

УДК 677.054.35

**МЕХАНИКА ИЗНОСА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
КУЛАКА ПРИВОДА ЗЕВООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА  
КРУГЛОЙ ТКАЦКОЙ МАШИНЫ ТКП-110У**

**ATTRITION MECHANICS OF THE CAM WORKING SURFACE  
OF THE SHEDDING MOTION FOR THE TPK-110U CIRCULAR LOOM**

*Р.М. МАЛАФЕЕВ, К.А. ГРИГОРЬЕВ, Б.М. ФОМИН*  
*R.M. MALAFEEV, K.A. GRIGORIEV, B.M. FOMIN*

(Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности)  
(Russian Correspondence Institute of Textile and Light Industry)  
E-mail: texleg@roszitlp.ru

*Анализ зевообразовательного механизма, проведенный на всех фазах движения ремизной секции, с учетом нитей основы показал, что износ рабочих поверхностей паза кулака неравномерный по его периметру с наибольшим уровнем в зонах, около верхнего положения выстоя. На основе полученных уравнений движения выявлен механизм износа в этих зонах, который обусловлен трением скольжения ролика ремизной секции по рабочей поверхности паза.*

*The analysis of the shedding motion which has been carried out on all stages of a heald section movement, taking into account warp threads, has shown that deterioration of working surfaces of a cam groove is non-uniform on its perimetre with the greatest level in the zones by the outer position of the dwell. On the basis of the received equations of movement the deterioration mechanism in these zones, which is conditioned by a roller sliding friction in a heald section on a groove working surface, is revealed.*

**Ключевые слова:** привод зевообразовательного механизма, пазовый кулачок, износ рабочих поверхностей, ролик, процесс трения скольжения.

**Keywords:** a shedding motion driver, a grooving cam, deterioration of working surfaces, a roller, sliding friction process.

В процессе эксплуатации круглой ткацкой машины ТКП-110У [1] наблюдается интенсивный износ рабочих поверхностей паза кулака на отдельных участках профиля подъема (опускания) ремизной секции и в зонах ее перехода к выстоя, что, как по-

казала практика эксплуатации, является основной причиной снижения рабочей скорости ткацкой машины. Схема зевообразовательного механизма показана на рис. 1.

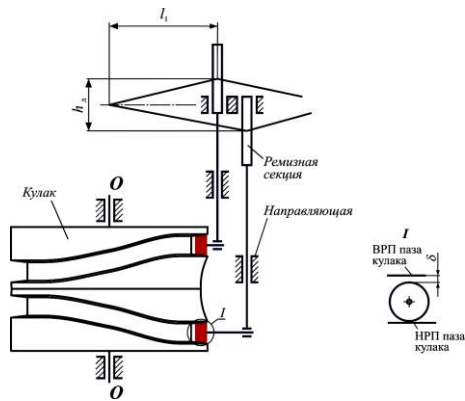


Рис. 1

Несмотря на то, что приводы с пазовым кулачком относятся к механизмам с геометрическим замыканием, фактически, ввиду наличия зазора  $\delta$  между рабочими поверхностями паза кулака и ролика, обусловленного технологическими условиями изготовления, сборки и работы пары, рабочая поверхность кулака является односторонней (освобождающей) связью. В рабочих условиях это приводит к нарушению контакта поверхности ролика с рабочей поверхностью паза кулака из-за инерционности ремизной секции. В [1] были установлены положения зон потери вышеупомянутого контакта путем рассмотрения относительного движения рабочих поверхностей паза кулака и ролика ремизной секции, перемещения которой на фазе подъема определялись согласно уравнению движения:

$$\ddot{y} = -ny - ky^3 - g, \quad (1)$$

где  $n = 2T_o/m\ell_1$ ,  $k = k_o/m\ell_1^2$ ;  $k_o$  – коэффициент жесткости группы нитей основы, пробранных в одну ремизку;  $T_o$  – заправочного натяжения нитей основы;  $\ell_1$  – глубина зева;  $g$  – ускорение свободного падения.

