



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.815-41

С.М. Плотников, М.С. Лурье

Сибирский государственный технологический университет

Плотников Сергей Михайлович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Красноярский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ в области совершенствования производства древесных плит.
E-mail: smplochnikov@rambler.ru



Лурье Михаил Семенович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 100 печатных работ в области расходомерии и моделирования технологических процессов.
E-mail: m_o_1@rambler.ru



МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПЛОСКОЙ ДРЕВЕСНОЙ ЧАСТИЦЫ ПРИ ОРИЕНТИРОВАНИИ

Получены зависимости для определения времени падения древесных частиц от их длины, ширины, толщины и высоты падения, позволяющие минимизировать угол ориентации частиц в плитных материалах.

Ключевые слова: плоская частица, время падения, имитационная модель, ориентированная структура, импульс вращения, коэффициент лобового сопротивления.

Современная технология изготовления плит из крупноразмерной ориентированной стружки (OSB) предусматривает ориентирование древесных частиц при формировании стружечного брикета (ковра), который в дальнейшем подвергается горячему прессованию. Благодаря ориентации частиц в брикете (наружные слои – в продольном, внутренние – в поперечном направлении) возможно значительно повысить прочность на изгиб изготавливаемых плит. Причем, чем выше степень ориентации частиц, тем выше прочность.

В производстве OSB механически ориентируют древесные частицы такие фирмы, как «Norbord» (Канада), «Glunz и Kronoply» (Германия), «Egger и Kronopan» (Австрия) и др. При этом скорость движения направляющих органов выбирается преимущественно на основании производительности

оборудования, а фактор минимизации угла ориентации стружки является второстепенным. Данные работы [6] свидетельствуют, что средневзвешенный угол укладки частиц в брикет для дискового ориентирующего устройства составляет не менее 15°. Данный угол можно значительно снизить за счет придания частицам вращательного импульса, определить который можно либо сложными инженерными расчетами, либо за счет моделирования движения ориентируемых частиц.

Цель нашей работы – предложить методику моделирования поведения плоской древесной частицы в ориентирующих устройствах при формировании стружечного брикета.

Зная динамику движения древесной частицы, в частности изменение скорости и времени падения от ориентирующего органа до укладки в брикет, можно так подобрать действующий на частицу вращающий импульс, что она будет уложена в брикет с наименьшим углом отклонения. Это позволит значительно улучшить основной механический показатель таких плит – прочность на изгиб.

Без учета импульса вращения, придаваемого направляющими органами ориентирующего устройства, на частицу, свободно падающую в воздушной среде, действуют силы тяжести $P = mg$ и сопротивления воздуха F_B . На основании расчета этих сил можно оптимизировать импульс вращения.

Дифференциальное уравнение движения частицы имеет следующий вид:

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = mg - F_B, \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг;

s – путь, пройденный частицей, м;

t – время падения частицы, с;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Сила F_B зависит от скорости движения частицы относительно воздуха и может быть определена по формуле Ньютона. Тогда запишем выражение (1):

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = mg - C_x S_d \rho_B \frac{V^2}{2}, \quad (2)$$

где C_x – коэффициент аэродинамического (лобового) сопротивления частицы;

S_d – площадь проекции поперечного сечения частицы на плоскость, перпендикулярную направлению ее движения, м^2 ;

ρ_B – плотность воздушной среды при нормальных условиях, $\rho_B = 1,29 \text{ кг/м}^3$;

V – скорость движения частицы, м/с .

Массу частицы определяют по ее размерам и удельной плотности материала:

$$m = BLh \rho_M, \quad (3)$$

где B – ширина частицы, $B = 0,01 \dots 0,03 \text{ м}$;

L – длина частицы, $L = 0,05 \dots 0,15 \text{ м}$;

h – толщина частицы, $h = 0,0004 \dots 0,0007 \text{ м}$;

ρ_M – удельная плотность материала частицы, $\rho = 400 \dots 700 \text{ кг/м}^3$.

При плоскопараллельном падении площадь частицы

$$S_d = BL. \quad (4)$$

Для расчета времени падения частицы по уравнению (2) необходимо знать коэффициент лобового сопротивления C_x . В разных источниках [1, 2] значения коэффициента C_x при малых числах Рейнольдса (Re) имеют большой разброс и недостоверны, так как получены на основании малого числа экспериментов. Кроме того, большое влияние на сопротивление частицы оказывает ее удлинение. В [5] для плоских частиц, применяемых в производстве древесностружечных плит, данный коэффициент рекомендовано принимать равным 1,8. Однако C_x будет существенно варьировать при изменении скорости падения частицы, что не приемлемо для инженерных расчетов.

