

УДК 674.815-41

С.М. Плотников

Сибирский государственный технологический университет

Плотников Сергей Михайлович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Красноярский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 60 печатных работ в области автоматизации производства древесных плит. Тел.: (391) 27-57-67



ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ОРИЕНТИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

Исследовано вращение древесных частиц, придаваемое им направляющим органом ориентирующего устройства; определена оптимальная скорость направляющего органа.

Ключевые слова: древесная частица, направляющий орган, угол ориентации, шаг ориентации, элементарная сила, коэффициент лобового сопротивления, ось вращения, момент инерции, радиус вращения.

Распределение стружки в формируемом ковре не за счет случайного рассеивания, а за счет ориентации позволяет получить конструкционный высокопрочный древесностружечный материал. С уменьшением угла ориентации стружки (α менее 30°) жесткость и прочность плит в направлении ориентирования возрастают, приближаясь к показателям прочности древесины.

Помимо дисковых ориентирующих устройств [3], фирмы «Bison-Werke», «Schenk», «Siempelkamp» и др. разрабатывают устройства, в которых стружка поступает на направляющий орган (бесконечная лента), соседние ветви которого перемещаются в противоположных направлениях. Попадая на них, стружка разворачивается. Подобные перспективные устройства способны ориентировать древесные частицы в большом диапазоне их длины, включая и крупноразмерные стренды для производства плит OSB. Для разработки и оптимизации этих устройств необходимо изучить поведение древесных частиц в них.

Проанализируем вращение частицы, придаваемое ей направляющим органом механического ориентирующего устройства.

Начальная угловая скорость частицы

$$\omega_{\text{нач}} = \frac{2V_n}{h_n}, \quad (1)$$

где V_n – скорость движения направляющего органа;

h_n – шаг ориентации (расстояние между соседними ветвями направляющего органа).

Рассмотрим силу сопротивления воздуха, действующую на элемент вращающейся частицы площадью dS , расположенный на расстоянии x от

оси вращения. Следует отметить, что ось вращения частицы может быть перпендикулярна ее плоскости lb (рис.1, *a*) или толщине h (рис. 1, *б*), но не может быть перпендикулярна ее ширине b , так как эти частицы проходят ориентирующее устройство, не получая вращающего момента от направляющего органа.

Элементарная сила сопротивления воздуха [4]

$$dF = C_x \rho_v dS \frac{(x\omega)^2}{2}, \quad (2)$$

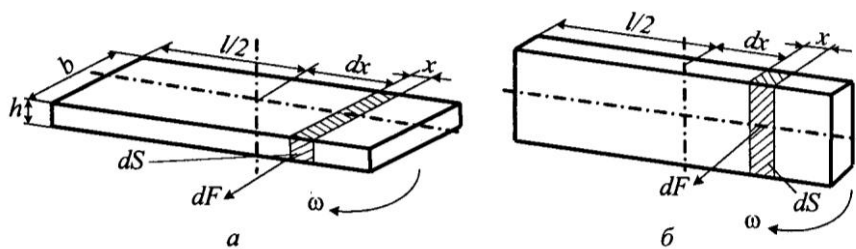


Рис. 1. Прямоугольная частица с осью вращения, перпендикулярной плоскости (*a*) и толщине (*б*)

где C_x – коэффициент лобового сопротивления частицы;

ρ_v – плотность воздуха, $\rho_v = 1,3 \text{ кг/м}^3$;

S – площадь частицы, $S = lb$;

ω – угловая скорость частицы.

Считая $dS = h dx$, из (2) получим силу сопротивления вращению частицы:

$$F = \int_0^{l/2} dF dx = \frac{C_x \rho_v h \omega^2}{2} \int_0^{l/2} x^2 dx = \frac{C_x \rho_v h \omega^2}{2} \frac{x^3}{3} \Big|_0^{l/2} = \frac{C_x \rho_v h \omega^2 l^3}{48}.$$

Момент сопротивления воздуха пропорционален силе и плечу ее приложения, т.е. $l/2$:

$$M = F \frac{l}{2}. \quad (3)$$

Момент, действующий на частицу с осью вращения, перпендикулярной плоскости,

$$M_h = \frac{C_x \rho_v h \omega^2 l^4}{96}.$$

Для частиц рациональных размеров справедливо соотношение $\frac{b}{h} = 5$

[5]. При этом коэффициент сопротивления частицы $C_x = 1,21$ [2].

