II. Геометрические признаки: 1) размерность занимаемого подпространства (0-, 1-, 2- и 3-мерные устройства); 2) внешняя конфигурация устройства (точка, линия, полоса, оболочка, стержень, слой); 3) количество и размерность многообразий контакта данного устройства со смежными; 4) направленность действия (директор, отражатель, распределитель и т. д.).

III. Признаки внутренней структуры: 1) характер пространственного распределения параметров (устройства с дискретной структурой, квазиконтинуальные и континуальные); 2) разновидность микроструктуры (для квазиконтинуальных устройств).

IV. Физические признаки: 1) применяемые виды энергии; 2) механизм усиления; 3) поля состояния и взаимодействия; 4) количественные характеристики сред (параметры, тензоры, операторы); 5) дисперсионные характеристики; 6) применяемые материалы и среды.

Возможны три основных способа формирования пространственной передаточной функции распределенных управляющих устройств: а) применение слоистых сред с параметрами, изменяющимися в направлении нормали к поверхностям уровня; б) построение набора ортогонализированных подсистем, взаимодействующих с определенными пространственными гармониками поля, и в) использование искусственных сред периодически волокнистой структуры типа управляющих кристаллов. Такие среды удобны для реализации дисперсионных характеристик, подобных характеристикам управляемых объектов с несколькими ветвями неустойчивостей, напр., плазма, пучки заряженных частиц и т. п. Аппарат исследования преобразования полей в системе управления с распределенными параметрами обладающих симметрией (напр., периодической структурой), основан на линейной представлений групп теории. Системы управления с распределенными параметрами применяют для управления проходными печами, прокатными станами, подъемными механизмами, газопроводами, ядерными реакторами, ускорителями заряженных частиц, термоядерными установками и др.

УДК 652.52

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ, КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Кобринец В. П., Пронин Д. Н.
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

Процесс сушки концентрата KCl в условиях ОАО «Беларуськалий» производится в барабанной сушилке, которая состоит из трёх основных частей: топки, в которой происходит сгорание топлива (газа) за счет подачи первичного воздуха; смесительной камеры, в которой смешиваются подаваемые в неё топочные газы и вторичный воздух и формируется теплоноситель с определенной температурой и влагосодержанием; сушильного барабана, где теплоноситель, взаимодействуя с высушиваемым материалом, отнимает у него влагу.

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. Стабилизация процесса сушки.

Прямой контроль и постоянное измерение содержания влаги в твердых материалах позволит получить значительные улучшения при контроле сушилки, обеспечивая немедленное измерения содержания влаги на выходе сушилки и автоматическую компенсацию факторов, которые нарушают работу управления.

Первым этапом синтеза системы управления процессом сушки является разработка математической модели данного процесса по основным каналам 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 теплоносителя 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 теплоносителя на входе в сушилку.

При составлении математической модели барабанной сушилки сделаем следующие допущения: [1]

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и барабана и коэффициенты теплоотдачи от теплоносителя 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. Скорость теплоносителя намного больше скорости перемещения материала вдоль сушилки. Поэтому температура и влагосодержание теплоносителя 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. Движение материала по сечению аппарата происходит равномерно, без турбулентного перемешивания.

При составлении уравнений сохранения энергии для теплоносителя и материала учитывается лишь тепло, затраченное на нагрев «сухого» материала, поскольку тепло переданное теплоносителем материала и затраченное на испарение влаги из него возвращается обратно в теплоноситель вместе с испаренной влагой.

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 и температура теплоносителя;

– регулирующее воздействие: расход теплоносителя;

– регулируемая величина: выходное влагосодержание материала.

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

Уравнение сохранения энергии для теплоносителя на входе и на выходе сушилки

$$LI_1 - LI_2 - \alpha_{f,\text{г.м.}} F_\text{м}\left(t_{2\text{г}} - \frac{t_{1\text{м}} - t_{2\text{м}}}{2}\right) - \alpha_{f,\text{г.б.}} F_\text{б}(t_{2\text{г}} - t_\text{б}) = M_\text{г}\frac{dI_2}{d\tau} \qquad (1)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в теплоносителе

$$L(d_1 - d_2) + G(w_1 - w_2) = M_\text{г}\frac{dd_2}{d\tau} \qquad (2)$$

Уравнение сохранения энергии для материала

$$c_\text{м} G\frac{\partial t_\text{м}}{\partial \bar{y}} + c_\text{м} t_\text{м}\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} - \alpha_{f,\text{г.м.}} F_\text{м}(t_{2\text{г}} - t_\text{м}) + \frac{\partial}{\partial \tau}(c_\text{м} M_\text{м} t_\text{м}) = 0 \qquad (3)$$

Уравнение сохранения массы для сухого материала

$$\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + \frac{\partial M_\text{м}}{\partial \tau} = 0 \qquad (4)$$

Уравнение сохранения массы для влаги в материале

$$G\frac{\partial w}{\partial \bar{y}} + w\frac{\partial G}{\partial \bar{y}} + KF_\text{м}(w - w_\text{равн.}) + \frac{\partial}{\partial \tau}(M_\text{м} w) = 0 \qquad (5)$$

Уравнение сохранения энергии для сушильного барабана

$$\alpha_{f,\text{г.б.}} F_\text{б}(t_{2\text{г}} - t_\text{б}) = c_\text{б} M_\text{б}\frac{dt_\text{б}}{d\tau} \qquad (6)$$

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; w – влагосодержание высушиваемого материала на вес абсолютно сухого вещества; $w_\text{равн}$ – равновесное влагосодержание материала; $\bar{y} = y/L$; L – длина аппарата; y – текущая координата; индексы: г – газ, м – материал, б - сушильный барабан; *1* – вход в сушилку, *2* – выход из сушилки.