Таким образом, чтобы определить скорость частицы V , необходимо знать коэффициент C_x , который нелинейно зависит от Re. Последнее, в свою очередь, зависит от скорости частицы V . Исключение из модели коэффициента C_x возможно за счет моделирования аэродинамических процессов, возникающих при падении частицы в воздушной среде. Для решения данной задачи использовали численное моделирование с помощью программы Comsol Multiphysics 3.5. Это мощная интерактивная среда для моделирования и решения научных и технических задач, описание которых возможно дифференциальными уравнениями в частных производных [7]. Программное обеспечение пакета поддерживает конечно-элементную технологию вместе с адаптивным построением сетки и контролем ошибок при работе с различными численными решателями.

Расчет падения частицы с учетом ее аэродинамики заключался в определении зависимости силы торможения частицы от времени ее падения на модели в программе Comsol Multiphysics 3.5. Полученную зависимость в виде аппроксимирующего выражения вводили в S-модель падения частицы, созданную ранее в программе MatLab/Simulink. Скорость и время падения частицы определяли с учетом силы аэродинамического торможения в воздухе. При этом необходимость использования нелинейной зависимости коэффициента лобового сопротивления C_x от числа Re отпала.

Алгоритм расчета времени падения плоской частицы с высоты H_0 в зависимости от ее параметров представлен на рис. 1.

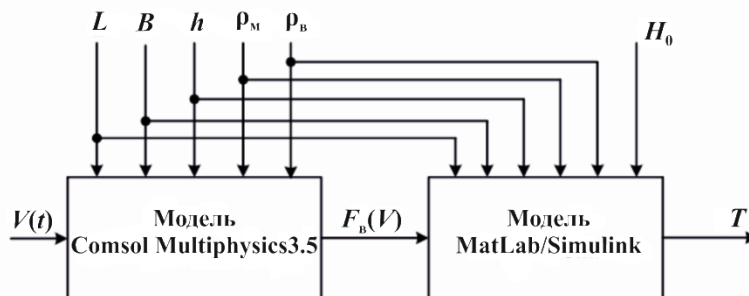


Рис. 1. Алгоритм расчета времени падения частицы

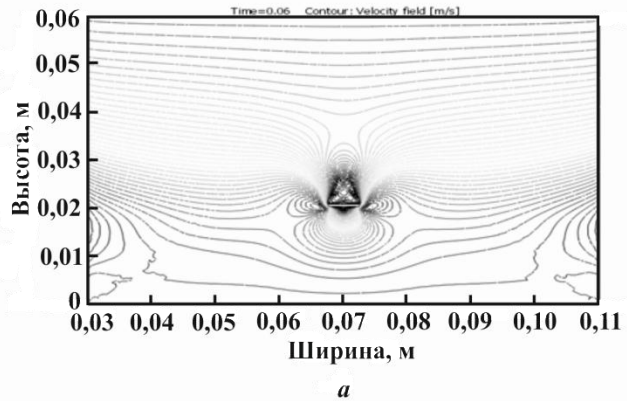
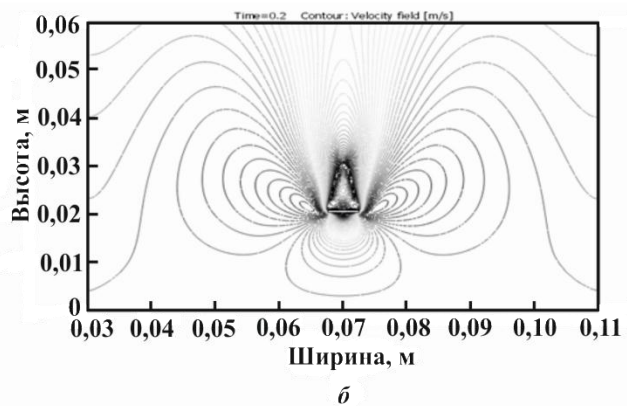


Рис. 2. Поле скоростей после начала движения частицы: *a* – через 0,06 с; *б* – через 0,20 с



В ходе численного моделирования обтекания падающей частицы получаем в программе Comsol Multiphysics 3.5 поля давлений и скоростей вокруг нее. В качестве примера на рис. 2 приведено обтекание частицы через 0,06 и 0,20 с после начала движения. (Здесь оси координат являются высотой и шириной ориентирующего пространства в метрах).

