

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ
В СИСТЕМЕ ПРОКЛАДЫВАНИЯ УТКА ТКАЦКИХ МАШИН
С МАЛОГАБАРИТНЫМИ ПРОКЛАДЧИКАМИ
В ВЕРОЯТНОСТНОМ АСПЕКТЕ**

В.В. ПЕТРОВ, Е.Н. ХОЗИНА, В.А. МАКАРОВ, О.С. КОВАЛЕВА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

В данной работе проведен энергетический анализ основных механизмов, участвующих в прокладывании уточной нити на ткацких машинах с малогабаритными прокладчиками утка. Система прокладывания уточной нити на указанных машинах по сравнению с аналогичными системами пневматических, рапирных и других ткацких машин не имеет преимуществ с точки зрения расхода энергии на прокидку одной уточины [1]. Поэтому представляет интерес исследование распределения энергии между основными механизмами, участвующими в прокладывании уточной нити, для выявления путей их усовершенствования с целью повышения полезной части общей используемой энергии.

Энергетическое исследование проведено в вероятностном аспекте, что позволило выявить диапазон изменения энергии в зависимости от конструктивных параметров торсионного боевого механизма (начальный угол закручивания торсиона, угол отрыва прокладчика от погонялки), поскольку они не являются детерминированными.

Необходимо отметить, что при проведении рассматриваемого энергетического анализа вычислялись не точные значения определенных энергетических характеристик, а их оценки. Это объясняется использованием при их расчетах числовых значений разброса случайных величин, найденных по результатам наблюдений.

Внутренняя энергия торсионного боевого механизма определяется потенциальной энергией закрученного торсионного вала $E_{ТВ}$, вычисляемой по формуле [2]:

$$E_{ТВ} = \frac{\pi G d_{ТВ}^4 \varphi_{ТВ}^2}{64 \ell}, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где G – модуль упругости 2-го рода материала торсионного вала, $78,5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$; $d_{ТВ}$ – диаметр торсиона, м; $\varphi_{ТВ}$ – начальный угол закручивания торсиона, рад; ℓ – длина скручиваемой части торсионного вала, 0,735 м.

Входящая в формулу (1) величина $\varphi_{ТВ}$ является случайной, зависящей от точности

изготовления деталей боевого механизма и его наладки; как показала практика, ее разброс составляет $\pm 0,63216^\circ$ [3]. Допустим, что в указанных пределах действительное значение $\varphi_{ТВ}$ распределено по нормальному закону. В этом случае оценка математического ожидания $\hat{M}_{\varphi_{ТВ}}$ случайной величины $\varphi_{ТВ}$, то есть равна ее номинальному значению, то есть она находится в середине размаха величины $\varphi_{ТВ}$, а оценка среднего квадратичного отклонения (СКО) $S_{\varphi_{ТВ}}$ случайной величины $\varphi_{ТВ}$ согласно правилу "трех сигм" равна:

$$S_{\varphi_{ТВ}} = \frac{1}{3} \cdot 0,63216^\circ = 0,21072^\circ. \quad (2)$$

Ввиду функциональной зависимости энергии закрученного торсиона $E_{ТВ}$ от нормально распределенной величины $\varphi_{ТВ}$ можно считать, что $E_{ТВ}$ распределена аналогично. Для определения параметров распределения величины $E_{ТВ}$ воспользуемся методом разложения функции $E_{ТВ} = E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$ в ряд Тейлора вокруг начальной точки $\varphi_{ТВ} = M_{\varphi_{ТВ}}$ [4]. Приближенные значения оценок математического ожидания $\hat{M}_{E_{ТВ}}$ и дисперсии $S_{E_{ТВ}}^2$ функции $E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$ представим в виде:

$$\hat{M}_{E_{ТВ}} \cong \frac{\pi G d_{ТВ}^4}{64 \ell} \left[(\hat{M}_{\varphi_{ТВ}})^2 + S_{\varphi_{ТВ}}^2 \right], \quad (3)$$

$$S_{E_{ТВ}}^2 \cong \left[\frac{\pi G d_{ТВ}^4 \hat{M}_{\varphi_{ТВ}}}{32 \ell} \right]^2 S_{\varphi_{ТВ}}^2.$$

Результаты расчетов по формулам (3) для различных значений диаметра $d_{ТВ}$ и начального угла закручивания торсиона $\varphi_{ТВ}$ представлены в виде графиков на рис. 1 (па-

раметры распределения функции $E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$ при различных значениях $d_{ТВ}$ и $\varphi_{ТВ}$: — оценка математического ожидания функции $E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$; - - - - максимальные и минимальные значения функции $E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$).

