УДК 677.11.051.151.26

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ МАТЕРИАЛА В ТРЯСИЛЬНЫХ МАШИНАХ С НИЖНИМ ГРЕБЕННЫМ ПОЛЕМ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ УЧАСТКОВ СЛОЯ, НЕ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ С ИГЛАМИ*

И.А. ШИРШОВ

(Костромской государственный технологический университет)

Разработка математической модели процесса трясения в машинах с нижним гребенным полем является актуальной задачей, так как ее решение позволит вести анализ влияния различных конструктивных параметров на протекание процесса трясения.

В работах, посвященных исследованию процесса трясения [1…3], упоминается о влиянии участков слоя, не взаимодействующих с иглами, на перемещения материала в процессе обработки, однако количественной оценки данного явления не приводится.

Задачей настоящей работы является определение перемещений материала с учетом влияния участков слоя, не взаимодействующих с иглами.

Принятые допущения:

– плотность материала, расположенного на колосниковой решетке трясильной машины одинакова в продольном и поперечном направлении;

– слой разделен на одинаковые по размерам участки, взаимодействующие с иглами, и участки между иглами, перемещающиеся под действием упругих деформаций слоя (рис. 1…3, где L_v – расстояние между гребенными валиками; W_v – шаг игл; h_s – толщина слоя; М1, М3 – центры масс участков слоя, не взаимодействующих с иглами; М2, М4 – центры масс участков слоя, взаимодействующих с иглами; рис. 1 – схема деления слоя на участки: 1 – игла, 2 – плоскость решетки, рис. 2 – силы, действующие на участок слоя М2, рис. 3 – на участке М1 и М3);

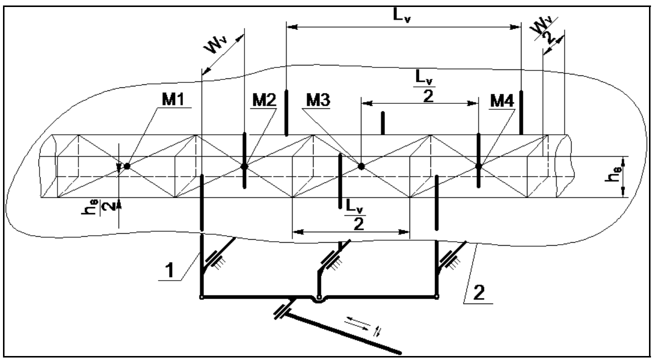

Рис. 1

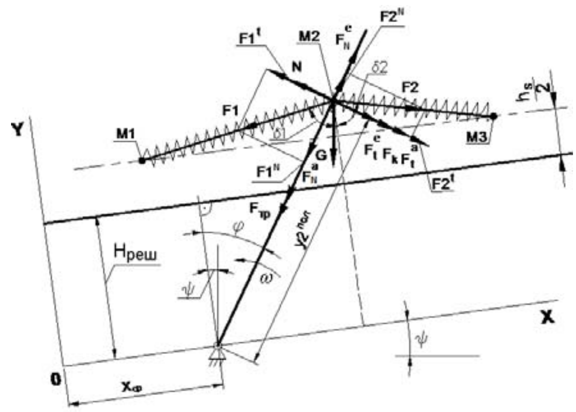

Рис. 2

*Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук В.А. Дьячкова.

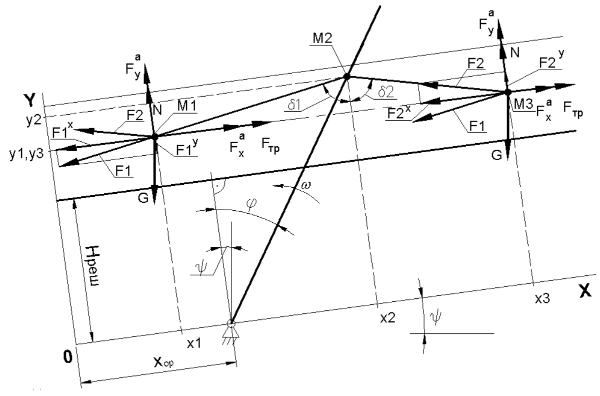

Рис. 3

– центры масс участков слоя в состоянии покоя располагаются: в поперечном направлении – по оси игл, по высоте – на уровне середины толщины слоя h_S, в продольном направлении: а) для участков слоя, взаимодействующих с иглами – совпадают с осью иглы, б) для участков слоя, не взаимодействующих с иглами – на расстоянии, равном половине расстояния между осями гребенных валиков. В начальный момент контакта с иглой, состояние слоя принимается ненапряженным. Расстояния между центрами масс М1, М2 и М3, М2 – L_0 считаются эталонными при расчете сил упругой деформации в последующих вычислениях.

$$L_0 = \frac{L_v}{2}; \qquad (1)$$

– силы сцепления материала в слое представляются как силы упругого растяжения-сжатия материала между центрами масс участков слоя;

– движущей силой для слоя М1, М2, М3 является воздействие иглы на центр масс участка слоя М2. Центры масс М1 и М3 перемещаются под действием упругой связи с центром масс М2.

