

тика, информатика. Вып.5(71), / редкол.: А.А.Гладышук и др. – Брест: БрГТУ. 2011. С. 66-67.

2. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. Москва: Постмаркет, 2000. – 352 с.

3. Бутев В. Электронный фазометр//Радио №5. 1990. – С. 56.

4. Горошков Б. И. Радиоэлектронные устройства: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. – 400 с.

5. Гончаренко А. Фазометр на микросхемах.// Радио №12. 1984. – С. 29.

УДК 681.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Литвиненко М.А.¹, Клютко М.¹, Карнович Д.С.¹, Лихавицкий В.В.¹

1) Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь

Система управления с распределенными параметрами – система управления, состояние которой определяется функциями нескольких независимых переменных, как правило, зависящими не только от времени, но и от пространственных координат. В качестве таких функций могут фигурировать скалярные, векторные, тензорные и другие поля различной физ. природы (поля мех. напряжений и деформаций, поля температуры, концентраций, электромагнитные поля и др.). Эти поля отображают процессы в упругих телах, жидких, газообразных и плазменных средах, в различных объектах химической технологии, металлургии, теплоэнергетики, экспериментальной физики, в транспортных средствах и т.д.

Для математического описания систем управления с распределенными параметрами обычно применяют дифференциальные уравнения в частных производных (ДУЧП) с соответствующими краевыми условиями, условиями нормировки или иными дополнительными условиями, выделяющими определенные решения. Используются также интегральные, интегро-дифференциальные и некоторые др. типы уравнений с несколькими независимыми переменными.

В простейших случаях лишь одно или несколько отдельных звеньев систем управления с распределенными параметрами имеют распределенные, а остальные – сосредоточенные параметры. Примером систем управления с распределенными параметрами может служить система управления тепловым режимом проходной печи.

Принцип действия которой состоит в следующем: продвигаясь через зону нагрева, изделия (объект управления) нагреваются. Режим нагрева зависит от интенсивности горения и скорости продвижения изделий через печь. Управляющее устройство, используя сигналы датчиков температуры, управляет режимом нагрева в соответствии с требованиями технологии путем воздействия на регулирующий орган подачи топлива, форсунку и механизм транспортировки изделий.

Назначение описанной системы состоит в том, чтобы обеспечить распределение температуры изделий на выходе печи по толщине и во времени нагрева, наименее отклоняющееся от заданного распределения T_{out} . В качестве меры отклонения регулируемого процесса от желаемого часто принимается функционал

$$J = \left\{ \frac{1}{\tau S} \int_0^{\tau} \int_0^S [T(x, L, t) - T_{out}(x, t)]^2 dx dt \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

Процесс теплообмена в объекте описывается уравнением в частных производных

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - bv \frac{\partial T}{\partial y},$$

где a – коэффициент температуропроводности, $b(y, t)$ – функция, определяемая теплофизическими параметрами объекта, v – скорость перемещения изделий. Начальное и граничные условия имеют вид

$$T(x, y, 0) = T_0(x, y), \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0;$$

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=S} = \alpha [U(y, t) - T(S, y, t)].$$

Здесь $T_0(x, y)$ – начальное распределение температуры, λ – коэффициент теплопроводности, α – коэффициент теплообмена, $U(y, t)$ – температура греющей среды внутри печи. Управляющее воздействие и поле состояния объекта подчиняются неравенствам, учитывающим энергетические возможности и условия технологии

$$A_1 \leq U(y, t) \leq A_2, \quad \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \leq A_3,$$

$$T(x, y, t) \leq A_4, \quad \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| \leq A_5,$$

где A_1 - A_5 – некоторые заданные постоянные или переменные величины. Приведенная система уравнений и граничных условий – типична для многих процессов, напр., диффузионных, электромагнитных (скин-эффект) и др.

При классификации систем управления с распределенными параметрами используют следующие основные признаки:

1. Функциональные признаки: 1) роль звена в управляющем устройстве (отдельный элемент, объединение элементов и устройство в целом); 2) назначение (измерение, фильтрация, запоминание, регулирование и т. п.); 3) возможность и способы перестройки (постоянная настройка, ручная, автоматическая и т. п.); 4) число степеней свободы (конечное, счетное и несчетное); 5) динамика (устойчивость, быстродействие, самовыравнивание и разрешающая способность).

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 периодической 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 КС1 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 темпе-