

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ ПО ОСНОВНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

Д.Н. Пронин, В.П. Кобринец

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: pronin.d.n@mail.ru, kobrinets@rambler.ru

Процесс сушки твердых материалов трудно поддается регулированию главным образом потому, что необходимо учитывать большое количество различных факторов. Измерение любого параметра сыпучих твердых материалов (даже скорости их перемещения) связано с решением целого комплекса вопросов. Точное определение параметров материала непосредственно на технологическом потоке практически невозможно. Поэтому приходится полагаться на значения параметров окружающей среды, успешное использование которых всецело зависит от того, насколько правильно они характеризуют состояние процесса [1].

Управление сушилками, вероятно, одна из наименее изученных областей управления процессом и не развивается одновременно с совершенствованием сушки и конструировании сушилок. Это может быть связано с различными факторами [2]:

- Отсутствием внимания на качество продукта в прошлом;
- Явной нехваткой знаний о важной роли, которую играет управление сушилкой в области качества продукции и эффективности сушки;
- Отсутствием непосредственного, постоянного, надежного метода для измерения влажности продукта;
- Сложной и весьма нелинейной динамикой процессов сушки, что приводит к трудностям в адекватном моделировании процесса.

Основные цели системы управления сушилки:

- Поддержание желаемого качества высушенного продукта, независимо от возмущения в процессе сушки и колебания подачи питания;
- Максимизация пропускной способности при оптимальной энергетической эффективности и минимуме затрат;
- Избежание пересушки и недосушки; недосушка может привести к порче продукта, в случае зерна и продовольствия, в то время как пересушка продукта приводит к увеличению энергозатрат и снижение дохода, так как цены на некоторые продукты основаны

на конкретном содержании влаги; это также может вызвать термические повреждения термочувствительных продуктов;

- Снижение пожарной опасности, порчи продукции, и уноса частиц;
- Подавление влияния внешних возмущений;
- Стабилизация процесса сушки;
- Оптимизация производительности процесса сушки.

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 основные допущения [3]:

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:



Рис. 1 – Структурная схема барабанной сушилки

На основании представленной выше структурной схемы можно определить воздействия, оказывающие влияние на объект управления:

1. Возмущающие воздействия:
 - Входное влагосодержание материала;
 - Расход материала;
 - Входное влагосодержание воздуха.
2. Регулирующие воздействия:
 - Расход теплоносителя;
 - Расход первичного воздуха;
 - Расход вторичного воздуха.
3. 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;
- Уравнение сохранения массы для влаги в воздухе;
- Уравнение сохранения энергии для материала;
- Уравнение сохранения массы для сухого материала;
- Уравнение сохранения массы для влаги в материале;
- Уравнение сохранения энергии для барабана.

Уравнение сохранения энергии для воздуха:

$$LI_1 - LI_2 - \alpha_{f,g,m} \cdot F_m \left(t_{2g} - \frac{t_{1m} - t_{2m}}{2} \right) -$$

$$- \alpha_{f,g,b} \cdot F_b (t_{2g} - t_b) = M_g \frac{dI_2}{d\tau} \quad (1)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в воздухе:

$$L(d_1 - d_2) + G(w_1 - w_2) = M_g \frac{dd_2}{d\tau} = 0 \quad (2)$$

Уравнение сохранения энергии для материала:

$$c_M \frac{\partial t_M}{\partial y} + c_M t_M \frac{\partial G}{\partial y} - \alpha_{f,g,b} \cdot F_b (t_{2g} - t_M) + \frac{\partial}{\partial \tau} (c_M M_M t_M) = 0 \quad (3)$$

Уравнение сохранения массы для сухого материала:

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

Уравнение сохранения массы для влаги в материале:

$$G \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial G}{\partial y} + K F_M (w - w_r) + \frac{\partial}{\partial \tau} (M_M w) = 0 \quad (5)$$

Уравнение сохранения энергии для барабана:

$$\alpha_{f,g,b} \cdot F_b (t_{2g} - t_b) = c_b M_b \frac{dt_b}{d\tau} \quad (6)$$

где L – расход теплоносителя (по абсолютно сухому веществу), I – энтальпия, α_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.

Однозначность решения линеаризованной системы уравнений (1-6) зададим краевыми условиями:

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

$$\text{При } \tau = 0 \quad \Delta t_{2g} = \mu_{2d} = \Delta t_M = \mu_G = \mu_w = \Delta t_b = 0$$

Применяя к линеаризованным уравнениям (1-6) 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.

1. Шински, Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов / Ф. Шински; под ред. Н.И. Гельперина – М. : Химия, 1974. – 334 с.
2. Krokida, M. Handbook of industrial drying / M. Krokida, D. Marinou-Kouris, A.S. Mujumdar // Taylor and Francis Group, LLC., 2006. – p. 151-171.
3. Баумштейн, И.П. Автоматизация процессов сушки в химической промышленности / И.П. Баумштейн, Ю.А. Майзель – М. : Химия, 1970. – 232 с.