Составим дифференциальные уравнения движения центров масс М2 с учетом влияния участков слоя, не взаимодействующих с иглами М1 и М3.

Рассмотрим рис.2, где показаны и обозначены силы, действующие на центр масс участка слоя М2: G – вес; N – реакция иглы; $F_{тр}$ – трения; F_k – Кориолиса; F1, F2 – упругой деформации участка слоя между точками М1 и М2 , М3 и М2; F_N^e, F_t^e – нормальная, тангенциальная составляющая инерции (проекции); F_N^a, F_t^a – аэродинамического сопротивления (проекции). Перемещения, в направлении, перпендикулярном игле, принимаются нулевыми, так как участок слоя насажен на иглу. Для центра масс М2 используем полярную систему координат, жестко связанную с иглой. Смещение центра масс М2 от оси гребенного валика $y2^{пол}$ будет определяться уравнением:

$$\frac{d^2 y2^{пол}}{dt^2} - 2f\omega\frac{dy2^{пол}}{dt} + (f^{игл}\varepsilon - \omega^2)y2^{пол} = -f^{игл} g\sin(\varphi) - g\cos(\varphi) - f^{игл}\frac{\rho_в CS\left(\omega y2^{пол}\right)^2}{2m} -$$

$$-\frac{\rho_в CS\left(\frac{dy2^{пол}}{dt}\right)^2}{2m} - \frac{F1^N}{m} - \frac{F2^N}{m} - f^{игл}\frac{F1^t}{m} + f^{игл}\frac{F2^t}{m}, \qquad (2)$$

где $y2^{пол}$ – смещение центра масс М2 от оси гребенного валика; ε – угловое ускорение иглы, $с^{-2}$; ω – угловая скорость иглы, $с^1$; φ – угол отклонения иглы от вертикального положения, рад; $f^{игл}$ – коэффициент трения волокна об иглу; $\rho_в$ – плотность воздуха, кг/м^3; m – масса выделенного участка слоя, кг; S – площадь миделевого сечения комочка, м^2; $F1^N$,$F2^N$ – проекция сил растяжения-сжатия слоя на нормаль к игле, Н; $F1^t$, $F2^t$ – проекция сил растяжения-сжатия слоя на ось иглы, Н; С – безразмерный коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от формы тела (участка слоя отходов трепания).

Расчет координаты $y2^{пол}$ производится средствами программы Mathcad, для чего уравнение (2) сводится к системе уравнений

$$
\begin{cases}
\dfrac{dy1^{пол}}{dt} = -f^{игл} g\sin(\varphi) - g\cos(\varphi) - f^{игл}\dfrac{\rho_в CS\left(\omega y2^{пол}\right)^2}{2m} - 2f\omega y1^{пол} + (f^{игл}\varepsilon - \omega^2)y2^{пол}, \\
-\dfrac{\rho_в CS\left(y1^{пол}\right)^2}{2m} - \dfrac{F1^N}{m} - \dfrac{F2^N}{m} - f^{игл}\dfrac{F1^t}{m} + f^{игл}\dfrac{F2^t}{m}, \\
\dfrac{dy2^{пол}}{dt} = y1^{пол}.
\end{cases} \tag{3}
$$

В декартовой системе координат XOY – $y2 = y2^{пол}\cos\varphi$, $x2 = y2^{пол}\sin\varphi$.

Рассмотрим взаимодействие центров масс участков слоя M1 и M3 с M2 (рис. 3). Здесь обозначены силы, действующие на участок слоя M1, M3: G–вес; N – нормальной реакции решетки; $F_{тр}$– трения слоя о решетку; $F1^x$, $F1^y$, $F2^x$, $F2^y$ – упругой деформации участка слоя между точками M1 и M2, а также M3 и M2, соответственно (проекции); F_a^x, F_a^y – аэродинамического сопротивления (проекции).

Для центров масс M1, M3 дифференциальные уравнения движения запишутся в виде:

$$
m\frac{d^2y}{dt^2} = -G\cos(\psi) - F_a^{\,y} + F1^y + F2^y, \tag{4}
$$

$$
m\frac{d^2x}{dt^2} = G\sin(\psi) - f^{реш}N - F_a^{\,x} + F1^x + F2^x. \tag{5}
$$

Расчет координат производится средствами программы Mathcad, для чего уравнения (4), (5) сводятся к системам уравнений:

$$
\begin{cases}
\dfrac{dy'}{dt} = \left(-g\cos(\psi) - \dfrac{\rho_в CS(y')^2}{2m} + \dfrac{F1^y}{m} + \dfrac{F2^y}{m}\right), \\
\dfrac{dy}{dt} = y';
\end{cases} \tag{6}
$$

$$
\begin{cases}
\dfrac{dx'}{dt} = \left(g\sin(\psi) - f^{реш}\dfrac{N}{m} - \dfrac{\rho_в CS(x')^2}{2\cdot m} + \dfrac{F1^x}{m} + \dfrac{F2^x}{m}\right), \\
\dfrac{dx}{dt} = x'.
\end{cases} \tag{7}
$$

Направление действия сил аэродинамического сопротивления и трения принимается противоположным движению материала.

