



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.815-41

С.М. Плотников

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.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПАДЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ В ОРИЕНТИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ

Теоретически и экспериментально исследовано падение плоских древесных частиц в ориентирующем устройстве; получено выражение скорости падения частиц.

Ключевые слова: древесная частица, направляющий орган, ориентация, шаг ориентации, сила сопротивления воздуха, плотность воздуха, плотность древесины, коэффициент лобового сопротивления.

Производство и потребление древесностружечных плит в мире ежегодно увеличивается на 3 %, тогда как объем производства плит из ориентированной крупноразмерной стружки (OSB) возрастает в среднем на 16 % в год. Проектирование современных ориентирующих устройств для производства OSB должно учитывать особенности ориентации древесных частиц.

Один из способов механической ориентации основан на использовании жесткого (пластины, дисковые вальцы) или гибкого (бесконечная лента или нить) направляющего органа, соседние ветви которого размещены параллельно друг другу на расстоянии h_n (шаг ориентации) и двигаются в противоположных направлениях [5].

Расстояние между соседними ветвями направляющего органа должно быть меньше длины ориентируемой стружки, т.е для надежной ориентации нужно выполнять условие

$$h_n < l_n / 2$$

где l_n – средняя длина ориентируемой древесной частицы.

Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро [5] уделяют одинаковое внимание как «валковым» ориентирующим устройствам, так и устройствам с гибкой бесконечной лентой.

Валковое ориентирующее устройство представляет собой раму с установленной на ней валками, на которые насажены тонкие диски. Диски

расположены в шахматном порядке с перекрытием. Зазор между дисками увеличивается по ходу продвижения стружки. Направления вращения всех валков, за исключением последнего, одинаковое, у последнего – встречное, что препятствует выносу стружки за пределы устройства.

Недостатки валкового устройства по сравнению с устройством на основе гибкой бесконечной ленты: частые изломы стружки, более высокий угол отклонения от продольного направления (угол ориентирования). Согласно [5], 30 % стружки в таком устройстве падает с углом отклонения 5° , 60 % – с углом 15° , остальные 10 % имеют угол отклонения более 30° . Таким образом, средневзвешенная величина угла отклонения

$$0,3 \cdot 5 + 0,3 \cdot 15 + 0,1 \cdot 30 = 13,5^\circ.$$

У устройств на основе гибкой бесконечной ленты (при оптимальной скорости перемещения ленты) этот угол составляет $10,2^\circ$ [4]. Данный угол может быть еще меньшим при работе с более длинными частицами.

В ориентирующем устройстве фирмы «Bison-Werke» [2] бесконечная гибкая лента движется между вертикальными ограничительными пластинами (рис. 1). Подаваемая на формирование ковра стружка разворачивается с помощью выступов на кромках гибкой ленты и проходит между ее ветвями. Данное устройство позволяет осуществлять как продольную, так и поперечную ориентацию стружки.

В статье делается попытка создания теоретической базы для совершенствования и модернизации ориентирующих устройств, используемых в производстве как плит OSB, так и обычных древесностружечных плит.

Для определения оптимальных параметров ориентирующего устройства (скорость движения направляющего органа, высота его расположения, шаг ориентации) необходимо рассмотреть поведение отдельной плоской древесной частицы от момента ее разворота направляющим органом до момента укладки в стружечный ковер. Движение твердого тела под действием приложенных к нему сил сводится к движению центра тяжести и вращению тела относительно этого центра.

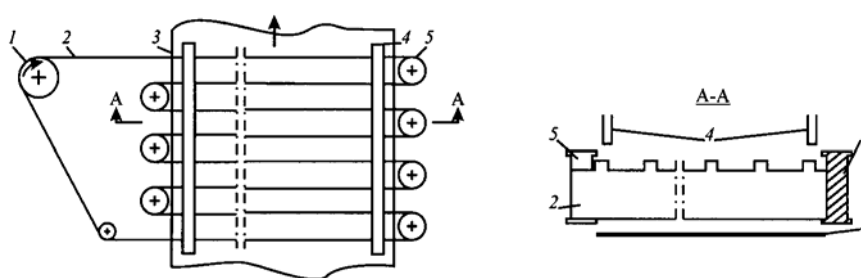


Рис.1. Схема ориентирующего устройства фирмы «Bison-Werke»: 1 – ведущий ролик; 2 – гибкая лента; 3 – формирующий транспортер; 4 – ограничительные пластины; 5 – направляющие ролики

Для определения времени t нахождения частицы в ориентирующем устройстве рассмотрим движение ее центра тяжести. В соответствии со вторым законом Ньютона

$$m \frac{dV}{dt} = F_g - F_c, \quad (1)$$

где m – масса частицы;

V – скорость падения частицы;

F_g – сила тяжести;

F_c – сила сопротивления среды движению частицы.

