

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ИНЕРЦИИ НА ВЕЛИЧИНУ СТРЕЛЫ ПРОГИБА ДВИЖУЩЕГОСЯ ГАЛЕВА

Л.А. СЕКОВАНОВА, М.Г. КОЛЕСНИЧЕНКО

(Костромской государственной технологической университет)

При исследовании интенсивности разрушающих воздействий галева на основную нить методом имитационного моделирования (ИМ) необходимо учитывать величину смещения глазка галева вследствие его изгиба. Величина стрелы прогиба зависит от величины и характера силового нагружения галева в процессе ткачества.

Целью настоящей работы является исследование влияния силы инерции на величину прогиба галева при зевобразовании.

Рассмотрим галево в некоторый момент, соответствующий углу поворота главного вала φ . На галево от взаимодействия с основной нитью действуют внешние сосредоточенные силы $P = T_1 \cos \alpha - T_2 \cos \beta$ и $N = T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \beta$ – горизонтальная и вертикальная составляющие равнодействующей сил натяжения передней T_1 и задней T_2 ветвей зева (α и β – углы, образованные соответственно передней и задней ветвями зева с линией заступа), а также внутренняя сила инерции N_1 . Сила инерции зависит от массы галева и ускорения перемещения ремиз $w_n(\varphi) = H''(\varphi)$, которое в фиксированный момент φ является постоянным для всех точек галева.

Представим галево как двухопорный стержень постоянного сечения с шарнир-

но-неподвижной и шарнирно-подвижной опорами, которые при смене зева меняются местами.

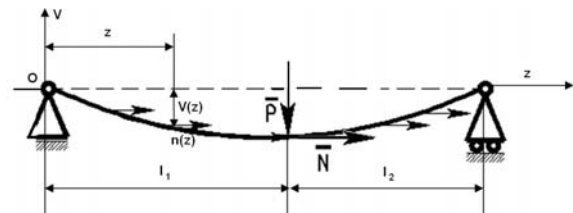


Рис. 1

Поместим начало системы координат в левой опоре, ось Oz направим вдоль оси стержня (рис.1). Если на стержень кроме поперечной силы \vec{P} действует продольная нагрузка N^* , то в сечении z полный изгибающий момент

$$M_x = N^* v + M_x^*, \quad (1)$$

где v – величина стрелы прогиба; $N^* v$ – момент от продольной нагрузки N^* ; M_x^* – момент от поперечной силы \vec{P} . Для движущегося с ускорением галева продольная нагрузка в сечении z равна: $N^* = N + N_1(z)$, если $0 \leq z \leq l_1$ и $N^* = N_1(z)$, если $l_1 < z \leq l_1 + l_2$.