Факт потери и восстановления контакта устанавливался по моментам обнуления и возникновения реакции  $R_{пп}$  в паре ролик – рабочая поверхность паза кулака. Однако для принятия обоснованных технических решений требуется установление более точной картины механики взаимодействия рабочих поверхностей паза кулака и роли-

ка. Движение ролика в зазоре  $\delta$  не дает объяснения износа нижней и верхней рабочих поверхностей паза кулака. Для выяснения механики износа в расчетную схему взаимодействия ролика и рабочих поверхностей паза кулака необходимо включить параметры движения ролика вокруг оси вращения. В дальнейшем при выводе расчетных выражений используются данные и результаты, полученные в [2].

При кинематическом анализе было установлено, что скорость ролика при движении в контакте с рабочей поверхностью паза кулака переменна и является функцией скорости подъема профиля паза при постоянной скорости вращения кулака.

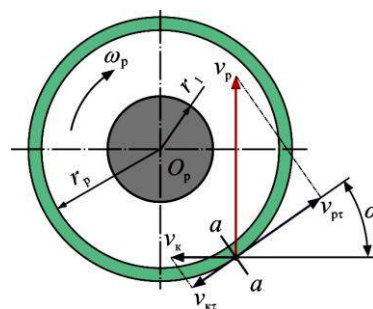


Рис. 2

На рис. 2 показаны векторы скоростей ролика и рабочей поверхности паза на фазе подъема ремизной секции по линии  $aa$ , обусловленные вращением кулака вокруг оси  $O_k$  и профилем паза кулака.

Скорость вращения ролика определяется разностью скоростей кулака и подъема (опускания) профиля паза кулака, касательных профилю паза в точке контакта ролика с профилем паза. Поскольку скорость подъема ролика ремизки (проекция на ось  $y$ ) равна скорости подъема профиля  $v_p = v_{п}$ , то линейная скорость ролика в точке контакта с поверхностью паза радиуса  $r_k$ , без учета проскальзывания ролика по поверхности паза кулака, будет равна

$$v_{пт} = v_{кк} + v_{пт}, \quad (2)$$

где  $v_{кк}$  – касательная составляющая к профилю паза окружной скорости кулака;  $v_{пт}$  – касательная составляющая к профи-

лю паза скорости подъема ролика;  $\alpha = \arctg v_{\text{п}}$  – угол подъема профиля. Принимая во внимание, что при косинусоидальном законе движения ремизной секции

$$y'' = \pi^2 \frac{h_{\text{д}} \omega_{\text{к}}^2}{2\phi_{\text{д}}^2} \cos\left(\pi \frac{\phi_{\text{к}}}{\phi_{\text{д}}}\right),$$

$$v_{\text{кт}} = \omega_{\text{к}} r_{\text{к}} \cos \alpha,$$

$$v_{\text{рт}} = v_{\text{р}} \sin \alpha$$

и

$$v_{\text{р}} = \pi \frac{\omega_{\text{к}} h_{\text{д}}}{2\phi_{\text{д}}} \sin \pi \frac{\phi_{\text{к}}}{\phi_{\text{д}}},$$

выражение (2) примет вид:

$$v_{\text{пт}} = \omega_{\text{к}} \left[ r_{\text{к}} \cos \alpha + \pi \frac{h_{\text{д}}}{2\phi_{\text{д}}} \sin\left(\pi \frac{\phi_{\text{к}}}{\phi_{\text{д}}}\right) \sin \alpha \right], \quad (3)$$

В процессе движения ремизки ролик будет вращаться вокруг своей оси  $O_{\text{р}}$  с круговой частотой вращения:

$$\omega_{\text{р}} = \frac{v_{\text{пт}}}{r_{\text{р}}}, \quad (4)$$

где  $r_{\text{р}}$  – радиус ролика в сечении, соответствующем точке контакта с поверхностью паза на линии аа.

