

## ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ЗАЖГУЧИВАНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ СВЯЗЕЙ ЧАСТИЦ ХЛОПКА-СЫРЦА ПРИ НЕЦЕНТРАЛЬНОМ УДАРЕ КОЛКОВ

Р.В.КОРАБЕЛЬНИКОВ, Х.И. ИБРОГИМОВ

(Костромской государственной технологической университет)

Зажгучивание хлопкового волокна при очистке на очистителях хлопка от мелкого сора в основном связано с нецентральным ударом колков по частицам (летучкам) хлопка-сырца, имеющим волокнистые связи, с образованным питающими валиками холстиком или другими частицами.

В работах [1], [2] рассмотрена одномассовая динамическая модель процесса движения летучки, описываемая уравнением

$$I_{0z} \frac{d^2\varphi}{dt^2} + C_\varphi \varphi = M(t), \quad (1)$$

где  $I_{0z}$  – момент инерции летучки относительно оси вращения;  $C_\varphi$  – коэффициент жесткости прядки волокон на кручение;  $M(t)$  – крутящий момент от силы удара на прядку.

В уравнении (1) возмущающий момент  $M(t)$  действует в течение короткого времени и потому можно считать его импульсным. Это означает, что за время действия момента упругая система выводится из равновесия, а затем, после завершения действия момента  $M(t)$ , она будет двигаться по закону гармонических колебаний, описываемому уравнением

$$\varphi = \varphi_0 \cos p_0 t, \quad (2)$$

где начальные параметры  $\varphi_0$  и  $p_0$  определяются из (1) ко времени завершения действия момента  $M(t)$ , а именно

$$\varphi_0 = \frac{M(t)_{\max}}{C_\varphi}, \quad p_0 = \sqrt{\frac{C_\varphi}{I_{0z}}}. \quad (3)$$

Решение (2) дифференциального уравнения (1) не позволяет ответить на главный вопрос: где остановится процесс колебаний, то есть, от чего будет зависеть остаточная деформация волокнистых связей, а значит и зажгученность частиц хлопка-сырца. Это является основным недостатком проведенных ранее исследований [1], [2].

В реальных процессах частицы хлопка, по которым наносится нецентральный удар колками, при движении испытывают сопротивление со стороны окружающей среды. Это, в первую очередь, трение о соседние волокнистые слои. Составим динамическую модель процесса с учетом сил сопротивления.

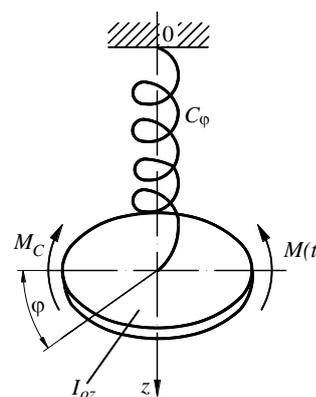


Рис. 1

На рис.1 показана модель, где  $M_c$  – момент сопротивления со стороны волокнистой среды;  $\varphi$  – координата поворота частицы;  $M(t)$  – импульсный момент от силы удара колка;  $OZ$  – ось вращения частицы;  $C_\varphi$  – коэффициент жесткости;  $I_{0z}$  – момент инерции частицы относительно оси  $OZ$ .

Дифференциальным уравнением движения частицы будет:

$$I_{0z}\ddot{\varphi} + C_{\varphi}\varphi = M(t) \pm M_c. \quad (4)$$

При составлении модели приняты следующие допущения:

– момент сопротивления со стороны волокнистой среды по величине считаем постоянным, а знак зависит от направления движения, то есть аналогично колебательным системам с сухим трением;

– импульсный момент создается постоянным по величине силой, внезапно приложенной к частице в момент времени  $t_1 = 0$  и действующей в течение промежутка времени  $\tau$  ( $\tau \rightarrow 0$ );

– коэффициент жесткости принимается постоянным.