Оценим эти силы для частицы стружки из древесины сосны плотностью $\rho_d = 500 \text{ кг/м}^3$ рациональных размеров [3] (длина $l = 40 \text{ мм}$, ширина $b = 8 \text{ мм}$, толщина $h = 0,4 \text{ мм}$):

$$F_g = \rho_d(l b h) g = 500 (40 \cdot 8 \cdot 0,4) \cdot 10^{-9} \cdot 9,81 = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ Н}; \quad (2)$$

$$F_c = C_x \rho_v S \frac{V^2}{2}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения;

C_x – коэффициент лобового сопротивления, зависящий от числа Рейнольдса, формы и шероховатости частицы; считая древесную частицу плоской пластинкой, ориентировочно принимаем $C_x = 1,1$ [1];

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

S – площадь частицы, $S = lb$.

При высоте падения $H = 0,2 \dots 0,5 \text{ м}$ скорость движения частицы ориентировочно можно принять средней, $V = 1 \text{ м/с}$.

Тогда

$$F_c = 1,1 \cdot 1,3(40 \cdot 8) \cdot 10^{-6} \frac{l^2}{2} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

Так как для древесных частиц данного размера сила тяжести и сила сопротивления воздуха соизмеримы, то выражение (1) с учетом (2) и (3) примет следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F_g - F_c}{m} = \frac{\rho_d(lbh)g - C_x \rho_v(lb) \frac{V_{\text{ср}}}{2}}{\rho_d(lbh)g} = g - AV^2, \quad (4)$$

где t – время падения частицы;

A – коэффициент, $1/\text{м}$, зависящий от плотности воздуха, коэффициента сопротивления частицы, ее плотности и толщины, $A = \frac{\rho_v C_x}{2\rho_d h}$.

Таким образом, решение (4) имеет следующий вид:

$$V(t) = \sqrt{\frac{g}{A} \frac{1 + Ce^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}{1 + Ce^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}}, \quad (5)$$

где C – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий $V(0) = V_0$,

$$C = \frac{V_0 - \sqrt{\frac{g}{A}}}{V_0 + \sqrt{\frac{g}{A}}};$$

V_0 – начальная скорость движения частицы.

Тогда запишем в общем виде выражение (5):

$$V(t) = \sqrt{\frac{g}{A}} \frac{(V_0 + \sqrt{\frac{g}{A}}) + (V_0 - \sqrt{\frac{g}{A}})e^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}{(V_0 + \sqrt{\frac{g}{A}}) - (V_0 - \sqrt{\frac{g}{A}})e^{-2\sqrt{gA} \cdot t}}. \quad (6)$$

Для частиц, разворачиваемых направляющим органом, $V_0 = 0$. В данном случае скорость движения частицы определяют выражением гиперболического тангенса:

$$V(t) = \sqrt{\frac{g}{A}} \operatorname{th}(\sqrt{gA} \cdot t). \quad (7)$$

Таким образом, предельная скорость падения частицы зависит от плотности среды (воздуха), плотности, толщины и коэффициента лобового сопротивления частицы и не зависит от ее длины и ширины.

Путь, проходимый частицей, определяем посредством интегрирования $V(t)$:

$$S(t) = \int V(t) dt = \sqrt{\frac{g}{A}} \int \operatorname{th}(\sqrt{gA} \cdot t) dt = \frac{1}{A} \ln \operatorname{ch}(\sqrt{gA} \cdot t) + C_1. \quad (8)$$

Определяемая из начальных условий $S(0) = 0$ постоянная интегрирования $C_1 = 0$.

Упрощенно древесную частицу можно считать идеальной плоской пластинкой. При этом не учитывают размеры, неравномерность формы, шероховатость и другие особенности осмоленных древесных частиц, подвергающихся механической ориентации. Для расчетов необходимо проведение экспериментальных исследований падения частиц различных размеров и уточнение коэффициента их лобового сопротивления C_x .

Эксперименты были проведены на плоской осмоленной сосновой стружке, изготовленной на стружечном станке ДС-6. Толщину стружки от 0,2 до 1,0 мм задавали скоростью подачи и величиной выступа режущей кромки ножей. Средняя длина стружки – 40 мм, ширина – 8 мм. Как установлено выше, два последних параметра практически не влияют на скорость падения частицы. При высоте падения 2 м считаем, что конечная (установившаяся) скорость падения стружки V_k равна ее средней скорости V_{cp} . Время падения измеряли с помощью секундомера. Усредненные данные 20 измерений для стружки различной толщины h представлены в таблице. Данный диапазон толщин соответствует размерам стружки, применяемой в производстве [3].