На фазе подъема ремизной секции отрыв ролика от НРП паза кулака происходит с некоторой круговой частотой вращения  $\omega_{\text{рн}}$ . По мере движения в зазоре величина  $\omega_{\text{р}}$  падает вследствие наличия сил трения в цапфе ролика. Движение ролика при действии постоянного момента сопротивления от силы трения  $M_{\text{сц}}$  в цапфе будет происходить согласно уравнению:

$$J_{X_{\text{р}}} \frac{d\dot{\phi}_{\text{р}}}{dt} = -M_{\text{сц}}, \quad (5)$$

где  $J_{X_{\text{р}}}$  – момент инерции ролика относительно оси вращения;  $\dot{\phi}_{\text{р}}$  – угловая скорость ролика;  $M_{\text{сц}}$  – момент силы трения в

цапфе ролика. Интегрируя уравнение (5), полагая на рассматриваемом участке движения  $\dot{\phi}_{\text{р}}|_{t=0} = \omega_{\text{рн}}$ , получим:

$$\omega_{\text{рк}} = \omega_{\text{рн}} - \frac{M_{\text{сц}}}{J_{X_{\text{р}}}} t, \quad (6)$$

где  $\omega_{\text{рн}}$  – начальная круговая частота вращения ролика;  $\omega_{\text{рк}}$  – конечная круговая частота вращения ролика. Момент силы трения  $M_{\text{сц}} = F_{\text{тц}} r_1$  ( $r_1$  – радиус цапфы,  $F_{\text{тц}}$  – сила трения в цапфе). Расчет по формуле (6) при массе ролика  $m_{\text{р}} = 0,485$  кг,  $r_1 = 0,02$  м, коэффициенте трения скольжения на цапфе  $f_{\text{ц}} = 0,06$ , величине зазора  $\delta = 0,0055$  м и частоте вращения кулака  $n = 60$  мин<sup>-1</sup> показал, что за время движения ролика в зазоре  $t = 0,025$  с до момента восстановления контакта с верхней рабочей поверхностью (ВРП) паза на угле поворота кулака  $\varphi_{\text{р}} \approx 54,42^\circ$  [1] снижение его круговой частоты вращения незначительно (от  $\omega_{\text{рн}} \approx 24,07$  с<sup>-1</sup> до  $\omega_{\text{рк}} = 23,75$  с<sup>-1</sup>) и в расчетах можно использовать круговую частоту вращения ролика в момент отрыва. В точке контакта ролика с рабочей поверхностью кулака направления вектора составляющей скорости ролика и скорости самого профиля, касательных к профилю паза в данной точке, противоположны, причем скорость в расчетной точке профиля паза  $v_{\text{пт}} = 2,58$  м/с, а сумма касательных к профилю паза вертикальной и окружной скоростей ролика  $v_{\text{рт}} \approx 2,03$  м/с, то есть имеет место кинематическое проскальзывание поверхности ролика по рабочей поверхности паза. После установления контакта с ВРП паза к моменту силы трения в цапфе добавится момент силы трения от контакта ролика с поверхностью паза. Оба этих момента будут функциями силы реакции рабочей поверхности паза и препятствовать вращению ролика. Проведем оценку времени торможения и ролика до момента, когда он изменит направление своего вращения.

Уравнение движения ролика будет иметь следующий вид:

$$J_{X_p} \frac{d^2\phi_p}{dt^2} = -R_{пп} (r_p f_{пн} + r_1 f_{пн}), \quad (7)$$

где  $r_p$  – средний расчетный радиус ролика.

$R_{пп}$  является функцией времени (угла поворота кулака), аналитический вид которой был установлен ранее. Разделяя переменные и учитывая числовое значение постоянной величины сомножителя при  $R_{пп}$ , получим:

$$J_{X_p} d\dot{\phi}_p = -0,0029 R_{пп} dt.$$

После перехода к интегралу с начальным условием  $\dot{\phi}_p|_{t=t_0} = \omega_{пн}$  последнее выражение примет вид:

$$\omega = \omega_{пн} - \frac{0,0029}{J_{X_p}} \int_{t_0}^t R_{пп} dt, \quad (8)$$

где  $t_0$  – время поворота кулака, соответствующее моменту контакта с верхней рабочей поверхностью паза.