Если рассматривать движение частицы после завершения действия момента  $M(t)$ , то уравнение движения будет:

$$I_{0z}\ddot{\varphi} + C_{\varphi}\varphi = \pm M_c, \quad (5)$$

или

$$I_{0z}\ddot{\varphi} + C_{\varphi}\varphi = -M_c^* \operatorname{sgn} \dot{\varphi}, \quad (6)$$

где  $M_c^*$  – абсолютная величина момента сопротивления (момента трения) при движении.

Решение уравнения (6) проводится известными методами [3], [4].

Разделим обе части уравнения (6) на  $I_{0z}$  и введем обозначения:

$$\frac{C_{\varphi}}{I_{0z}} = p_0^2; \quad \frac{M_c^*}{I_{0z}} = \frac{M_c^*}{C_{\varphi}} \frac{C_{\varphi}}{I_{0z}} = \varphi_c p_0^2,$$

где

$$\varphi_c = \frac{M_c^*}{C_{\varphi}} \quad (7)$$

есть отклонение системы от положения равновесия под действием момента, равного по величине моменту сопротивления (трения) при движении. В случае покоя эта величина будет:

$$\varphi_{c0} = \frac{M_{c0}^*}{C_{\varphi}}, \quad (8)$$

где  $M_{c0}^*$  – абсолютная величина момента сопротивления (трения) при покое.

В дальнейшем будем считать, что трение при движении и трение при покое равны, поэтому:

$$\varphi_{c0} \approx \varphi_c \text{ и } M_{c0}^* = M_c^*.$$

Учитывая изложенное выше, уравнение (6) переписывается так:

$$\ddot{\varphi} + p_0^2(\varphi + \varphi_c \operatorname{sgn} \dot{\varphi}) = 0, \quad (9)$$

Введя новую переменную ( $z = \varphi + \varphi_c \operatorname{sgn} \dot{\varphi}$ ), получим:

$$\ddot{z} + p_0^2 z = 0. \quad (10)$$

Решением однородного уравнения (10) будет:

$$z = A \cos p_0 t + B \sin p_0 t.$$

Или, возвращаясь к прежнему аргументу, получим:

$$\varphi = A \cos p_0 t + B \sin p_0 t - \varphi_c \operatorname{sgn} \dot{\varphi}. \quad (11)$$

Как уже отмечалось выше, мы рассматриваем процесс после завершения действия момента  $M(t)$ . Тогда начальными условиями будут:

$$t = t_0 = 0, \quad \varphi = \varphi_0 > 0, \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0 = 0. \quad (12)$$

Если рассматривать первый интервал движения, когда  $\dot{\varphi} < 0$ ,  $\operatorname{sgn} \dot{\varphi} = -1$  (движение системы назад), то уравнение (11) можно переписать:

$$\begin{aligned} \varphi &= A_1 \cos p_0 t + B_1 \sin p_0 t + \varphi_c, \\ \dot{\varphi} &= -A_1 p_0 \sin p_0 t + B_1 p_0 \cos p_0 t \end{aligned}$$

и в соответствии с начальным условиям получим:

$$A_1 = \varphi_0 - \varphi_c; B_1 = 0.$$

Тогда

$$\varphi = (\varphi_0 - \varphi_c) \cos p_0 t + \varphi_c.$$

Интервал заканчивается при  $p_0 t = \pi$  и  $\dot{\varphi} = 0$ . В этом случае:

$$\varphi_1 = -(\varphi_0 - 2\varphi_c). \quad (13)$$

Второй интервал движения (возврат) характеризуется  $\dot{\varphi} > 0$ ,  $\text{sign} \dot{\varphi} = +1$ , тогда по уравнению (11) имеем:

$$\begin{aligned} \varphi &= A_2 \cos p_0 t + B_2 \sin p_0 t - \varphi_c, \\ \dot{\varphi} &= p_0 (-A_2 \sin p_0 t + B_2 \cos p_0 t). \end{aligned}$$

Начальное условие для второго интервала:

$$t = t_1 = \frac{\pi}{p_0}, \quad \varphi = \varphi_1 < 0, \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_1 = 0.$$

Тогда

$$\begin{aligned} A_2 &= \varphi_0 - 3\varphi_c; B_2 = 0, \\ \varphi &= (\varphi_0 - 3\varphi_c) \cos p_0 t - \varphi_c. \end{aligned}$$

Интервал закончится при  $p_0 t_2 = \pi$  и  $\dot{\varphi} = 0$ .

