

расчета напряжений, скорости развития дефектов, а также значения вязкости разрушения инструментальной стали.

Анализ работ, посвященных исследованию напряжений в дисковых пилах, показывает, что ряд вопросов, связанных с учетом различных факторов требует дальнейшего развития, а отдельные результаты нуждаются в уточнении. В настоящее время для анализа напряженного состояния представляется целесообразным использовать численные методы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новые исследования резания древесины / Ивановский Е. Г., Василевская П. В., Лауриер Э. М. «Лесная промышленность», 1972. 128 с.
  2. Моделирование поведения режущего инструмента в пакете Ansys / О. Н. Суша, Д. С. Карпович, //Материалы VIII- ой республиканской научной конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники», Брест, 21-23 ноября 2013 г.: – Брест: БГТУ, 2013. – С. 36 – 39.
  3. Аналитический и численный метод решения уравнения теплопроводности / Д. С. Карпович, О.Н. Суша //Труды БГТУ, Минск, 2015
  4. Стахийев Ю.М. Работоспособность плоских круглых пил.– М. :Лесная промышленность, 1989.– 384 с.
- ГОСТ 980-80. Пилы круглые плоские для распиловки древесины. Технические условия [Текст]/ Введ. 01.07.82. М.: Изд-во стандартов, 1980. — 25 с.

УДК 652.52

В. П. Кобринец, доц., канд. техн. наук; Д.Н. Пронин, магистр  
(БГТУ, г. Минск)

### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ**

Основные цели системы управления процессом сушки материала в барабанной сушилке:

1. Поддержание желаемого качества высушенного продукта, независимо от возмущения в процессе сушки и колебания подачи питания.
2. Максимизация пропускной способности при оптимальной энергетической эффективности и минимуме затрат.
3. Избежание пересушки и недосушки.
4. Стабилизация процесса сушки.
5. Оптимизация производительности процесса сушки.

Наиболее желательная выходная переменная для контроля процесса сушки – содержание влаги в продукте, но ее зачастую очень трудно измерить непосредственно. Часто, содержание влаги в высушенных продуктах, может быть выведено из температуры и влажности отходящего газа, хотя нужно с осторожностью применять соответствующие тепловой и массовый балансы. В некоторых особых случаях это может даже привести к серьезной ошибке, если используется только температура выхлопных газов (без одновременного измерения влажности).

Прямой контроль и постоянное измерение содержания влаги в твердых материалах позволит получить значительные улучшения при контроле сушиллки, обеспечивая немедленные измерения содержания влаги на выходе сушиллки и автоматической компенсацией факторов, которые нарушают работу управления.

Процессы тепло- и массообмена (влагообмена) в барабанной сушилке зависят от ее конструктивных характеристик (размеров, числа и профиля лопаток и т. д.), а также от технологических параметров (числа оборотов барабана, угла наклона аппарата, расхода, температуры и влагосодержания воздуха и материала на входе в сушилку). При определении динамических свойств данного аппарата естественно считать его конструктивные характеристики неизменными. Таким образом, в качестве возмущающих воздействий (входных величин) принимаем изменения расхода, температуры и влагосодержания материала и воздуха на входе в сушилку.

При составлении математической модели барабанной сушилки сделаем следующие допущения:

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и барабана и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и барабану постоянны по длине и в поперечном сечении сушилки, а также во времени

2. Температура и влагосодержание материала распределены по длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача), так как при вращении барабана материал хорошо смешивается.

3. Поперечное сечение слоя материала, находящегося на лопастях барабана, значительно меньше его длины, а скорость воздуха намного больше скорости перемещения материала вдоль сушилки. Температура и влагосодержание воздуха одинаковы по длине и в поперечном сечении слоя материала и равны температуре и влагосодержанию на выходе

4. Передачей тепла материалу при соприкосновении его с лопастями барабана пренебрегаем