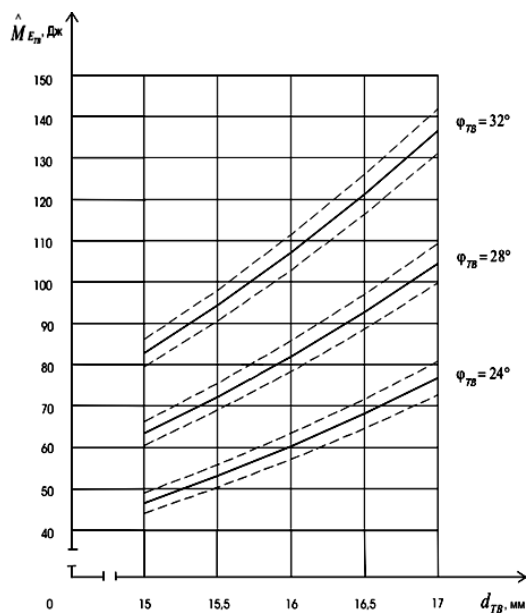


Рис. 1

Анализ полученных результатов показал, что даже незначительное возрастание диаметра торсиона (всего на 2 мм, то есть на 13 %) и сравнительно небольшое увеличение начального угла закручивания торсиона (с 24 до 32°, то есть на 33 %) приводят к резкому повышению внутренней энергии последнего (на 65 % и на 78 % соответственно). Причем при увеличении диаметра и начального угла закручивания торсиона соответственно возрастает и диапазон разброса случайной величины $E_{ТВ}$, что должно быть учтено при проектировании боевого механизма и механизма торможения прокладчиков утка.

Часть накопленной торсионом при его закручивании внутренней энергии расходуется на разгон прокладчика для его проброса на всю заправочную ширину ткацкой машины и определяет начальную скорость прокладчика $U_{ПП}^H$, которая может быть вычислена по формуле [5]:

$$v_{\text{III}}^{\text{H}} = \sqrt{\frac{\pi G \ell_{\text{п}}^2 d_{\text{ТВ}}^4 (\varphi_{\text{ТВ}}^2 - \varphi_{\text{ОСТ}}^2)}{32 \ell J_{\text{III}}}} + v_0^2 \frac{J_{\text{III}}^0}{J_{\text{III}}}, \quad (4)$$

где $\ell_{\text{п}}$ – длина погонялки торсионного боевого механизма, 0,185 м; $\varphi_{\text{ОСТ}}$ – угол отрыва прокладчика от погонялки, 0,24435 рад; J_{III}^0 , J_{III} – момент инерции масс подвижных звеньев, приведенный к оси торсионного вала, соответственно для начального и текущего положений механизма при его разгоне, $J_{\text{III}} = 6,8 \cdot 10^{-3}$ кг·м²; v_0 – скорость торсионного вала в начале его разгона, приобретенная при выводе механизма из мертвого положения. При правильной наладке боевого механизма второе слагаемое в формуле (4) сравнительно мало и им можно пренебречь.

Величина $\varphi_{\text{ОСТ}}$ является случайной, разброс которой составляет $\pm 0,94737^\circ$.