Зависимость времени падения t , средней скорости $V_{\text{ср}}$ и коэффициента C_x от толщины стружки h

Показатели	Значение показателей при различных значениях h , мм				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
t , с	2,24	1,56	1,24	1,06	1,01
$V_{\text{ср}}$, м/с	0,89	1,28	1,61	1,89	1,98
C_x	1,91	1,84	1,75	1,70	1,92

При высоте падения 2 м и времени падения частиц определена их средняя скорость. Зависимость $V_{\text{ср}}$ от h представлена на рис. 2.

Из выражения (7) можно определить конечную скорость, развиваемую частицей при падении:

$$V_k = \sqrt{\frac{g}{A}} = \sqrt{\frac{2g\rho_d h}{C_{xT}\rho_w}}$$

Для достаточно большой высоты падения можно считать, что конечная скорость V_k равна средней скорости $V_{\text{ср}}$. Тогда коэффициент лобового сопротивления частиц различной толщины

$$C_x = \frac{2g\rho_d h}{\rho_w V_{\text{ср}}^2} \quad (8)$$

Как видно из таблицы, с увеличением толщины частиц коэффициент C_x несколько снижается, причем при изменении толщины частиц в 5 раз изменяется C_x на 11 %. Поэтому в инженерных расчетах для плоских частиц, применяемых в производстве древесностружечных плит, данный коэффициент можно принять равным 1,8. При этом погрешность расчетов не превысит 6 %.

Зависимости скорости частицы и проходимого ей пути от времени, построенные по (7) и (8) при $C_x = 1,8$, представлены на рис. 3. Здесь

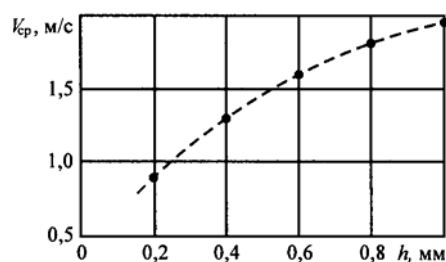


Рис. 2. Зависимость средней скорости $V_{\text{ср}}$ падения частиц от их толщины h

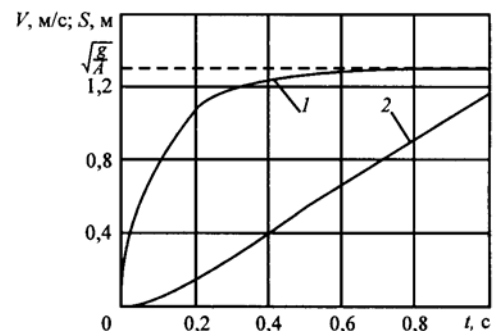


Рис. 3. Зависимость скорости V (1) и пути S (2) древесной частицы от времени t

значение $\sqrt{\frac{g}{A}}$ близко к 1,3 м/с, причем можно считать, что ускорение частицы заканчивается за 0,5 с после того, как она пройдет около 0,5 м; далее частица движется равномерно. Из графика $S(t)$ видно, что при небольшой высоте ($H \leq 0,5$ м) время падения частицы (в секундах) пропорционально высоте падения (в метрах), т.е. $t = H$.

Полученные соотношения могут быть использованы для расчета оптимальных параметров ориентирующего устройства в производстве древесностружечных плит из ориентированной крупноразмерной стружки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Идельчик, И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. Пат. 2730403 ФРГ, МКИ⁵ В 29 J 5/04. Vorrichtung zum Ausrichten von mit einem Bindemittel versehenen lignozellulosehaltigen Teilchen [Текст]. – Приоритет. 1980.
3. *Поташев, О.Е.* Механика древесных плит [Текст] / О.Е. Поташев, Ю.Г. Лапшин. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 112 с.
4. *Плотников, С.М.* Совершенствование системы ориентирования стружки в производстве древесных плит [Текст] / С.М. Плотников // *Деревообработ. пром-сть.* – 2007. – № 5. – С. 4 – 6.
5. *Шварцман, Г.М.* Производство древесностружечных плит [Текст] / Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 21.08.06

S.M. Plotnikov

Siberian State Technological University

Investigation of Wooden Particles Fall in Orientation Device

Fall of flat wooden particles in the orientation device is investigated theoretically and experimentally; the expression of particles fall speed is produced.

Keywords: wooden particle, guiding body, orientation, orientation spacing, air resistance force, air density, wood density, drag coefficient.