Найдем момент сопротивления, действующий на частицу, ось вращения которой перпендикулярна толщине:

$$M_b = \frac{C_x \rho_b b \omega^2 l^4}{96}.$$

Причем коэффициент лобового сопротивления вращающейся частицы такой же, как у падающей: $C_x = 1,80$.

Геометрические размеры плоской частицы можно выразить через один из линейных размеров, например через длину l . Тогда частица размерами $40 \times 8 \times 0,4$ мм будет иметь объем $l \cdot 0,2 l \cdot 0,01l = 0,002l^3$. Моменты сопротивления $M_h = 0,16 \cdot 10^{-6} l^5 \omega^2$, $M_b = 4,87 \cdot 10^{-6} l^5 \omega^2$.

Зависимость $\omega(t)$ определим из уравнения вращательного движения частицы:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M, \quad (4)$$

где J – момент инерции частицы.

Для практических расчетов момента инерции воспользуемся формулой [1]

$$J = m \rho^2 = \rho_d (lbh) \rho^2, \quad (5)$$

где m – масса частицы;

ρ – радиус инерции;

ρ_d – плотность древесины.

Радиус инерции прямоугольной частицы относительно оси, проходящей через центр ее тяжести и перпендикулярной плоскости частицы (рис. 1, а):

$$\rho^2 = \frac{l^2 + b^2}{12} = \frac{l^2 + (0,2l)^2}{12} = 0,087l^2.$$

Если ось вращения перпендикулярна толщине частицы (рис. 1, б), то

$$\rho^2 = \frac{l^2 + h^2}{12} = \frac{l^2 + (0,01l)^2}{12} = 0,083l^2.$$

С учетом плотности древесины (сосновая стружка) $\rho_d = 500$ кг/м³ и объема частицы моменты инерции частиц с осями вращения, перпендикулярными плоскости и толщине, соответственно составят $J_h = 0,087l^5$ и $J_b = 0,083l^5$.

Уравнение (4) можно представить в виде

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M/\omega^2}{J} \omega^2 = B\omega^2. \quad (6)$$

Безразмерный коэффициент B зависит от плоскости вращения частицы и имеет достаточно малые значения:

$$B_h = \frac{M_h/\omega^2}{J_h} = \frac{0,16 \cdot 10^{-6} l^5}{0,087l^5} = 1,84 \cdot 10^{-6}; \quad B_b = \frac{M_b/\omega^2}{J_b} = \frac{4,87 \cdot 10^{-6} l^5}{0,083l^5} = 58,70 \cdot 10^{-6}.$$

При начальном условии $\omega(0) = \omega_{нач}$ запишем решение уравнения (6):

$$\omega(t) = \frac{1}{\frac{1}{\omega_{\text{нач}}} - Bt}. \quad (7)$$

Угол поворота частицы за время ее движения от направляющего органа до укладки в стружечный ковер находим интегрированием угловой скорости. При начальном условии $\alpha(0) = 0$ решение имеет вид:

$$\alpha(t) = \int \omega(t) dt = \frac{360}{2\pi B} \left[\ln \frac{1}{\omega_{\text{нач}}} - \ln \left(\frac{1}{\omega_{\text{нач}}} - Bt \right) \right] = -\frac{360}{2\pi B} \gamma, \% \quad (8)$$

Значения коэффициента B на 5-6 порядков меньше 1. С учетом эквивалентности малых величин $[\ln(1-x) \approx -x]$ при малых x получаем

$$\alpha(t) = \frac{360}{2\pi} \omega_{\text{нач}} t.$$

(9)

Из данного выражения следует, что угол разворота частицы пропорционален времени, а сопротивление воздуха практически не сказывается на ее вращении.