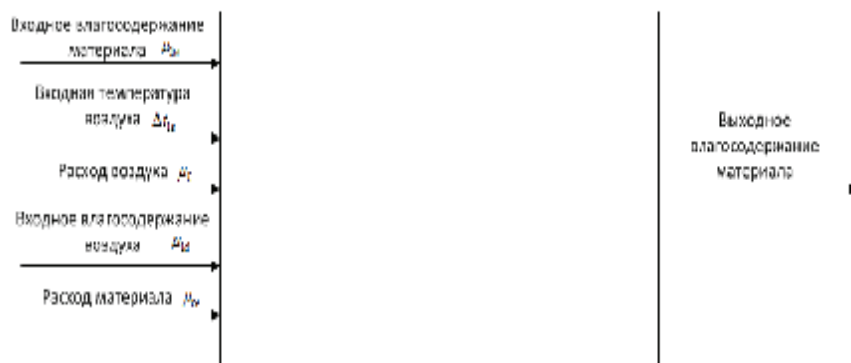
5. Температура барабана в статике равна температуре воздуха на выходе из сушилки

6. Передачей тепла от воздуха к материалу путем лучеиспускания пренебрегаем

7. Движение материала по сечению аппарата происходит равномерно, без турбулентного смещения

При составлении уравнений сохранения энергии для воздуха и материала учитываем лишь тепло, затраченное на нагрев «сухого» материала, поскольку тепло, переданное воздухом материалу и затраченное на испарение влаги из него, возвращается обратно в воздух вместе с испаренной влагой.

Структурную схему барабанной сушилки можно представить следующим образом:



На основании анализа процесса сушки как объекта управления можно определить воздействия, оказывающие влияние на данный объект:

- Возмущающие воздействия: входное влагосодержание материала; расход материала; входное влагосодержание воздуха
- Регулирующие воздействия: расход теплоносителя; расход первичного воздуха; расход вторичного воздуха.
- Регулируемая величина: выходное влагосодержание материала.

Для разработки математической модели процесса сушки с учетом распределенности параметров с учетом приведенных допущений составляем следующие дифференциальные уравнения:

Уравнение сохранения энергии для воздуха

$$LI_1 - LI_2 - \alpha_{f,r,m} F_M \left( t_{2r} - \frac{t_{1M} - t_{2M}}{2} \right) - \alpha_{f,r,b} F_b (t_{2r} - t_b) = M_r \frac{dI_2}{d\tau} \quad (1)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в воздухе

$$L(d_1 - d_2) + G(w_1 - w_2) = M_r \frac{dd_2}{d\tau} \quad (2)$$

Уравнение сохранения энергии для материала

$$c_M G \frac{\partial t_M}{\partial \bar{y}} + c_M t_M \frac{\partial G}{\partial \bar{y}} - \alpha_{f, \Gamma, M} F_M (t_{2\Gamma} - t_M) + \frac{\partial}{\partial \tau} (c_M M_M t_M) = 0 \quad (3)$$

Уравнение сохранения массы для сухого материала

$$\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + \frac{\partial M_M}{\partial \tau} = 0 \quad (4)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в материале

$$G \frac{\partial w}{\partial \bar{y}} + w \frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + K F_M (w - w_{\text{равн.}}) + \frac{\partial}{\partial \tau} (M_M w) = 0 \quad (5)$$

Уравнение сохранения энергии для сушильного барабана

$$\alpha_{f, \Gamma, \delta} F_{\delta} (t_{2\Gamma} - t_{\delta}) = c_{\delta} M_{\delta} \frac{dt_{\delta}}{d\tau} \quad (6)$$

где  $L$  – расход теплоносителя (по абсолютно сухому веществу),  $I$  – энтальпия,  $\alpha_f$  – поверхностный коэффициент теплообмена,  $F$  – площадь,  $t$  – температура,  $M$  – количество вещества,  $d$  – влагосодержание теплоносителя,  $G$  – расход материала (по абсолютно сухому веществу),  $c$  – истинная теплоемкость,  $K$  – коэффициент сушки

На основании данных уравнений, которых получена система нелинейных уравнений в частных производных. Проведена линеаризация данной системы и получена математическая модель процесса сушки по основным динамическим каналам.