Учет переменности  $R_{пп}$  в форме его точного аналитического выражения [2] приводит к появлению под интегралом составляющих, содержащих тригонометрические функции под знаком радикала, что не позволяет найти интеграл в элементарных функциях. Например, сомножитель  $1/\cos\alpha$ , являющийся общим для всех членов уравнения  $R_{пп} = R_{пп}(t)$ , имеет следующий вид:

$$\omega_p = \omega_{пн} + \frac{0,0029}{J_{X_p}} \left[ 540,5809(t - t_0) - 542,4316\omega_k(t^2 - t_0^2) + 160,3414\omega_k^2(t^3 - t_0^3) \right].$$

Запишем последнее выражение в виде:

$$\omega_p = \omega_{пн} - \frac{1}{J_{X_p}} [C(t) + C_0], \quad (10)$$

где  $C(t) = -1,56904t + 1,57441\omega_k t^2 - 0,46539\omega_k^2 t^3$ ;

$$\frac{1}{\cos\alpha} = \frac{1}{\cos(\arctg v_p)} = \sqrt{1 + \frac{\pi^2 h_a^2}{4t_a^2} \sin^2 \left( \pi \frac{t}{t_a} \right)}.$$

Использование численных методов расчета интеграла при неизвестном верхнем пределе интегрирования довольно затруднительно. В связи с этим на основе расчетных данных было получено более простое аналитическое выражение для  $R_{пп}$  путем аппроксимации данных полиномом второй степени. Используя метод наименьших квадратов, на участке движения ремизной секции с момента контакта ролика с верхней рабочей поверхностью паза аппроксимационная формула для  $R_{пп}$ , изменение которой при контакте ролика с ВРП паза кулака представлено на рис. 3, с началом отсчета времени  $t = t_0$  имеет вид:

$$R_{пп} = -540,5809 + 1084,8632\omega_k t - 481,0294\omega_k^2 t^2. \quad (9)$$

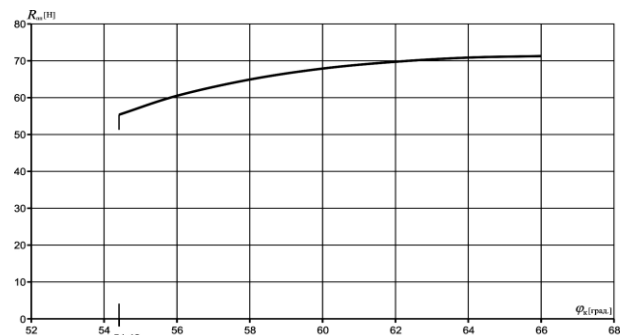


Рис. 3

Интегрируя (8) с учетом (9), получим выражение для расчета изменения круговой частоты вращения ролика в процессе скольжения по верхней рабочей поверхности паза:

$$C_0 = 1,56904t_0 - 1,57441\omega_k t_0^2 + 0,46539\omega_k^2 t_0^3.$$

Интегрируя (10) с начальными условиями, соответствующими моменту контакта ролика с верхней рабочей поверхностью паза  $\phi_p|_{t=t_0} = 0$ , и имея в виду

$\omega_p = d\varphi_p/dt$ , получим выражение для расчета угла поворота ролика до полной остановки:

$$\varphi_p = \omega_{pн} t - \frac{1}{J_{X_p}} [B(t) + C_0 t], \quad (11)$$

где  $B(t) = -0,78452t^2 + 0,5248\omega_k t^3 - 0,11635\omega_k^2 t^4$ .