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

$$a_1\frac{d\Delta t_{2г}}{d\tau} + a_2\Delta t_{2г} + a_3\frac{d\mu_{2d}}{d\tau} + a_4\mu_{2d} == a_5\Delta t_{1г} + a_6\Delta t_{1г} + a_6\mu_L + a_7\Delta t_{1м} + a_7\Delta t_{2м} +$$
$$+a_8\Delta t_б + a_9\mu_{1d} + a_{10}\mu_{F,м} \qquad (7)$$

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

$$a_{17}\frac{\partial\Delta t_м}{\partial\bar{y}} + a_{18}\frac{\partial\Delta t_м}{\partial\tau} + a_{19}\Delta t_м =$$
$$= a_{19}\Delta t_{2г} + a_{20}\mu_{F,м} + a_{21}\frac{\partial\mu_{M,м}}{\partial\tau} + a_{22}\frac{\partial\mu_G}{\partial\bar{y}} \qquad (9)$$

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

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

$$a_{38}\frac{d\Delta t_б}{d\tau} + a_{39}\Delta t_б = a_{39}\Delta t_{2г} \qquad (12)$$

где a_i – коэффициенты системы уравнений, которые являются функциями параметров, входящих в исходные уравнения (1-6); Δt – малые приращения переменных; μ – относительные изменения переменных.

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

При $y = 0\ \mu_w = \mu_{1w}\ \Delta t_м = \Delta t_{1м}\mu_G = \mu_{1G}$

При $\tau = 0\Delta t_{2г} = \mu_{2d} = \Delta t_м = \mu_G = \mu_w = \Delta t_б = 0$

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 (рисунок 1).

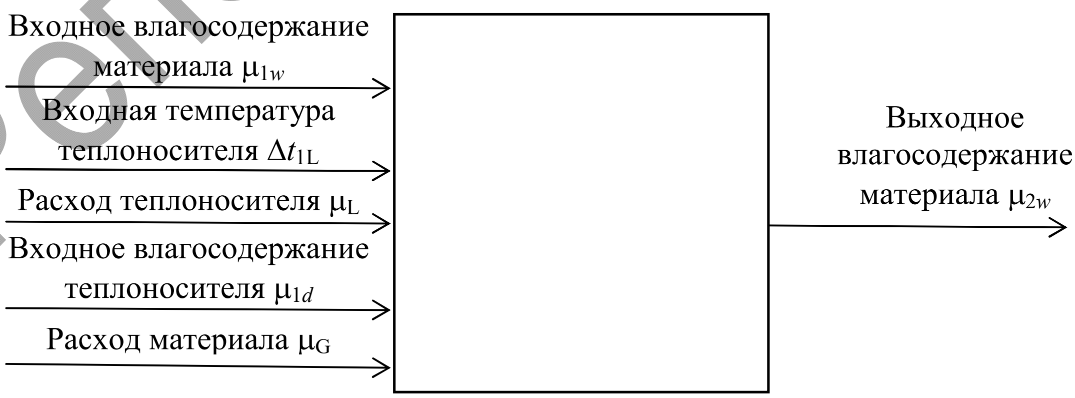

Рисунок 1 Структурная схема сушилки

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баумштейн И.П. Автоматизация процессов сушки в химической промышленности / И.П. Баумштейн, Ю.Н. Майзель – М.: Химия, 1970 – 232 с.

УДК 68(075.8)

ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Марозова М.П., Оробей И.О.
Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Модели большого числа самых различных объектов управления могут быть с достаточной для практических целей точностью отнесены к классу системами с сосредоточенными параметрами (ССП).

Общей особенностью ССП является описание управляемых процессов в терминах величин, не отражающих в явной форме влияние пространственной протяженности объекта на его характеристики. Поскольку на практике любой технический объект управления имеет вполне определенные геометрические размеры, то функция, характеризующая его состояние, вообще говоря, изменяется в пределах пространственной области, занимаемой объектом, и, следовательно, зависит не только от времени, но и от вектора x пространственных координат, являясь функцией $Q(x, t)$ по меньшей мере двух аргументов (если x – скалярная переменная).

Если зависимость Q от x пренебрежимо мала, то такой объект можно отнести к типу ССП. В противном случае этого нельзя сделать без существенных погрешностей в описании управляемых процессов или даже без потери их качественных особенностей. Системы, состояние которых описывается функциями нескольких аргументов, зависящими как от времени, так и от пространственных координат, получили название систем с распределенными параметрами (СРП), или, короче, распределенных систем.

Строго говоря, практически любой реальный объект управления представляет собой СРП, и лишь в частных (хотя и достаточно часто встречающихся на практике) случаях его можно с некоторыми допущениями и погрешностями отнести к тип ССП. Необозримое по своему разнообразию число реальных управляемых процессов, описываемых пространственно-временными характеристиками физических полей различной природы (электромагнитное и температурное поля, поля концентраций, перемещений, деформаций, напряжений, скоростей, давлений, потенциалов и т.д.), относится к "собственно" СРП, для которых пренебрежение пространственной зависимостью функции состояния приводит к потере принципиальных свойств объекта и следовательно, становится невозможным.

Задачи управления СРП оказываются качественно более сложными по сравнению с ССП ввиду целого ряда принципиальных особенностей [1].

1. Состояние СРП, определяемое функцией нескольких переменных, описывается, соответственно, дифференциальными уравнениями не в обыкновенных,