLAB. Программа реализует возможность визуального представления и сохранения в виде графика очертания упругой линии (текстильного полотна) в соответствии с условиями экспериментального исследования жесткости на изгиб консольным методом. На рис. 2 показаны очертания упругой линии (пробы из льняного трикотажного полотна прессового переплетения), полученные с использованием расчетного метода, где кривая 1 – проба без шва; 2 – проба со швом.

Используя расчетный метод определения конфигурации упругой линии, изгибающейся под действием силы тяжести, можно определить проекции геометрического очерка элементов изделия различной длины. Графически результаты расчета в угловых координатах представлены на рис. 3 (1,2,3,4 – элементы изделия без шва длиной соответственно 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 м; 5, 6, 7, 8 – элементы изделия со швом длиной соответственно 0,4; 0,3; 0,2; 0,1 м).

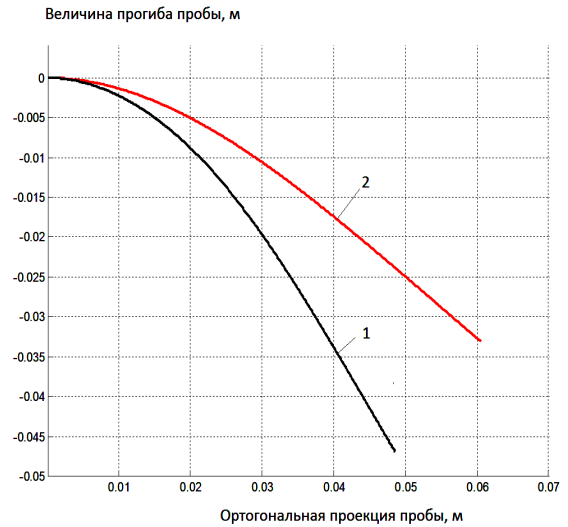


Рис. 2

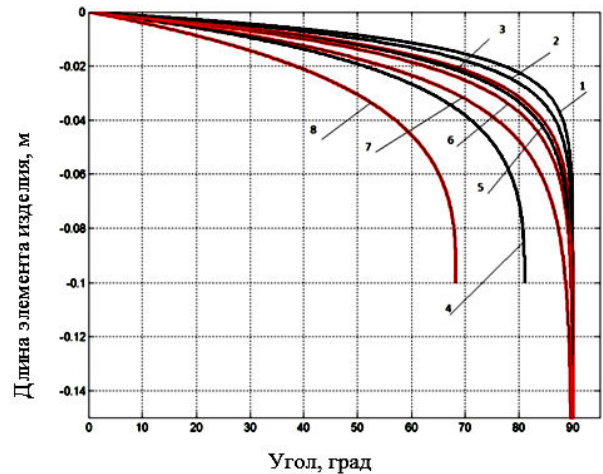


Рис. 3

ВЫВОДЫ

1. Для определения очертания линии изгиба полотна под действием силы тяжести в условиях больших перемещений предложен метод, основанный на интегрированном учете упругой изгибной деформации совокупности элементов, составляющих общую длину полотна.

2. Численное решение системы нелинейных дифференциальных уравнений обеспечивает реализацию возможности визуального представления очертания упругой линии (текстильного полотна) в

соответствии с условиями испытания жесткости материала при изгибе консольным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузов Б.А., Румянцева Г.П. *Материалы для одежды. Ткани.* – М.: Форум, 2012.
2. Козлова Т.В., Рывинская Л.Б., Тимашева З.Н. *Моделирование и художественное оформление женской и детской одежды.* – М.: Легпромбытиздат, 1990.
3. Чагина Л.Л. Влияние свойств трикотажного полотна на конструктивные характеристики изделия // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2014, № 2. С.91...95.
4. Чагина Л.Л. Экспериментальное исследование жесткости при изгибе льняных трикотажных полотен по различным методикам // *Вестник Костромского гос. технолог. ун-та.* – Кострома, 2014, №1 (32). С.36...41.
5. Чагина Л.Л., Смирнова Н.А., Вершинина А.В. *Исследование и учет деформационных свойств при проектировании одежды из льняных трикотажных полотен* // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2011, № 1. С. 10...14.
6. Чагина Л.Л., Смирнова Н.А. Влияние свойств исходных компонентов пакета одежды на качество готового изделия // *Вестник Костромского гос. технолог. ун-та.* – Кострома, 2008, № 17. С.45...48.
7. Попов Е.П. *Теория и расчет гибких упругих стержней.* – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.

REFERENCES

1. Buzov B.A., Rumjanceva G.P. *Materialy dlja odezhdy. Tkani.* – M.: Forum, 2012.
2. Kozlova T.V., Rytvinskaja L.B., Timasheva Z.N. *Modelirovanie i hudozhestvennoe oformlenie zhenskoj i detskoj odezhdy.* – M.: Legprombytizdat, 1990.
3. Chagina L.L. Vlijanie svojstv trikotazhnogo polotna na konstruktivnye harakteristiki izdelija // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2014, № 2. S.91...95.
4. Chagina L.L. Jeksperimental'noe issledovanie zhestkosti pri izgibe l'njanyh trikotazhnyh poloten po razlichnym metodikam // *Vestnik Kostromskogo gos. tehnolog. un-ta.* – Kostroma, 2014, № 1 (32). S.36...41.
5. Chagina L.L., Smirnova N.A., Vershinina A.V. *Issledovanie i uchet deformacionnyh svojstv pri proektirovanii odezhdy iz l'njanyh trikotazhnyh poloten* // *Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti.* – 2011, № 1. S. 10...14.
6. Chagina L.L., Smirnova N.A. Vlijanie svojstv ishodnyh komponentov paketa odezhdy na kachestvo gotovogo izdelija // *Vestnik Kostromskogo gos. tehnolog. un-ta.* – Kostroma, 2008, № 17. S.45...48.
7. Popov E.P. *Teorija i raschet gibkih uprugih stержnej.* – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986.

Рекомендована кафедрой дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров. Поступила 27.02.15.