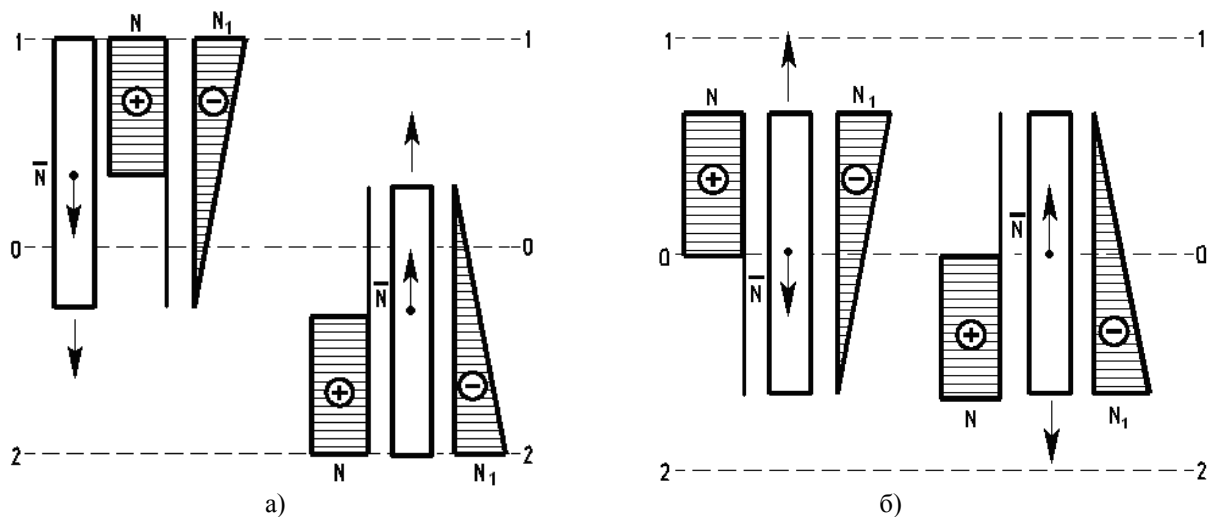


Рис. 2

При раскрытии зева ремизы движутся замедленно ($w(\varphi) < 0$), а при закрытии – ускоренно ($w(\varphi) > 0$). Если ускорение ремиз отрицательно, то направление силы инерции совпадает с направлением движения ремиз. Если же положительно, то сила инерции направлена противоположно движению ремиз. Поэтому силы N и N_1 имеют всегда противоположное направление. Эпюры продольных сил показаны для галева, движущегося из верхнего (1-1) или нижнего (2-2) положений к линии заступа (0-0) (рис. 2-а), и галева, движущегося от линии заступа вверх или вниз (рис. 2-б).

Сила инерции $N_1(z)$ в каждом сечении z характеризуется интенсивностью $n(z)$, которая определяется [1]:

$$n(z) = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta N_1}{\Delta z}.$$

В выбранной системе координат $n(z)$ распределена по линейному закону:

$$n(z) = \frac{2m_\Gamma w_H}{\ell^2} (\ell - z). \quad (2)$$

Тогда сила инерции в сечении z равна

$$N_1(z) = \int_z^\ell n(z) dz = \frac{m_\Gamma w_H}{\ell^2} (\ell - z)^2, \quad (3)$$

где m_Γ – масса галева; ℓ – длина стержня (мах галева).

Дифференциальное уравнение упругой линии стержня для малых перемещений

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x} \quad (4)$$

с учетом (1) примет вид:

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = \begin{cases} \frac{N + N_1(z)}{EI_x} v + \frac{Pl_2}{\ell EI_x} z, & \text{если } 0 \leq z \leq \ell_1, \\ \frac{N_1(z)}{EI_x} v + \frac{Pl_1}{\ell EI_x} (\ell - z), & \text{если } \ell_1 < z \leq \ell, \end{cases} \quad (5)$$

где E – модуль упругости материала галева; I_x – осевой момент инерции поперечного сечения. Краевые условия I рода: $v(0) = 0$, $v(\ell) = 0$.

Для решения краевой задачи (5) был выбран численный метод конечных разностей [2].

Метод конечных разностей решения краевой задачи

$$v'' - q(z)v = f(z), \quad v(0)=0, \quad v(\ell)=0$$

сводится к вычислению значений функции $v = v(z)$ из системы $(n+1)$ -го уравнения

$$\frac{v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}}{h^2} - q(z)v_i = f(z_i),$$

с $(n+1)$ неизвестными $v_0 = v(0)$, $v_1 = v(z_1)$, $v_2 = v(z_2)$, $v_n = v(\ell)$.

Процесс взаимодействия основной нити с галевами в ИМ представлен как квазистатический. Величина прогиба вычисляется для каждого угла поворота главного вала в точке, положение которой на галеве определяется его длиной и высотой глазка. Поэтому для рассматриваемой задачи принято $n=280$, $h=1$, $v(z_i)=i$.

