

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЪЕМА ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА С ЗУБА ПИЛЫ МЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ В ПРОЦЕССЕ ПИЛЬНОГО ДЖИНИРОВАНИЯ

Р.Ф. ЮНУСОВ

(ОАО «Paxta tozalash»)

Проведенные исследования производственных процессов хлопкоочистительных заводов, в частности, пильных джинов, показали, что в настоящее время из-за применения пневматического съема волокна наблюдается неполный съем волокна с зубьев пил. Это волокно возвращается в рабочую камеру и теряется вместе с отджинированными семенами. Использование пневматики, потребности трубопроводов, воздушных циклонов и т.д. – все это ведет к большому расходу электроэнергии

По этим причинам целесообразно в пильных джинах использование механического съема. Для применения в пильных джинах механического съемника волокна в первую очередь необходимо определить соотношение скоростей пилы и щеточного барабана для обеспечения полноты съема. Поэтому рассмотрим механическую систему, состоящую из пилы, вращающейся щетки и хлопкового волокна (рис. 1).

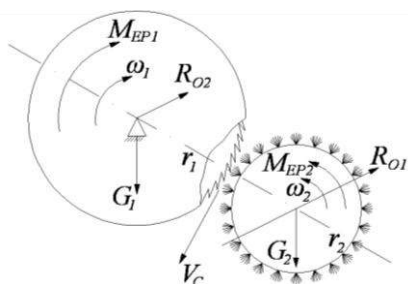


Рис.1

На рис.1 использованы следующие обозначения:  $r_1$  – радиус пилы;  $r_2$  – радиус щетки;  $m_{вр,z}$  – вращающий момент;  $z$  – ось вращения;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – соответственно угловые скорости пилы и щетки.

Для решения поставленной задачи применим теорему об изменении главного момента количества движения относительно неподвижной оси  $z$ ;

$$\frac{dL_z}{dt} = \sum_{k=1}^n m_z(F_k^e), \quad (1)$$

где  $L_z$  – главный момент количества движения относительно неподвижной оси  $z$ ;  $m_z(F_k^e)$  – вращающий момент силы  $F_k^e$  относительно оси  $z$ . Вычислим  $L_z$  по формуле

$$L_z = L_z^{(1)} + L_z^{(2)}. \quad (2)$$

Здесь

$$L_z^{(1)} = I_z \dot{\phi}_1, \quad (3)$$

где  $\dot{\phi}_1$  – угловая скорость хлопкового волокна.

В точке  $C$  совершается контакт пилы и щетки. Поэтому участвующие величины обозначены через индекс «С».

Так как щетка 2 совершает плоское движение, то применим формулу

$$L_{z0}^{(2)} = L_{zC}^{(2)} + m_{z0}(Q_C^{(2)}). \quad (4)$$

Имеем

$$L_{z0}^{(2)} = I_C^{(2)} \omega_{2z}.$$

С учетом того, что

$$I_C^{(2)} = m_2 r_2^2,$$

а

$$\omega_{2z} = \frac{r_1 + r_2}{r_2} \dot{\phi}_2,$$

получим

$$L_{z0}^{(2)} = m_2 r_2 (r_1 + r_2) \dot{\phi}_2 + m_B r_2 \dot{\phi}_2. \quad (5)$$

Далее:

$$m_{z0}(Q_C^{(2)}) = m_{z0}(m_2 \vartheta_C).$$

$$L_z = [I_z + m_2(r_1 + r_2)(r_1 + 2r_2)] \dot{\phi}_2 + m_B r_2 \dot{\phi}_2. \quad (8)$$

В процессе съема хлопка с зуба пилы учитывается сила упругости хлопкового волокна. Тогда потенциальная энергия

$$П = \frac{1}{2} C_b \Delta_1^2 - \frac{1}{2} C_b \Delta_0^2.$$

При движении хлопка в зубе  $\Delta_0^2 = \Delta_{ст}^2$ , при взаимодействии зуба со щеткой

$$\Delta_1 = \Delta_{ст} + a \sin \varphi.$$

При малых углах  $\varphi$  с учетом  $\sin \varphi \approx \varphi$ , получаем:

$$П = \frac{1}{2} C_b \sin \varphi (2 \Delta_{ст} + a \sin \varphi).$$

Поскольку

$$\vartheta_C = (r_1 + r_2) |\dot{\phi}_2|,$$

то (рис.1):