Оценки математического ожидания

$$M_{v_{\text{III}}^{\text{H}}} = \frac{\ell_{\text{п}} d_{\text{ТВ}}^2 \sqrt{\pi G}}{8\sqrt{2} \sqrt{\ell J_{\text{III}} (M_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 - M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2)^3}} \left[2(M_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 - M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2)^2 - M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2 \sigma_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 - M_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 \sigma_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2 \right], \quad (5)$$

$$\sigma_{v_{\text{III}}^{\text{H}}}^2 = \frac{\ell_{\text{п}}^2 d_{\text{ТВ}}^4 \pi G}{32 \ell J_{\text{III}}} \left[\frac{M_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 \sigma_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 + M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2 \sigma_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2}{M_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2 - M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2} \right],$$

где $M_{\varphi_{\text{ТВ}}}$, $\sigma_{\varphi_{\text{ТВ}}}^2$, — математическое ожидание, дисперсия и СКО величины начального угла закручивания торсиона $\varphi_{\text{ТВ}}$ соответственно; $M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$, $\sigma_{\varphi_{\text{ОСТ}}}^2$, $\sigma_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$ – математическое ожидание, дисперсия и СКО величины угла отрыва прокладчика утка от погонялки $\varphi_{\text{ОСТ}}$ соответственно. Подставляя в аналитические выражения (5) вместо $M_{\varphi_{\text{ТВ}}}$, $M_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$, $\sigma_{\varphi_{\text{ТВ}}}$ и $\sigma_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$ их оценки

$\hat{M}_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$ и СКО $S_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$ случайной величины $\varphi_{\text{ОСТ}}$ определяются аналогично соответствующим параметрам величины $\varphi_{\text{ТВ}}$ (см. ранее).

Таким образом, скорость $v_{\text{III}}^{\text{H}}$ является функцией двух нормально распределенных случайных величин $\varphi_{\text{ТВ}}$ и $\varphi_{\text{ОСТ}}$: $v_{\text{III}}^{\text{H}} = v_{\text{III}}^{\text{H}}(\varphi_{\text{ТВ}}; \varphi_{\text{ОСТ}})$. Вычислим математическое ожидание $M_{v_{\text{III}}^{\text{H}}}$ и дисперсию $\sigma_{v_{\text{III}}^{\text{H}}}^2$ начальной скорости прокладчика:

$\hat{M}_{\varphi_{\text{ТВ}}}$, $\hat{M}_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$, $S_{\varphi_{\text{ТВ}}}$ и $S_{\varphi_{\text{ОСТ}}}$, получим численные значения оценок параметров распределения начальной скорости прокладчика $\hat{M}_{v_{\text{III}}^{\text{H}}}$ и $S_{v_{\text{III}}^{\text{H}}}$. Результаты вычислений приведены в табл. 1 – оценки параметров распределения начальной скорости прокладчика утка при различных значениях $\varphi_{\text{ТВ}}$ и $d_{\text{ТВ}}$.

Таблица 1

Диаметр торсиона $d_{ТВ}$, мм	$\hat{M}_{\varphi_{ТВ}} = 24^\circ$			$\hat{M}_{\varphi_{ТВ}} = 28^\circ$			$\hat{M}_{\varphi_{ТВ}} = 32^\circ$		
	$\hat{M}_{v_{ПП}}^H$	$S_{v_{ПП}}^H$	$v_{v_{ПП}}^H$	$\hat{M}_{v_{ПП}}^H$	$S_{v_{ПП}}^H$	$v_{v_{ПП}}^H$	$\hat{M}_{v_{ПП}}^H$	$S_{v_{ПП}}^H$	$v_{v_{ПП}}^H$
15,0	17,131	0,326	0,01900	21,512	0,285	0,01320	25,654	0,259	0,01012
15,5	18,292	0,348		22,970	0,303		27,392	0,277	
16,0	19,491	0,370		24,476	0,322		29,188	0,295	
16,5	20,729	0,394		26,030	0,344		31,041	0,315	
17,0	22,004	0,418		27,631	0,365		32,951	0,333	

Анализ табл. 1 показывает, что увеличение начального угла закручивания торсиона на 33% повышает величину математического ожидания начальной скорости прокладчика на 50% независимо от характера изменения диаметра торсиона. Диапазон разброса начальной скорости прокладчика при увеличении диаметра торсиона расширяется на 28% независимо от начального угла закручивания торсиона, а при увеличении начального угла закручивания торсиона – уменьшается на 20 % независимо от диаметра торсиона. Кроме того, полученные значения коэффициента вариации начальной скорости $v_{v_{ПП}}^H$ являются косвенным подтверждением предположения о нормальном распределении случайной величины $v_{ПП}^H$.