Поскольку ИМ чувствительна к изменению величины стрелы прогиба до

$$v_I(z) = \frac{P \exp(k\ell_1)(1 - \exp(2k\ell_2))}{2kN(1 - \exp(2k\ell))} (\exp(kz) - \exp(-kz)) - \frac{b_2}{k^2}, \quad \text{если } 0 \leq z \leq \ell_1,$$

$$v_{II}(z) = \frac{-P \exp(-k\ell_1)(1 - \exp(2k\ell_1))}{2kN(1 - \exp(2k\ell))} (\exp(kz) - \exp(2k\ell - kz)) + \frac{b_1}{k^2}z - \frac{b}{k^2}, \quad \text{если } \ell_1 < z \leq \ell,$$

где $k^2 = \frac{N}{EI_x}$, $b_1 = \frac{P\ell_1}{\ell EI_x}$, $b_2 = \frac{P\ell_2}{\ell EI_x}$,
 $b = \frac{P\ell_1}{EI_x}$.

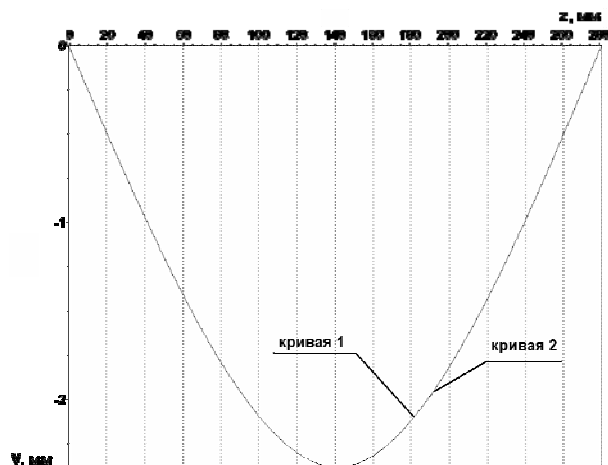


Рис. 3

0,01 мм, то для расчета v необходима высокая точность. Поэтому программа решения краевой задачи (5) численным методом была предварительно протестирована и определена максимальная погрешность. В качестве тестового взяли уравнение упругой линии растянуто-изогнутого стержня под действием сосредоточенных сил \bar{P} и \bar{N} (с теми же краевыми условиями), которое представляет собой линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = \begin{cases} \frac{N}{EI_x}v + \frac{P\ell_2}{\ell EI_x}z, & \text{если } 0 \leq z \leq \ell_1 \\ \frac{N}{EI_x}v + \frac{P\ell_1}{\ell EI_x}(\ell - z), & \text{если } \ell_1 < z \leq \ell_2 \end{cases} \quad (6)$$

Уравнение (6) решено точным и численным методами. Точное решение, с учетом сопряжения ветвей $v_I(\ell_1) = v_{II}(\ell_1)$, имеет вид:

Для угла поворота главного вала $\varphi = 70^\circ$ графиками упругой линии галева с сечением пластины $2 \times 0,3$ мм и массой $m_r = 1,75$ г являются кривая 1 (точный метод) и кривая 2 (численный метод), которые практически совпали (рис. 3). Величина стрелы прогиба галева в точке приложения силы P для точного метода составила 2,3842 мм, для приближенного – 2,3843 мм. Относительная ошибка численного метода 0,004%.

Таким образом, разработанная программа представляет численное решение краевой задачи для линейного дифференциального уравнения второго порядка с высокой степенью точности и может быть использована для вычисления стрелы прогиба галева.

Рассмотрим, насколько изменится величина стрелы прогиба, если распределенную силу инерции заменить равнодействующей сосредоточенной силой $N_1 = 0,5m_r w_n$ и приложить ее в сечении

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = \begin{cases} \frac{N + N_1}{EI_x} v + \frac{Pl_2}{\ell EI_x} z, & \text{если } 0 \leq z \leq l_1, \\ \frac{Pl_1}{\ell EI_x} (\ell - z), & \text{если } l_1 < z \leq \ell. \end{cases} \quad (7)$$