Тогда

$$\varphi_2 = \varphi_0 - 4\varphi_c. \quad (14)$$

Любой последующий интервал отклонений можно определить по выражению

$$\varphi_N = (-1)^N (\varphi_0 - 2N\varphi_c). \quad (15)$$

Анализируя (13), (14) и (15), можно видеть, что каждый последующий размах уменьшается на величину  $2\varphi_c$ .

В каждом интервале движение происходит по гармоническому закону с амплитудой

$$\varphi_N = \varphi_0 - (2n-1)\varphi_c, \quad (16)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ .

Движение будет происходить вокруг центра смещения на  $\pm\varphi_c$  от нуля, с промежутком времени между размахами, равным  $\frac{\pi}{p_0}$ . Количество размахов можно определить по формуле [4]:

$$N \approx \frac{\varphi_0}{2\varphi_c} - \frac{1}{2}. \quad (17)$$

Учитывая, что  $\varphi_0 = \frac{M(t)}{C_\varphi}$ , а  $\varphi_c = \frac{M_c}{C_\varphi}$ ,

выражение (17) переписывается:

$$N = \frac{M(t)}{2M_c} - \frac{1}{2}. \quad (18)$$

Это означает, что по мере роста момента сопротивления движение частицы может заканчиваться в пределах первого размаха, то есть полученная деформация упругой связи при ударе колка по частице сохраняется.

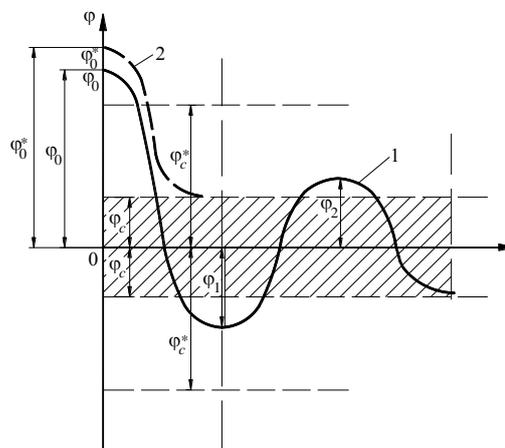


Рис. 2

На рис.2 показаны характерные графики колебаний с сухим трением.

Горизонтальная полоса шириной  $2\varphi_c$  есть область застоя для системы, совер-

шающей колебания по графику 1. Система остановится в области застоя, совершив два размаха  $\varphi_1, \varphi_2$ . Горизонтальная полоса с большим значением  $2\varphi_c^*$  может привести к остановке системы в зоне застоя, когда она не совершит ни одного размаха (кривая 2).

Для хлопковых частиц значение сил трения (сопротивления) значительное, так как коэффициент трения хлопка по хлопку составляет  $\mu = 0,75 \div 0,85$ . Поэтому чаще всего процесс колебаний быстро затухает, а остаточная деформация упругих связей будет определяться значениями ширины зон застоя, то есть величиной  $2\varphi_c$ .

Из-за высокого сопротивления и сравнительно небольших значений упругих свойств волокнистых связей на кручение есть предположение, что система будет чаще останавливаться в начале зоны застоя. Благодаря этому сохраняется остаточная деформация.

Вполне возможно, что по этой частице после ее остановки будет вновь нанесен удар следующим колком. Новый внецентральнй удар приведет к дополнительному закручиванию волокнистых связей и, как следствие, к загущиванию хлопка-сырца.

