

УДК 677.054.756.001.5

**РАСЧЕТ СТРЕЛЫ ПРОГИБА ГАЛЕВА  
ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОСНОВНОЙ НИТЬЮ  
ПРИ ТКАНЕОБРАЗОВАНИИ**

*Л.А. СЕКОВАНОВА, В.А. МАРТЫШЕНКО*

(Костромской государственной технологической университет)

Для оценки интенсивности воздействия галев на основную нить в [1] использовалась величина суммарного пути трения нити относительно глазка за период образования одного элемента ткани. Величина пути трения зависит от величины горизонтального смещения глазка галева.

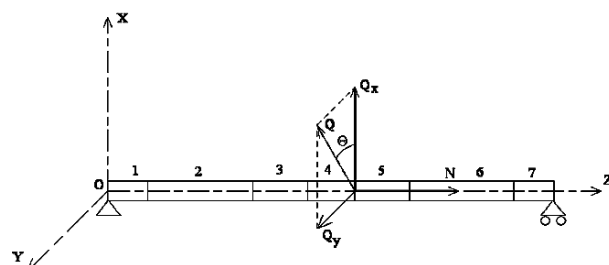
При зевобразовании и прибое глазок галева, взаимодействуя с движущейся нитью, отклоняется от своего вертикального положения на некоторую величину. В результате такой "игры" натяжения в передней и задней ветвях зева несколько выравниваются, путь трения нити через глазок уменьшается. В связи с этим для определения величины пути трения нужно знать величину смещения глазка. Глазок может смещаться за счет выбора горизонтального зазора между ушком галева и галевоносителем, а также за счет изгиба галева.

Будем рассматривать квазистатический режим взаимодействия нити с галевом в процессе вращения главного вала.

Взаимодействуя с основной нитью в процессе тканеобразования, галево подвергается воздействию контактных сил: изгибающей силы  $\bar{Q} = \bar{Q}(\varphi)$  и продольной растягивающей силы  $\bar{N} = \bar{N}(\varphi)$ , которые ввиду малости участка контакта можно считать сосредоточенными и приложенными в центре тяжести поперечного сечения. Силы  $Q$  и  $N$  вычисляются как горизонтальная и вертикальная проекции равнодействующей сил натяжения в передней

и задней ветвях зева и являются функциями угла поворота главного вала  $\varphi$ .

Будем рассматривать галево как двухопорный стержень прямоугольного сечения или прямоугольного сечения с ослаблениями (глазок и ушки). Поместим начало системы координат в точку пересечения главных осей инерции поперечного сечения, оси  $Ox$  и  $Oy$  направим вдоль главных осей инерции, ось  $Oz$  – вдоль продольной оси галева (рис.1 – схема силового нагружения галева).



Поскольку изгибающая сила  $\bar{Q}$  расположена в плоскости  $xOy$  под углом  $\theta$  к оси  $Ox$ , то изгиб происходит по двум осям под действием проекций  $Q_x$  и  $Q_y$  этой силы на оси  $Ox$  и  $Oy$  соответственно. Если  $V_x$  и  $V_y$  изгибы галева в направлении координатных осей, то изгиб в направлении действия силы  $\bar{Q}$  будет равен

$$V = V_y \cos \theta + V_x \sin \theta, \text{ если } Q > 0$$

и

$$V = V_y \sin(\pi - \theta) + V_x \cos(\pi - \theta), \text{ если } Q < 0.$$

Для вычисления стрелы прогиба галева  $V$  в точке приложения сил  $\bar{Q}$  и  $\bar{N}$ , взятых для данного угла поворота главного вала, воспользуемся методом автоматизированного расчета уравнений состояния стержневых систем сложной конструкции [2].

Данный расчет можно выполнить, основываясь на принципе независимости действия сил. Предполагается, что влиянием деформаций, вызванных одной из приложенных сил, на результаты действия остальных сил можно пренебречь. Это предположение справедливо при малых деформациях, что имеет место в рассматриваемой задаче для технологически допустимых режимов ткачества [3].

Разобьем галево на участки 1...7, на каждом из которых оно имеет одно и то же поперечное сечение и, следовательно, постоянную жесткость (рис.1). При вычислении прогиба в направлении оси  $Ox$  на участках 1...4 действуют две силы – изгибающая  $\bar{Q}_x$  и растягивающая  $\bar{N}$ , на участках 5...7 – только изгибающая  $\bar{Q}_x$ .