Силы, которые действуют на выделенный элемент слоя со стороны соседних, определяются следующим образом.

Расстояния между точками M1, M2 и M2, M3 определятся по их координатам:

$$
L1 = \sqrt{(y2 - y1)^2 + (x2 - x1)^2}, \tag{9}
$$

$$
L2 = \sqrt{(y2 - y3)^2 + (x3 - x2)^2}. \tag{10}
$$

Тогда приращения расстояний между точками в сравнении с расстоянием, при котором слой находится в ненапряженном состоянии L_0, запишутся в виде:

$$\Delta L1 = L1 - L_0, \quad (11)$$

$$\Delta L2 = L2 - L_0. \quad (12)$$

По приращениям определяются силы упругости между участками слоя:

$$F1 = c1\left|\Delta L\right|^{d1}, \quad (13)$$

$$F2 = -c2\left|\Delta L\right|^{d2}. \quad (14)$$

Если приращение положительно, применяются коэффициенты растяжения c1 и d1, если отрицательно – коэффициенты сжатия c2 и d2.

Вид зависимости для вычисления сил упругости принят из [2], коэффициенты c1, c2, d1, d2 определены нами опытным путем.

Силы упругости, действующие перпендикулярно игле, между центрами масс M1, M2 и M2, M3 определятся соответственно

$$F1^t = F1\sin(\delta 1 + \varphi), \quad (15)$$

$$F2^t = F2\sin(\delta 2 - \varphi), \quad (16)$$

а действующие параллельно игле соответственно:

$$F1^N = F1\cos(\delta 1 + \varphi), \quad (17)$$

$$F2^N = F2\cos(\delta 2 - \varphi). \quad (18)$$

Проекции сил упругости на ось X между центрами масс M1, M2 и M2, M3 определятся из выражений

$$F1^x = F1\sin(\delta 1), \quad (19)$$

$$F2^t = F2\sin(\delta 2). \quad (20)$$

Проекции сил упругости на ось Y между центрами масс M1, M2 и M2, M3 определятся из выражений

$$F1^y = F1\cos(\delta 1), \quad (21)$$

$$F2^y = F2\cos(\delta 2). \quad (22)$$

Решая совместно системы уравнений (3), (6), (7) можно рассчитать перемещения слоя вдоль решетки, силы упругости в слое при различных параметрах процесса трясения.

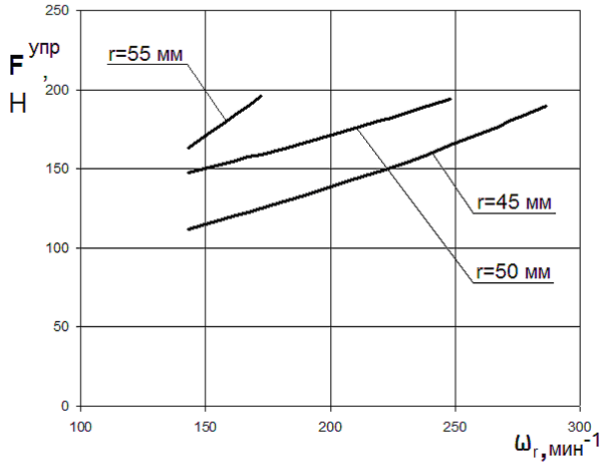

Рис. 4

Например, на рис. 4 показано изменение сил упругости между участками слоя при различных значениях радиуса кривошипа (r) и частоты вращения ведущего вала машины ($\omega_г$). Из рис.4 видно, что вычисления прекращаются при значениях сил упругих деформаций 190 Н, когда происходит сход материала с иглы. Это может быть критерием нарушения нормального протекания процесса трясения, так как в результате схода материала с иглы в слое появляются разрывы.

В Ы В О Д Ы

1. Разработанная математическая модель взаимодействия игл гребенных валиков с обрабатываемым материалом позволяет проанализировать перемещения слоя и силы упругих деформаций материала при различных параметрах процесса трясения.

2. Анализ сил упругих деформаций в слое показал, что существует ограничение интенсивности воздействий со стороны гребенных валиков, проявляющееся в виде нарушения структуры слоя. Из этого условия должны выбираться параметры приводного механизма машины, например, частота вращения ведущего вала машины, радиус кривошипа, длины поводка и иглы.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Тарунин Ю.Н.* Исследование движения материала в трясильных машинах типа ТГ-135 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1965, №2.

2. *Дьячков В.А.* Проектирование машин для первичной обработки лубяных волокон: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2006. – 232.

3. *Ипатов А.М.* Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур. Учебное пособие для вузов. – М.: Легпромбытиздат, 1989.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 30.06.08.