Поскольку начальная скорость прокладчика определяет его среднюю скорость, а значит и время полета прокладчика в зеве, то полученный в работе разброс случайной величины $v_{ПП}^H$ должен быть учтен при проектировании новых цикловых диаграмм, обеспечивающих плавное повышение производительности ткацких машин с ростом их заправочной ширины.

Начальная скорость прокладчика определяется величиной той энергии, которая передается прокладчику боевым механизмом. Важно установить, какая доля энергии торсиона расходуется на полезную работу по прокладке уточной нити.

Передаваемая прокладчику торсионным боевым механизмом энергия $E_{ПР}$ вычисля-

ется по формуле

$$E_{ПР} = \frac{m}{2} (v_{ПП}^H)^2 = \frac{m \pi G d_{ТВ}^4 \ell_{П}^2 (\varphi_{ТВ}^2 - \varphi_{ОСТ}^2)}{32 \ell_{П} J_{ПР}}, \quad (6)$$

где m – масса прокладчика, 0,040 кг. Как видно из (6), энергия $E_{ПР}$ является функцией двух нормально распределенных случайных величин $\varphi_{ТВ}$ и $\varphi_{ОСТ}$:

$E_{ПР} = E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$. Оценки математического ожидания и дисперсии функции $E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$ определяются аналогично соответствующим параметрам величины $E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$ по формулам, полученным разложением в ряд Тейлора [4].

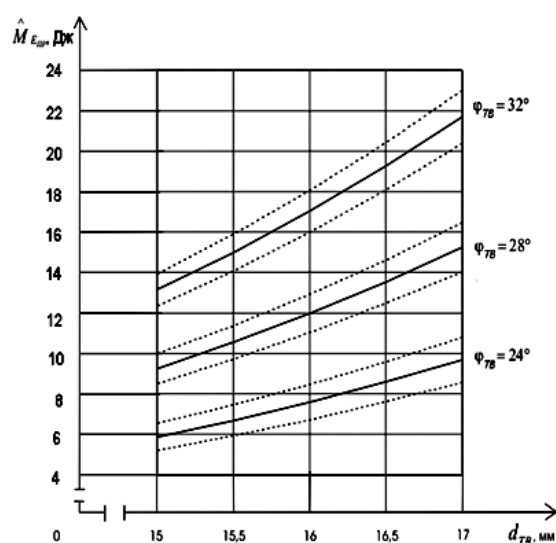


Рис. 2

Результаты расчета $E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$ для

различных значений диаметра $d_{ТВ}$ и начального угла закручивания торсиона $\varphi_{ТВ}$ представлены на рис. 2 (параметры распределения функции $E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$ при различных значениях $d_{ТВ}$ и $\varphi_{ТВ}$: _____ оценка математического ожидания функции $E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$; максимальные и минимальные значения функции $E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$). Анализ рис. 2 показывает, что разброс случайной величины $E_{ПР}(\varphi_{ТВ}, \varphi_{ОСТ})$, как и в случае с величиной $E_{ТВ} = E_{ТВ}(\varphi_{ТВ})$, возрастает с увеличением $d_{ТВ}$ и $\varphi_{ТВ}$.

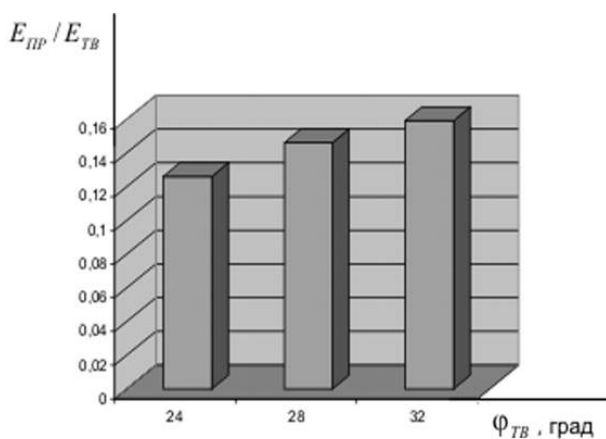


Рис. 3

Для определения доли энергии, передаваемой прокладчику торсионом, необходимо вычислить соотношение $E_{ПР} / E_{ТВ}$. Результаты расчета представлены в виде гистограммы (рис. 3 – соотношение $E_{ПР} / E_{ТВ}$ при различных значениях начального угла закручивания торсиона $\varphi_{ТВ}$). Анализ полученных результатов показывает, что лишь незначительная часть энергии $E_{ТВ}$ (от 12,6 до 15,9%) расходуется на полезную работу; остальная часть энергии должна быть погашена в самом боевом механизме. Причем соотношение $E_{ПР} / E_{ТВ}$ не зависит от диаметра торсиона и возрастает при увеличении начального угла его закручивания.