$$m_{z0}(Q_C^{(2)}) = m_2 (r_1 + r_2)^2 \dot{\phi}_2. \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в формулу (4), находим

$$L_{z0} = (r_1 + r_2) \varphi_2 m_2 (r_2 + 1) + m_B \vartheta_2 \dot{\phi}_2.$$

Если рассматривается в точке С  $\varphi_1 = \varphi_2$  и  $m_B = 0$ , тогда

$$L_{z0}^{(2)} = m_2 (r_1 + r_2) (r_1 + 2r_2) \dot{\phi}. \quad (7)$$

Предполагается, что в точке «С» начинается съем хлопкового волокна. Поэтому изучаем механику процесса в точке «С». Подставив значения (3) и (7) в формулу (2), получим главный момент количеств движения системы относительно оси z:

К механизму приложены внешние силы:  $P_1 = M_1 g$  – сила тяжести зуба пилы;  $P_2 = M_2 g$  – сила тяжести щетки 2; вращающий момент  $m_{вр}$ ,  $R_{01}$ , и  $R_{02}$  – составляющие реакции неподвижной оси  $z_0$ ,  $R_p = R_{p1} + F_{упр}$ ; здесь  $R_p$  – реакция щетки,  $F_{упр} = C_b (\Delta_1 - \Delta_0)$ , в результате имеем:

$$\sum m_{z0}(F_k^e) = m_{врz} - R_p r_1. \quad (9)$$

Подстановка (8) и (9) в уравнение (1) дает

$$[m_b r_2 + I_z + M_2(r_1 + r_2)(r_1 + 2r_2)]\ddot{\phi} = m_{\text{впз}} - R_p r_1. \quad (10)$$

Мы не можем из уравнения (10) определить искомое угловое ускорение  $\ddot{\phi}$  кривошипа, ибо не известен модуль реакции  $R_p$ . Поэтому для исключения  $R_p$  из уравнения (10) надо дополнительно применить к шестке 2 одну из общих теорем, например, теорему об изменении главного момента количества движения в относительном движении по отношению к центру масс:

$$\frac{dL_{zC}}{dt} = \sum_{k=1}^n m_{zC}(F_k^e). \quad (11)$$

Учитывая, что  $\sum_{k=1}^n m_{zC}(F_k^e) = R_p r_2$ ,

$$\phi = \frac{m_{\text{впз}}}{I_z + 2M_2(r_1 + r_2) + 2m_b r_2^2} \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2.$$

При нулевых начальных условиях, то есть при  $t=0$ ,  $\phi=0$  и  $\dot{\phi}=0$ , из последних двух выражений получим  $C_1=0$ ,  $C_2=0$  и для закона вращения получим:

$$\phi = \frac{m_{\text{впз}}}{I_z + 2M_2(r_1 + r_2) + 2m_b r_2^2} \frac{t^2}{2}.$$

Решим эту задачу с помощью теоремы об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме:

$$dT = \sum_{k=1}^n \delta A_k. \quad (14)$$

Кинетическая энергия системы равна

$$T = T^{(OC)} + T^{(2)}. \quad (15)$$

В результате имеем

$$T^{(OC)} = \frac{1}{2} I_z \dot{\phi}^2. \quad (16)$$

после сокращения на  $r_2$  получим:

$$\{m_b r_2 + M_2(r_1 + r_2)\}\ddot{\phi} = R_p. \quad (12)$$

Теперь, исключив  $R_p$  из системы уравнений (11) и (12), находим искомое угловое ускорение:

$$\ddot{\phi} = \frac{m_{\text{впз}}}{I_z + 2M_2(r_1 + r_2) + 2m_b r_2^2}. \quad (13)$$

Решим это дифференциальное уравнение. Непосредственно интегрируя два раза, получим:

$$\dot{\phi} = \frac{m_{\text{впз}}}{I_z + 2M_2(r_1 + r_2) + 2m_b r_2^2} t + C_1,$$

Далее

$$T^{(2)} = \frac{1}{2} M_2 \vartheta_C^2 + \frac{1}{2} I_C \omega_2^2 + \frac{1}{2} m_b \vartheta_c^2,$$

так как

$$I_C = M_2 r_2^2, \quad \vartheta_C = (r_1 + r_2)|\dot{\phi}| + r_2|\dot{\phi}|r,$$