Экспериментально установлено, что при небольшой высоте ($H \leq 0,5$ м) время падения частицы (в секундах) пропорционально высоте падения (в метрах), т.е. $t = H$. Тогда с учетом (1) угол поворота частицы за время падения

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{360 V_{\text{н}} H}{\pi h_{\text{н}}}. \quad (10)$$

Направляющий орган ориентирующего устройства разворачивает частицы, упавшие на него под углом, превышающим значение $\alpha_{\text{нач}}$. Этот угол зависит от длины частиц l и шага ориентации $h_{\text{н}}$. Чем меньше отношение $h_{\text{н}}/l$, тем больше частиц подвергаются развороту. Определим долю разворачиваемых частиц:

$$\gamma = \left(1 - \frac{\arcsin \frac{h_{\text{н}}}{l}}{90} \right) 100\%. \quad (11)$$

Зависимость $\gamma(\frac{h_{\text{н}}}{l})$ представлена на рис. 2.

Начальный угол разворота отдельной частицы, при котором происходит ее сбрасывание с направляющего органа,

$$\alpha_{\text{нач}} = \arcsin \frac{h_{\text{н}}}{l}. \quad (12)$$

Разворачиваемые частицы получают начальную угловую скорость $\omega_{\text{нач}}$ и при оптимальной скорости движения направляющего органа должны развернуться до угла ориентации $\alpha = |\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{п}}| = 0$. Практически этот угол не всегда равен нулю, так как некоторые падающие частицы получают дополни-

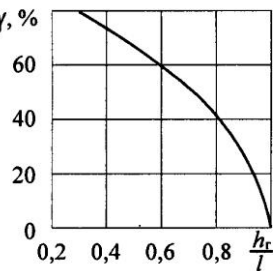


Рис. 2. Зависимость доли разворачиваемых частиц γ от соотношения их длины и шага ориентации

тельное вращение, связанное с их неидеальной плоской формой в виде лопасти.

Приравняв (10) и (12), получим значение оптимальной скорости движения направляющего органа:

$$V_n = \frac{\pi}{360} \frac{h_n}{H} \arcsin \frac{h_n}{l}. \quad (13)$$

Например, при длине ориентируемой частицы $l = 0,04$ м, шаге ориентации $h_n = 0,024$ м ($h_n/l = 0,6$) и высоте падения $H = 0,2$ м имеем оптимальную скорость движения направляющего органа $V_n = 0,039$ м/с. При этом 40 % частиц, упавших на гибкий орган под углом до $\alpha_{нач} = 37^\circ$, идут на формирование стружечного ковра без разворота, т.е. будут уложены в ковер под углом $\pm 37^\circ$, а 60 % частиц получают такую угловую скорость, что за время полета их угол относительно направления ориентации приближается к 0.

Выражение (13) позволяет определить оптимальную скорость движения направляющего органа в зависимости от длины ориентируемых частиц и параметров ориентирующего устройства. На основании полученной аналитической зависимости возможна разработка автоматических систем, поддерживающих такую скорость направляющего органа, при которой угол ориентации частиц минимален.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики [Текст]: учеб. / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1985. – Т. 2: Динамика. – 496 с.
2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / Е.И. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Леонович, А.А. Технология древесных плит: прогрессивные решения [Текст] / А.А. Леонович. – СПб.: Химиздат, 2005. – 208 с.
4. Основы электрогазодинамики дисперсных систем [Текст] / И.П. Верещагин [и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 480 с.
5. Поташев, О.Е. Древесностружечные плиты в конструкциях мебели [Текст] / О.Е. Поташев, Ю.Г. Лапшин, А.Ф. Абельсон. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 88 с.

Поступила 07.06.07

S.M. Plotnikov
Siberian State Technological University

Study of Rotation Movement of Wood Particles in Orientation Device

Rotation of wood particles excited by guiding body of orientation device is studied. The optimal speed of the guiding body is determined.

Keywords: wood particle, guiding body, orientation angle, orientation pitch, elementary force, head drag coefficient, rotation axis, inertia moment, radius of rotation.