Полученная прокладчиком энергия расходуется на полет его через зев, причем энергия, оставшаяся у прокладчика к моменту его влета в приемную коробку ткацкой машины, должна быть полностью погашена механизмом торможения прокладчиков утка. Величина энергии E_T , которая гасится механизмом торможения прокладчиков, определяется по формуле:

$$E_T = \frac{m(v_{ПШ}^K)^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (7)$$

где $v_{ПШ}^K = v_{ПШ}^H - \Delta v L_{ТМ}$; $v_{ПШ}^K$ – скорость влета прокладчика утка в правую приемную коробку, м/с; Δv – падение скорости прокладчика на метр заправочной ширины, c^{-1} ; $L_{ТМ}$ – заправочная ширина ткацкой машины, м.

Величина Δv является случайной, распределенной по нормальному закону, поэтому величина скорости влета прокладчика утка в приемную коробку $v_{ПШ}^K$ также носит случайный характер и распределена по нормальному закону с параметрами:

$$M_{v_{ПШ}^K} \cong M_{v_{ПШ}^H} - M_{\Delta v} L_{ТМ}, \quad (8)$$

$$\sigma_{v_{ПШ}^K} = M_{v_{ПШ}^K} v_{v_{ПШ}^K},$$

где $M_{\Delta v}$ – математическое ожидание случайной величины Δv ; $v_{v_{ПШ}^K}$ – коэффициент вариации скорости влета прокладчика в приемную коробку. Учитывая линейную зависимость $v_{ПШ}^K$ от $v_{ПШ}^H$ (см. выражение (7)), приблизительно можно принять коэффициент вариации скорости влета $v_{v_{ПШ}^K}$ равным коэффициенту вариации $v_{v_{ПШ}^H}$ начальной скорости прокладчика утка (табл. 1).

Согласно исследованиям, проведенным во ВНИИЛТЕКМАШ [6], основными факторами, влияющими на падение скорости

прокладчика Δv , являются линейная плотность перерабатываемого утка T и время нахождения ТМ в эксплуатации $t_{\text{ЭКСП}}$. В данной работе расчет оценок па-

раметров распределения скорости $v_{\text{ПП}}^{\text{К}}$ проведен при следующих исходных данных (табл. 2 – исходные данные для расчета параметров распределения $v_{\text{ПП}}^{\text{К}}$).

Т а б л и ц а 2

Заправочная ширина ткацкой машины $L_{\text{ТМ}}$, м	Линейная плотность утка T , текс	Время нахождения машины в эксплуатации $t_{\text{ЭКСП}}$, год	Оценка математического ожидания падения скорости прокладчика $\hat{M}_{\Delta v}$, с^{-1} , при соответствующем значении T
1,8	25	3-5	1,050
	200		2,091
3,3	25	3-5	1,050
	200		2,091

Определив характер разброса величины $v_{\text{ПП}}^{\text{К}}$, можно приближенно вычислить математическое ожидание M_{E_T} и СКО σ_{E_T} случайной величины E_T по формулам:

$$M_{E_T} \approx \frac{m}{2} \left[(M_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}})^2 + (\sigma_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}})^2 \right], \quad (9)$$

$$\sigma_{E_T} \approx m M_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}} \sigma_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}},$$

где $M_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}}$, $\sigma_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}}^2$ и $\sigma_{v_{\text{ПП}}^{\text{К}}}$ – математическое ожидание, дисперсия и СКО скорости влета прокладчика в приемную коробку $v_{\text{ПП}}^{\text{К}}$.