В результате получим стержневую систему, участки которой соединены между собой жестко. Будем считать систему  $XOZ$  глобальной системой координат, а систему из участков – локальной системой координат.

Для расчета величины прогиба галева в направлении оси  $Ox$  (или  $Oy$ ) нужно:

– составить матрицу состояния каждого элемента системы в локальной системе координат;

– составить матрицу состояния всей стержневой системы в глобальной системе координат;

– составить и решить уравнение активного состояния системы соединенных элементов и сформировать вектор узловых перемещений узлов системы.

Применим общий метод определения матрицы состояния элемента стержневой

системы, изложенный в [2], для случая растянуто-изогнутого элемента.

Воспользуемся известным дифференциальным уравнением упругой линии при прямом изгибе для малых перемещений:

$$\frac{d^2V}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости материала галева;  $I_x$  – осевой момент инерции.

Пока ось стержня прямолинейна, продольная сила вызывает только растяжение, как только она изогнулась на величину  $V$ , растягивающая сила  $N$  создает в сечении  $z$  изгибающий момент. Следовательно, в уравнении (1) полный изгибающий момент будет складываться из изгибающего момента  $M_x(Q)$  от поперечной нагрузки  $Q$  и изгибающего момента  $M_x(N) = VN$  от продольной растягивающей силы  $N$ .

Уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d^2V}{dz^2} = \frac{VN + M_x}{EI_x}. \quad (2)$$

Дифференцируя дважды уравнение (2) по переменной  $z$  и учитывая, что  $\frac{d^2M_x}{dz^2} = q_y$  (где  $q_y$  – интенсивность поперечной нагрузки, приведенная к плоскости  $uOz$  и изменяющаяся по линейному закону  $q_y = q_{y1}\left(1 - \frac{z}{\ell}\right) + q_{y2}\frac{z}{\ell}$ ;  $q_{y1}$ ,  $q_{y2}$  – нагрузки в первом и втором узлах;  $\ell$  – длина элемента), получим дифференциальное уравнение упругой линии растянуто-изогнутого стержня:

$$\frac{d^4V}{dz^4} - k^2 \frac{d^2V}{dz^2} = \frac{q_{y1}}{EI_x} \left(1 - \frac{z}{\ell}\right) + \frac{q_{y2}}{EI_x} \frac{z}{\ell}. \quad (3)$$

В уравнении (3) обозначено:  $k^2 = \frac{N}{EI_x}$ .

Общее решение уравнения имеет вид:

$$V = C_1 e^{kz} + C_2 e^{-kz} + C_3 z + C_4 + \frac{q_{y1}}{k^2 EI_x} \left( \frac{z^3}{6\ell} - \frac{z^2}{z} \right) - \frac{q_{y2} z^3}{6k^2 EI_x \ell}. \quad (4)$$

Краевые кинематические условия задачи:

1) линейное перемещение узла 1 при  $z=0$  равно  $V_1$  ;

2) угловое перемещение узла 1 при  $z=0$  равно  $\frac{dV}{dz} = \varphi_{x1}$  ;

3) линейное перемещение узла 2 при  $z=\ell$  равно  $V_2$  ;

4) угловое перемещение узла 2 при  $z=\ell$  равно  $\frac{dV}{dz} = \varphi_{x2}$  .

Краевые статические условия задачи:

$$1) EI_x \left( \frac{d^3 V}{dz^3} - k^2 \frac{dV}{dz} \right) = F_{y1} \text{ при } z=0;$$

$$2) EI_x \left( \frac{d^2 V}{dz^2} \right) = M_{x1} \text{ при } z=0;$$

$$3) EI_x \left( \frac{d^3 V}{dz^3} - k^2 \frac{dV}{dz} \right) = -F_{y2} \text{ при } z = \ell;$$

$$4) EI_x \left( \frac{d^2 V}{dz^2} \right) = -M_{x2} \text{ при } z = \ell.$$

Подчиняя решение (4) краевым кинематическим и статическим условиям зада-

чи, получим систему матричных уравнений:

$$\begin{cases} W = AC + BG \\ F = SC + DG \end{cases}, \quad (5)$$

где  $W = (V_1, \varphi_{x1}, V_2, \varphi_{x2})^T$  – вектор узловых перемещений;  $F = (F_{y1}, M_{x1}, F_{y2}, M_{x2})^T$  – вектор узловых силовых факторов;  $G = (q_{y1}, q_{y2})^T$  – вектор узловых интенсивностей;  $C = (C_1, C_2, C_3, C_4)^T$  – вектор постоянных интегрирования;  $A, B, S, D$  – матрицы числовых коэффициентов.