По результатам моделирования падения частицы получена зависимость силы сопротивления воздуха F_b от числа Re , аппроксимируя которую с помощью пакета Curve Fitting программы MatLab получим следующее выражение (коэффициент корреляции $R = 0,99991$):

$$F_b = \frac{BL}{B_0L_0} (0,0007845 Re^2 - 0,0001813 Re + 4,05 \cdot 10^{-5}), \quad (5)$$

где B_0 – средняя ширина частицы, $B_0 = 0,002$ м;

L_0 – средняя длина частицы, $L_0 = 0,1$ м.

Имитационная модель для данной задачи составлена в пакете Simulink. В модели (рис. 3) блоки Vch и tch служат для задания соответственно ширины и толщины плоской частицы. Выражение (5) в модели рассчитывает блок Fcn3.

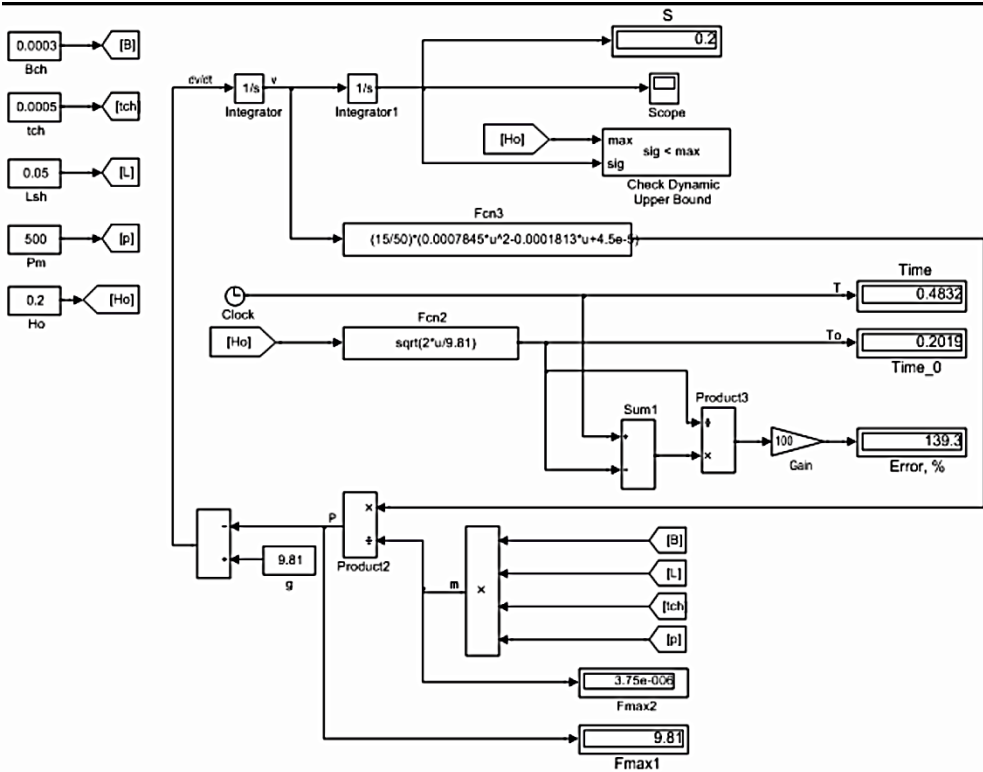
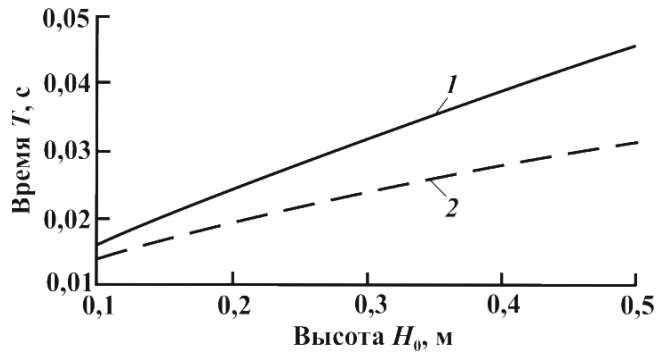


Рис. 3. Имитационная модель (S-модель) падения плоской частицы

Графики, полученные на основе результатов моделирования (рис. 4), показывают, что время падения частицы зависит от ее толщины и плотности и не зависит от ее длины и ширины, так как при увеличении этих параметров во столько же раз возрастает площадь сечения частицы и, соответственно, растет сила аэродинамического торможения.