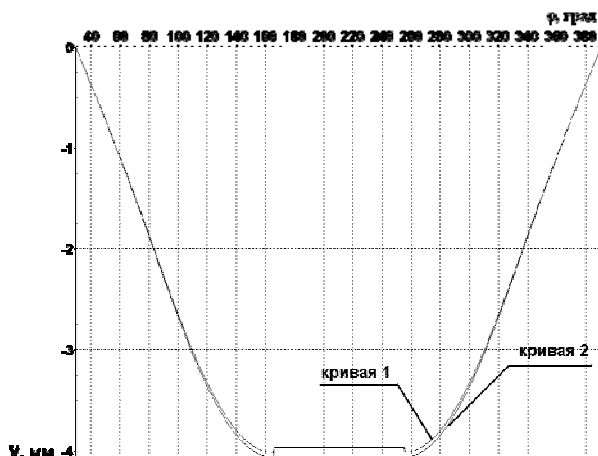


Рис. 4

Краевые задачи (5) и (7) решены численным методом для каждого угла поворота главного вала $\varphi_{заст} \leq \varphi \leq \varphi_{заст} + 360^\circ$. Соответствующие графики смещения глазка галева $v_{(5)}(\varphi)$ и $v_{(7)}(\varphi)$ показаны на рис. 4 кривыми 1 и 2. Здесь переменными величинами, зависящими от угла φ , являются силы натяжения передней $T_1(\varphi)$ и задней $T_2(\varphi)$ ветвей зева от зевобразования, углы $\alpha(\varphi)$ и $\beta(\varphi)$, ускорение движения ремиз $w(\varphi)$.

Параметры рассмотренного галева: max 280 мм, сечение пластины $5,56 \times 0,3$ мм, масса 2,1 г. Значения $T_1(\varphi)$ и $T_2(\varphi)$ вычислялись при заправочном натяжении $T_0 = 20$ сН без учета фазы прибоя, ускорение – для теоретического закона перемещения ремиз [3]. Угол заступа $\varphi_{заст} = 30^\circ$, фаза выстоя 90° .

$z=l_1$. В этом случае дифференциальное уравнение упругой линии (краевые условия $v(0) = 0, v(\ell) = 0$) запишется в виде:

В табл.1 приведены значения стрелы прогиба $v(\varphi)$, полученные из уравнения (7) при $N_1=0$, то есть без учета сил инерции, а также значения $v_{(5)}(\varphi)$ и $v_{(7)}(\varphi)$, вычисленные для некоторых углов поворота главного вала φ .

Таблица 1

Угол поворота главного вала φ	Стрела прогиба галева		
	$V_{(5)}$, мм	$V_{(7)}$, мм	v , мм
70°	1,462	1,462	1,452
100°	2,648	2,646	2,620
155°	3,981	3,978	3,930

Сравнительный анализ этих значений показывает, что в ИМ при расчете величины стрелы прогиба силу инерции галева следует учитывать. Сила инерции ($N_1(z)$ или N_1) уменьшает величину растягивающей силы и тем самым увеличивает стрелу прогиба галева. Максимальная разность значений $v_{(5)}(\varphi)$ и $v_{(7)}(\varphi)$ оказалась менее 0,01мм, поэтому при вычислении стрелы прогиба галева как растянуто-изогнутого стержня переменной жесткости автоматизированным методом, допустимо распределенную силу $N_1(z)$ заменить сосредоточенной силой N_1 . В этом случае можно воспользоваться уравнением (7), которое имеет точное аналитическое решение.

ВЫВОДЫ

1. Получено дифференциальное уравнение упругой линии галева с учетом сил, действующих на него в произвольный мо-

мент зевобразования, соответствующий углу поворота главного вала φ .

2. Показано, что при зевобразовании сила инерции уменьшает продольную растягивающую силу и тем самым увеличивает стрелу прогиба галева.

3. Сила инерции увеличивает величину стрелы прогиба не более, чем на 3%. Поэтому, в зависимости от целей исследования, этой силой можно пренебречь или заменить ее равнодействующей и сосредоточить в точке контакта нити с глазком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прочность. Устойчивость. Колебания. // Справочник под общ. ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – Т.1. – М.: Машиностроение, 1988.

2. Волков Е.А. Численные методы. – М.: Наука, 1987.

3. Секованова Л.А. Исследование процесса взаимодействия основной нити с галевом и его имитационное моделирование: Дис...канд. техн. наук. – Кострома, 1995.

Рекомендована кафедрой высшей математики.
Поступила 21.06.2006.