а

$$\omega_2 = \frac{r_1 + r_2}{r_2} |\dot{\phi}|,$$

то

$$T^{(2)} = M_2(r_1 + r_2)^2 \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} m_b \vartheta_c^2. \quad (17)$$

Подставив (15) и (16) в формулу (5), получим

$$T = \frac{1}{2} [I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2] \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} m_b \vartheta_c^2. \quad (18)$$

Элементарная работа внешних сил на угловом перемещении  $d\varphi$  системы равна:

$$\sum \delta A_k = m_{\text{впз}} d\varphi. \quad (19)$$

В выражение (19) реакция  $R_p$  не вошла, ибо  $\delta A(R_p) = R_p dr_p = R_p v_p dt = 0$ .

Отсутствие в (19) силы  $R_p$  значительно упрощает решение задачи.

Внеся значения (18) и (19) в уравнение (4), имеем:

$$[I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2] \dot{\varphi} d\varphi = m_{\text{впз}} d\varphi. \quad (20)$$

Учитывая, что  $m_{\text{впз}} = \text{const}$ , непосредственно интегрируя последнее уравнение, получим:

$$[I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2] \frac{\dot{\varphi}^2}{2} = m_{\text{впз}} \varphi + C_1.$$

Или, разрешая последнее уравнение относительно  $\dot{\varphi}$ :

$$\dot{\varphi} = \left[ \frac{2m_{\text{впз}}}{[I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2]} \varphi + C'_1 \right]^{1/2}. \quad (21)$$

Здесь

$$C'_1 = \frac{2C}{I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2}.$$

Разделяя переменные

$$\frac{d\varphi}{\left[ \frac{2m_{\text{впз}}}{[I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2]} \varphi + C'_1 \right]^{1/2}} = dt$$

и еще раз интегрируя, получим

$$2 \left[ \frac{2m_{\text{впз}}}{[I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2]} \varphi + C'_1 \right]^{1/2} = t + C_2, \quad (22)$$

где  $C_2$  – постоянная интегрирования.

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  найдем из начальных условий: при  $t=0$ ,  $\varphi=0$ ,  $\dot{\varphi}=0$ . Подставляя эти условия в уравнения (21), (22), получим  $C_1=0$ ,  $C_2=0$ .

Отсюда получим искомый закон вращения:

$$2 \left[ \frac{2m_{\text{впз}}}{[I_z + 2M_2(r_1 + r_2)^2]} \varphi \right]^{1/2} = t.$$

Приняв во внимание, что  $\dot{\varphi} d\varphi = \frac{d\varphi}{dt} d\varphi = \dot{\varphi} d\varphi$ , после сокращения уравнения (20) на  $d\varphi$  получим искомое угловое ускорение  $\ddot{\varphi}$  (см. формулу (14)). Для получения численных результатов составлен алгоритм и блок-схема. Исследовано уравнение  $\Omega^* = \omega_2 / \omega_1$  в зависимости от  $m^* = m_b / m_{\text{ш}}$ . Результаты расчетов приведены на рис.2 (зависимость массы снимаемого с пилы хлопкового волокна от соотношения угловых скоростей пильного цилиндра и щеточного барабана). Из рис.2 видно, что щетка эффективно снимает хлопковое волокно в области  $1,5 \leq \Omega \leq 2,5$ . Это означает, что  $\omega_2 = 2\omega_1$ .

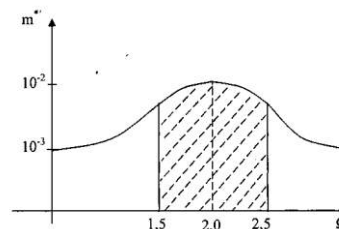


Рис.2

## ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования работы пильных джинов показали, что в настоящее время из-за применения пневматического съема волокна наблюдается неполный съем волокна с зубьев пил, и это волокно возвращается в рабочую камеру и теряется вместе с отджинированными семенами.

2. Для полного съема волокна с зубьев пил соотношения скоростей пильного цилиндра и щеточного барабана должны быть в пределах 1,5...2,5 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Гольдсмит В.* Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. – М.: Наука, 1969.
2. *Кельзон А.С., Урманский Ю.П., Яковлев В.И.* Динамика роторов в упругих опорах. – М.: Наука, 1982.

Рекомендована отделом джинирования ОАО «Рахта тозалаш». Поступила 20.03.08.

---