Решая систему (5) с целью исключения вектора постоянных интегрирования  $C$  и учитывая, что на галево действуют только сосредоточенные силы, то есть вектор  $G = 0$ , получим уравнение состояния элемента системы  $F = SA^{-1}V$  или  $F = MV$ , где  $M = SA^{-1}$  – матрица состояния элемента системы:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ k & -k & 1 & 0 \\ e^{k\ell} & e^{-k\ell} & \ell & 1 \\ ke^{k\ell} & -ke^{-k\ell} & 1 & 0 \end{pmatrix} S = EI_x \begin{pmatrix} 0 & 0 & -k^2 & 0 \\ k^2 & k^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k^2 & 0 \\ -k^2 e^{k\ell} & -k^2 e^{-k\ell} & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Определитель матрицы  $A$  равен :  $|A| = 2k(2(1 - \text{ch}(p)) + \text{psh}(p))$ , где  $p = k\ell$ ;

$A^{-1}$  – матрица, обратная матрице  $A$ , которая является невырожденной при  $p \neq 0$ .

Выполнив умножение матриц, получим матрицу состояния элемента системы в локальной системе координат:

$$M = \frac{k^2 EI_x}{a} \begin{pmatrix} ksh(p) & \frac{ch(p)-1}{sh(p)-pch(p)} & -ksh(p) & \frac{ch(p)-1}{p-sh(p)} \\ 1-ch(p) & k & ch(p)-1 & k \\ -ksh(p) & 1-ch(p) & ksh(p) & 1-ch(p) \\ ch(p)-1 & \frac{p-sh(p)}{k} & 1-ch(p) & \frac{sh(p)-pch(p)}{k} \end{pmatrix},$$

где  $a = 2(1 - ch(p)) + ph(p)$ .

Матрица состояния  $M$  используется для вычисления стрелы прогиба галева по деформационной схеме стержня, имеющего несколько участков, отличающихся жесткостью, длиной и характером силового нагружения.

Изложенный метод расчета стрелы прогиба галева является частью математической модели процесса взаимодействия нити с галевом, реализованной в виде программы для ЭВМ [3]. Эта программа позволяет для каждого угла поворота главно-

го вала  $\varphi$  производить корректировку параметров процесса с учетом величины отклонения глазка и пути трения нити, вычисленных на предыдущем этапе, то есть для угла  $(\varphi - 1)$ . Поэтому для технологически допустимых значений входных параметров (заправочное натяжение, величина прибойной полосы и др.) максимальная величина стрелы прогиба галева не превосходит 1...2 мм, что соответствует реальному процессу на ткацком станке.