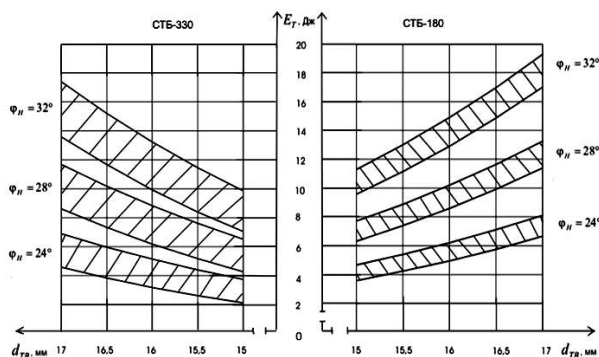


Рис. 4

Результаты расчета по формулам (9) представлены на графиках (рис. 4 – диапазоны изменения энергии, поглощаемой механизмом торможения прокладчиков при различных значениях диаметра $d_{\text{ТВ}}$ и угла

закручивания $\phi_{\text{ТВ}}$ торсиона), где заштрихованные области иллюстрируют изменение величины E_T при переработке нитей различной линейной плотности от 25 до 200 Текс на ткацких машинах СТБ-180 и СТБ-330. Анализ рис. 4 показал, что с увеличением $d_{\text{ТВ}}$ и $\phi_{\text{ТВ}}$ математическое ожидание E_T возрастает, а с увеличением заправочной ширины машины $L_{\text{ТМ}}$ – незначительно уменьшается. Диапазон гасимой механизмом торможения энергии, обусловленный различной линейной плотностью утка, расширяется при возрастании заправочной ширины машины. Разброс величины E_T рассчитывается аналогично разбросу $E_{\text{ТВ}}$ и $E_{\text{ПР}}$.

Для определения доли энергии закрученного торсиона, поглощаемой механизмом торможения прокладчиков, было вычислено соотношение $E_T/E_{\text{ТВ}}$ для различных значений $d_{\text{ТВ}}$, $\phi_{\text{ТВ}}$, T и $L_{\text{ТМ}}$. Результаты расчета показали, что в зависимости от характера изменения указанных параметров механизм торможения должен погасить от 4,5 до 15,4% энергии закрученного торсиона. Причем максимум энергии E_T будет соответствовать работе механизмов прокладывания утка на машине СТБ-180, находящейся в эксплуатации менее 3 лет и перерабатывающей нить с линейной плотностью менее 25 текс.

Общие результаты исследования распределения энергии в системе прокладывания уточной нити на ткацких машинах с малогабаритными прокладчиками утка представлены в виде диаграммы (рис. 5).



Рис. 5

ВЫВОДЫ

1. Прокладчику утка сообщается от 12,6 до 15,9% энергии закрученного торсионного вала в зависимости от угла его закручивания, остальная часть энергии торсиона (87,4...84,1%) рассеивается в боевом механизме.

2. Механизм торможения прокладчиков утка должен погасить от 4,5 до 15,4% энергии закрученного торсиона в зависимости от технологических, конструктивных и эксплуатационных параметров ткацких машин.

3. Повышение начальной скорости прокладчика путем усовершенствования торсионного боевого механизма требует соответствующего усовершенствования механизма торможения прокладчиков за счет

увеличения допустимой скорости влета прокладчика в приемную коробку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ормирод А. Современное приготовительное и ткацкое оборудование: Пер. с англ. / Под ред. Э.А. О니кова и В.И. Неелова. – М.: Легпромбытиздат, 1987.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – 8-е изд., стер. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979.
3. Гордеев Н.И. Разработка и исследование боевого механизма высокоскоростных станков типа СТБ: Дис...канд. техн. наук. – М., 1992.
4. Венцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1989.
5. Основы проектирования машин ткацкого производства: Учебник для студентов вузов / А.В. Дицкий, Р.М. Малафеев, В.И. Терентьев, А.А. Туваева / Под общ. ред. А.В. Дицкого. – М.: Машиностроение, 1983.
6. Авдеева Г. Н., Карпова Ю. Б., Макачев А. Н. Исследование факторов, определяющих скоростные параметры и надежность боевого механизма станков СТБ./ Сб. научных трудов ВНИИЛТЕК-МАШ. – М.: Минлегпищемаш, 1984. С. 98...105.

Рекомендована кафедрой проектирования текстильных машин. Поступила 06.06.08.