$$\begin{aligned} & a_1 \frac{d\Delta t_{2\Gamma}}{d\tau} + a_2 \Delta t_{2\Gamma} + a_3 \frac{d\mu_{2d}}{d\tau} + a_4 \mu_{2d} = \\ & = a_5 \Delta t_{1\Gamma} + a_6 \Delta t_{1\Gamma} + a_6 \mu_L + a_7 \Delta t_{1M} + a_7 \Delta t_{2M} + \\ & \quad + a_8 \Delta t_{\delta} + a_9 \mu_{1d} + a_{10} \mu_{F, M} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & a_{11} \frac{d\mu_{2d}}{d\tau} + a_{12} \mu_{2d} = \\ & = a_{13} \mu_{1d} + a_{14} \mu_{1w} + a_{15} \mu_L - a_{14} \mu_{2w} + a_{16} \mu_G \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & a_{17} \frac{\partial \Delta t_M}{\partial \bar{y}} + a_{18} \frac{\partial \Delta t_M}{\partial \tau} + a_{19} \Delta t_M = \\ & = a_{19} \Delta t_{2\Gamma} + a_{20} \mu_{F, M} + a_{21} \frac{\partial \mu_{M, M}}{\partial \tau} + a_{22} \frac{\partial \mu_G}{\partial \bar{y}} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \mu_G}{\partial \bar{y}} + a_{23} \frac{\partial \mu_G}{\partial \tau} = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & a_{24} \frac{\partial \mu_w}{\partial \tau} + a_{25} \frac{\partial \mu_w}{\partial \bar{y}} + a_{26} \mu_w + [a_{27} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{28}] \mu_{2d} + \\ & + [a_{29} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{30}] \Delta t_{2\Gamma} + [a_{31} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{32}] \frac{\partial \mu_G}{\partial \tau} + \\ & + a_{33} \exp(-a_0 \bar{y}) \mu_L + [a_{34} \exp(-a_0 \bar{y}) + a_{35}] \frac{\partial \mu_G}{\partial \bar{y}} + [a_{36} \exp(-a_0 \bar{y}) \\ & + a_{39}] \mu_G = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$a_{38} \frac{d\Delta t_6}{d\tau} + a_{39} \Delta t_6 = a_{39} \Delta t_{2\Gamma} \quad (12)$$

Однозначность решения системы уравнений (7-12) зададим крайними условиями

$$\text{При } y = 0 \quad \mu_w = \mu_{1w} \quad \Delta t_m = \Delta t_{1m} \mu_G = \mu_{1G}$$

$$\text{При } \tau = 0 \quad \Delta t_{2\Gamma} = \mu_{2d} = \Delta t_m = \mu_G = \mu_w = \Delta t_6 = 0$$

Применяя к уравнениям (7-12) преобразование Лапласа  $\varphi(p) = L|F(\tau)|$  и  $\varphi(s) = L|F(\bar{y})|$  и одно обратное преобразование  $F(y) = L^{-1}|\varphi(s)|$  можно получить передаточные функции по каналам, приведенным на структурной схеме.

УДК 628.978

В. П. Кобринец, доц., канд. техн. наук;  
Н. П. Коровкина, доц., канд. пед. наук;  
Н. Н. Пустовалова, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, Минск)

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК**

Для оценки эффективности электроприводов наиболее значимы такие электромеханические показатели, как удельный электромагнитный момент, номинальная мощность при равных габаритах, мощность на единицу объема сердечника, коэффициент полезного действия при равных габаритах, номинальной частоте вращения.

В работе применен модифицированный метод многокритериального ранжирования для оценки электромеханических показателей (показатель качества) сравниваемых двигателей, характеризующихся вышеперечисленными параметрами. Сущность предлагаемого метода наиболее наглядно можно пояснить при его пошаговой реализации:

1. Выбираются сравниваемые двигатели. Формируется таблица, во второй колонке, которой перечисляются наиболее важные параметры сравниваемых двигателей (таблица 1).

2. На основании составленной таблицы эксперт предварительно определяет числовое значение показателя качества каждого двигателя, участвующего в сравнительном анализе, которое заносится в последнюю строку каждой колонки (таблица 1, «оценка эксперта»). Лучший двигатель, по мнению эксперта, оценивается в один балл, остальное – в пределах от единицы до нуля).

3. Окончательно сформированная таблица является исходным материалом для расчета показателя качества двигателей, минимально зависящего от субъективизма и квалификации эксперта.