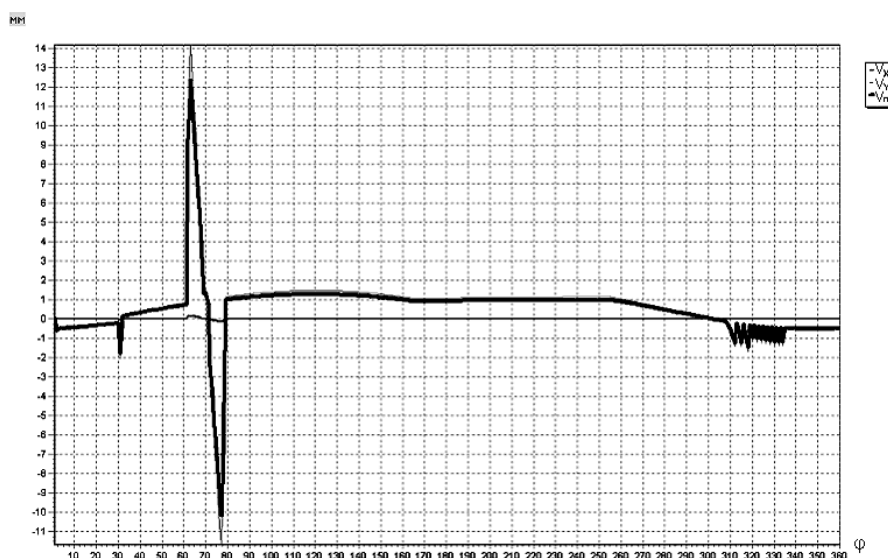


Рис. 2

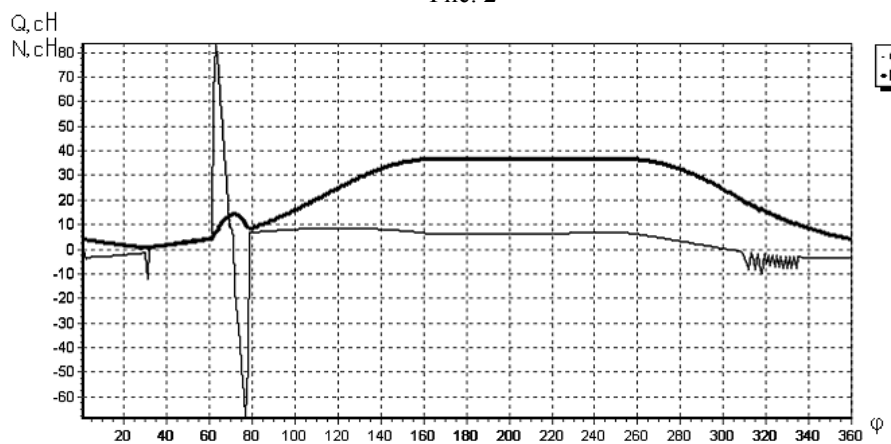


Рис. 3

На рис. 2 показан пример расчетного графика стрелы прогиба галева под действием сил  $Q(\varphi)$  и  $N(\varphi)$ , которые, для большей наглядности работы метода, вычислены при некотором наборе входных параметров без учета выравнивания натяжений в передней и задней ветвях зева (рис.3

– изменение величины поперечной  $Q$  и продольной  $N$  сил в процессе вращения главного вала).

Для оценки адекватности реагирования метода на изменение входных параметров проведен машинный эксперимент.

Т а б л и ц а 1

$h_{vм}$ , мм	$T_0$ , сН	$\lambda_0$ , мм	$\theta$ , град.	$b$ , мм	Величина прогиба	
					$V_{max}$ мм	
					$V_n$ , мм	$V_z$ , мм
32	30	2,25	60	0,4	12,40	10,20
40	- // -	- // -	- // -	- // -	12,80	9,40
20	- // -	- // -	- // -	- // -	11,80	11,00
32	50	- // -	- // -	- // -	12,34	10,20
- // -	20	- // -	- // -	- // -	11,70	10,28
- // -	30	0,5	- // -	- // -	5,58	4,24
- // -	- // -	2,25	50	- // -	9,70	8,40
- // -	- // -	- // -	60	0,8	1,58	1,34

Результаты расчета максимальной величины смещения глазка в переднюю  $V_n$  и заднюю  $V_z$  часть зева представлены в табл. 1, в зависимости от изменения:  $h_m$  – максимальной величины полузевы;  $T_0$  – заправочного натяжения;  $\lambda_0$  – величины приборной полоски;  $\theta$  – угла разворота глазка относительно плоскости ушек;  $b$  – толщины пластинчатого галева.

## ВЫВОДЫ

1. Предложен метод автоматизированного расчета стрелы прогиба галева как растянуто-изогнутого стержня переменной жесткости, учитывающий угол поворота глазка относительно плоскости ушек.

2. Рассмотренный метод позволяет уточнить величину пути трения нити относительно глазка и тем самым способствует совершенствованию модели взаимодействия нити с галевом при тканеобразовании, приближая ее к реальному процессу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Секованова Л.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004. №3.
2. Секованова Л.А. Исследование процесса взаимодействия основной нити с галевом и его имитационное моделирование: Дис....канд. техн. наук. – Кострома. 1995.
3. Мартышенко В.А. Автоматизированный расчет и исследование типовых рабочих органов текстильных машин: Дис....докт. техн. наук. – Москва, 1995.

Рекомендована кафедрой высшей математики.  
Поступила 01.12.05.