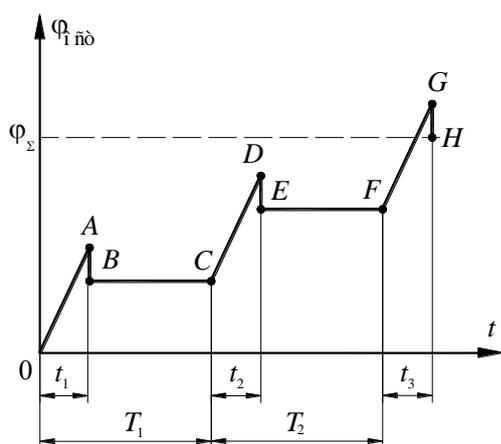


Рис. 3

На рис.3 показана схема накопления остаточной деформации после нанесения по частице последовательно трех ударов. На схеме  $t_1, t_2$  и  $t_3$  — время между ударами колков.

Участок OA соответствует времени  $t_1$  — закручивание волокнистых связей за время первого удара; AB — частичный возврат назад; BC — высотой до подхода следующего колка;  $T_1$  — период между ударами колков;  $\varphi_\Sigma$  — суммарное значение остаточной деформации после трех ударов колков:

$$\varphi_\Sigma = \sum_1^{\hat{e}} (\bar{\varphi}_0 - \bar{\varphi}_i), \quad (19)$$

где  $\bar{\varphi}_0$  — среднее значение закручивания упругих волокнистых связей после одного удара колком;  $\bar{\varphi}_i$  — среднее значение возврата упругой деформации;  $\hat{e}$  — число ударов колков по частице.

Для случая, когда упругие свойства волокнистых связей на скручивание малы и возврата частицы назад практически нет, формула (19) принимает вид

$$\varphi_\Sigma = \sum_1^{\hat{e}} \bar{\varphi}_0. \quad (20)$$

Для определения начальных параметров процесса закручивания частицы хлопка при нецентральной ударе по ней колком еще раз рассмотрим схему взаимодействия на рис.4.

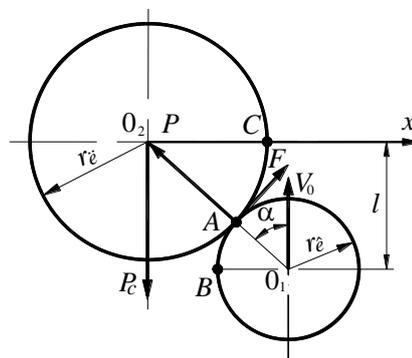


Рис. 4

Время удара (взаимодействия) можно определить, когда колек зайдет за линию OX. Это произойдет при времени

## ВЫВОДЫ

Теоретически описан процесс закручивания волокнистых связей частиц хлопка при внецентральном ударе по ним колков, что является основной причиной образования зажгученности хлопка-сырца в процессе его очистки на колковых и колково-шнековых очистителях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бурнашев Р.З.* Теоретические основы технологии очистки хлопка-сырца: Дис....докт. техн. наук. – Ташкент, 1983.
2. *Махкамов Р.Г.* Повышение технологической надежности хлопкоочистительных машин, работающих в ударном режиме. – Ташкент, Изд-во «Фан», 1989.
3. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967.
4. *Обморшев А.Н.* Введение в теорию колебаний. – М.: Наука, 1965.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 04.02.09.

$$t_1 = \frac{\ell}{V_0} = \frac{(r_{\text{с}} + r_{\text{к}}) \cos \alpha}{V_0}, \quad (21)$$

где  $r_{\text{с}}$  и  $r_{\text{к}}$  – радиус частицы хлопка-сырца и колка;  $\alpha$  – угол встречи;  $V_0$  – скорость колка.

За время взаимодействия частица переместится из точки А в точку В, и окажется на оси  $O_2X$ . Угол, на который повернется частица хлопка-сырца, будет:

$$\varphi_0 = \frac{(\frac{\pi}{2} - \alpha)r_{\text{с}}}{r_{\text{к}}}, \quad (22)$$

или, с учетом скольжения:

$$\varphi_0 = \frac{(\frac{\pi}{2} - \alpha)r_{\text{с}}}{r_{\text{к}}} \eta, \quad (23)$$

где  $\eta$  – коэффициент проскальзывания ( $\eta = 0,6 \div 0,9$ ), зависящий от состояния колка.