Результаты моделирования были экспериментально проверены с помощью скоростной цифровой видеокамеры Fastvideo-400 (частота сканирования 2600 кадров в секунду) путем фиксации падения с высоты 0,2 м плоской частицы из древесины сосны длиной 0,1 м и шириной 0,01 м. Время падения составило 0,25 с, что соответствует расчетному значению (погрешность не более 5 %).

Рис. 4. Зависимость времени падения частицы T от высоты ее падения H_0 ($B = 0,01$ м; $L = 0,1$ м; $h = 0,0005$ м; $\rho_m = 500$ кг/м³) в воздухе (1) и в вакууме (2)



Зная время падения частицы T , можно определить скорость ее вращения (ω , рад/с), необходимую для минимизации угла укладки частицы в брикет:

$$\omega = \frac{2\pi n + \alpha_{\text{нач}}}{T}, \quad (6)$$

где n – число оборотов, задаваемое частице, $n = 0$ или 1 ;

$\alpha_{\text{нач}}$ – угол схода частицы с направляющих (ориентирующих) органов, зависящий от расстояния между ними и длины частицы, рад.

Число n определяется производительностью ориентирующего устройства. Чем оперативнее требуется ориентировать частицы, тем больший импульс вращения следует им придать и тем больше должна быть скорость ω . При этом частица может совершить дополнительный оборот. В последнем случае погрешность ориентирования возрастает. На основании выражения (6) определяется скорость перемещения ориентирующих органов (в случае, когда соседние ветви органов движутся в противоположных направлениях) или вращения органов (для дисковых ориентирующих устройств). При использовании в ориентирующем оборудовании систем контроля *online* изложенная методика моделирования, в частности формула (6), позволяет обойтись без сложных расчетов, необходимых для определения линейной или угловой скорости движения ориентирующих органов [3, 4].

Итоги моделирования поведения плоской древесной частицы при ориентировании:

определено время ее падения в зависимости от размеров частицы и высоты падения;

получены поля давлений, действующих на частицу при падении;

установлено, что время падения не зависит от длины и ширины частицы и определяется только ее толщиной и плотностью;

исключена необходимость расчета коэффициента лобового сопротивления C_x , так как данный параметр определяется автоматически;

определено отклонение времени падения от среднего значения при сочетании параметров частицы случайным образом;

выявлено, что для реальных размеров ориентирующего устройства время падения в воздушной среде до 20 % отличается от времени падения в вакууме.

Результаты исследования позволяют повысить прочность на изгиб – основной механический показатель плит OSB.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
2. *Кутателадзе С.С.* Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. справ. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
3. Пат. РФ 2315689, МПК В27N3/14. Способ ориентации древесных частиц / Плотников С.М. Оpubл. 27.01.2008, БИ № 3.

4. Пат. РФ 2368495, МПК В27N3/14. Способ ориентации древесных частиц / Плотников С.М., Хлебодаров В.Н. Оpubл. 27.09.2009, БИ № 27.

5. Плотников С.М. Исследование падения древесных частиц в ориентирующем устройстве элементов//Лесн. журн. 2008. № 4. С. 66–71. (Изв. высш. учеб. заведений).

6. Шварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесностружечных плит. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 320 с.

7. Шмелев В.Е. Femlab 2.3. Руководство пользователя. М.: Диалог-МИФИ, 1999. 442 с.

Поступила 17.01.12

S.M. Plotnikov, M.S. Lurie
Siberian State Technological University

Modeling of a Flat Wood Particle Motion During Alignment

The dependences of wooden particles fall rate on their length, width, thickness and height of fall that allow to minimize the angle of orientation of particles in wood boards have been obtained.

Key words: flat particle, fall duration, simulation model, oriented structure, impulse of rotation, frontal resistance coefficient.