Из (11) при  $\varphi_p = 0$  находим уравнения для расчета времени торможения ролика, то есть длительности скольжения ролика по рабочей поверхности паза. При  $\varphi_p = 0$  получим следующее уравнение третьей степени:

$$0,11685t^3 - 0,5248t^2 + 0,78452t + \omega J_{px} - C_0 = 0. \quad (12)$$

Расчет изменения частоты вращения ролика по формуле (10) показывает, что на угле поворота кулака до перехода ремизки к выстою полного торможения ролика не происходит, и он отрывается от верхней рабочей поверхности паза с угловой частотой вращения  $\omega_p \approx 9,65 \text{ с}^{-1}$ . Полная остановка ролика при изменении  $R_{пн}$  согласно (12) произошла бы на угле поворота кулака  $\varphi_k \approx 73,99^\circ$  с длительностью торможения  $t \approx 0,054 \text{ с}$ .

Таким образом, процесс трения скольжения по ВРП паза происходит на пути движения ремизки от момента контакта ролика с верхней рабочей поверхностью паза до момента перехода ремизки к выстою.

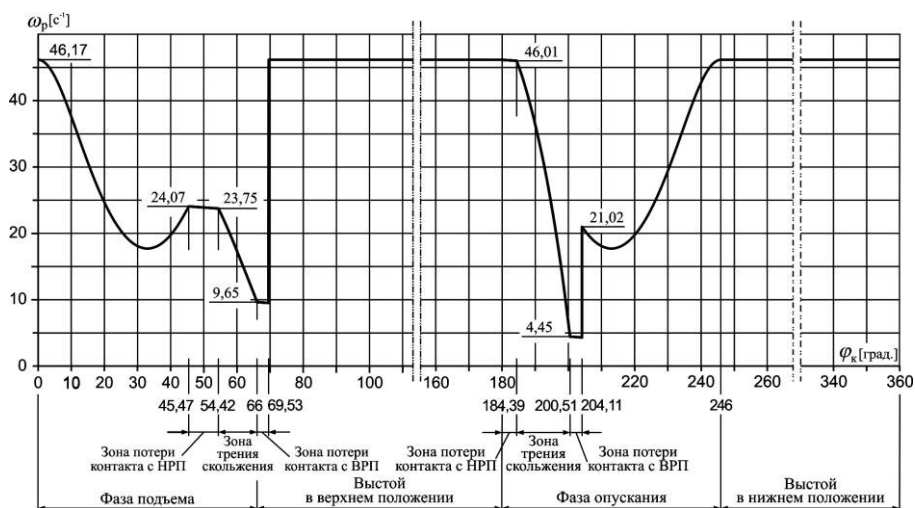


Рис. 4

Аналогичные расчеты были выполнены для зон перехода к выстоям в верхнем и нижнем положениях, а также на фазе опускания ремизной секции. Результаты расчетов представлены на рис. 4 в виде диаграммы изменения круговой частоты вращения ролика. Установленная механика взаимодействия ролика с рабочими поверхностями паза кулака позволяет объяснить существенно больший износ рабочих поверхностей паза, чем у ролика: за оборот кулака одну и ту же зону износа кулака проходят ролики 12 ремизных секций с произвольной исходной точкой контакта

каждого ролика.

## ВЫВОДЫ

Динамика взаимодействия поверхностей ролика и паза такова, что смена рабочих поверхностей на фазах подъема и после выхода из выстоя приводит к их контакту с пазом при противоположном направлении линейных скоростей, касательных к профилю паза. Это является основной причиной возникновения износа трения скольжения вследствие торможения ролика, при этом в большей степени износу подвержена верхняя рабочая поверх-

ность паза кулака.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Малафеев Р.М., Светик Ф.Ф.* Машины текстильного производства. – М.: Машиностроение, МГФ «Знание» 2002.
2. *Григорьев А.В., Григорьев Е.В.* Динамические расчеты при модернизации зверообразовательного

механизма круглой ткацкой машины ТКП-110У. Справочник // Инженерный журнал. – 2009, №7.

Рекомендована кафедрой проектирования машин и автоматов. Поступила 01.11.10.

---