

УДК 614.84

Маг. М.П. Морозова; студ. В.А. Стаблецкий
 Науч. рук. доц. Д.С. Карпович; доц. Д.А. Гринюк,
 (кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

СТЕНД ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В СТЕРЖНЕ

Температура является распределенным параметром и часто используемым параметром при управлении технологических процессов. Изучение процесса теплопроводности, т.е. процесса передачи тепла от одной части тела к другой или от одного тела к другому, находящемуся в соприкосновении с первым, по своей сущности требует применения специального математического аппарата. Процесс теплопередачи, как и всякое физическое явление, происходит во времени и в пространстве и характеризуется (в общем случае) нестационарной пространственно-временной функцией температуры $f(x, y, z, t)$, где x, y, z — пространственные координаты в декартовой системе, t — время. Совокупность значений температуры по всему объему рассматриваемого тела в отдельный момент времени называется температурным полем. В теории теплопроводности различают стационарное и нестационарное температурное поле. Стационарное температурное поле — это такое поле, температура которого в любой точке объема не изменяется во времени, а является функцией только пространственных координат. Такое поведение свойственно установившемуся режиму. Нестационарное температурное поле — это поле, температура которого изменяется не только в пространстве, но и с течением времени, и является функцией, как пространственных координат, так и времени. Такое поведение описывает неустановившееся состояние, переходный режим. Описание процесса теплопроводности, как и многих других физических процессов, может быть осуществлено на основе дифференциальных уравнений в частных производных, называемых уравнениями математической физики.

В общем случае, температурное поле $T = T(x, y, z, t)$, соответствующее уравнению

$$T(x, y, z, t) = f(x, y, z, t) \quad (1)$$

является пространственно распределённым (трёхмерным).

Уравнение теплопроводности или уравнение Фурье:

$$\partial T / \partial t = a \Delta T, \quad (2)$$

где a - коэффициент температуропроводности, который зависит от физических свойств материалов, а выражение

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (3)$$

является оператором Лапласа в декартовой системе координат для трёхмерной пространственной области определения температурного поля (1).

При разработке алгоритмов управления встает две задачи, которые приходится решать одновременно: для настройки контуров управления температурой требуется знать динамику канала управления; надо выбрать место контроля. Расчет динамики осложнен необходимостью использования уравнений в частных производных. Задачу облегчают путем проведения серьезных упрощений. На место установки датчика обращают внимания еще меньше.

С целью исследования аспектов управления тепловыми объектами с распределенными параметрами разработан стенд. Он состоит: из вентилятора, который обеспечивает конвективный теплообмен; железного стержня, помещенного в пластиковую трубу; электрического нагревателя, который может греть один из концов стержня. Центральным элементом электронной части стенда является контроллер Arduino. К нему подключено пять датчиков температуры, четыре из которых контролируют температуру по длине стержня, а пятый температуру воздуха на выходе. В объекте имеются в наличии две возможности изменения гидродинамических и температурных режимов работы объекта: изменения частоты вращения вентилятора, изменения мощности на нагревателе. В стенде предусмотрен контроль частоты вентилятора. Параметры работы могут быть переданы на компьютер для статистической обработки и адаптации к модельным решениям.

Температуры в соседних точках, лежащих на некоторой плоскости $x=\xi$, т.е. с одинаковым значением координаты x , но с разными значениями координат y и z , будут одинаковы, а, значит, перепад температуры между ними будет равен нулю, т.е.

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{x=\xi} = \left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{x=\xi} = 0$$

А, следовательно, и вторые производные

$$\left. \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right|_{x=\xi} = \left. \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right|_{x=\xi} = 0$$

будут равны нулю. Таким образом, оператор Лапласа (3) вырождается до

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2}.$$

Решения задачи управления реальных объектов с распределенными параметрами предполагает синхронизации с теоретическими предпосылками анализа динамики. Для это предлагается реализовать

процесс управления с решением уравнений в частных производных с учетом условий теплообмена. Конвективный теплообмен будет играть существенную роль для данного объекта, что предполагает учет данного явления с использованием граничных условий третьего рода.

Практически любой реальный объект управления представляет собой систему с распределенными параметрами (СРП), и лишь в частных (хотя и достаточно часто встречающихся на практике) случаях его можно с некоторыми допущениями и погрешностями отнести к типу систем сосредоточенными параметрами (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 СПП ввиду целого ряда принципиальных особенностей [1].

1. Состояние СРП, определяемое функцией нескольких переменных, описывается, соответственно, дифференциальными уравнениями не в обыкновенных, а в частных производных, интегральными уравнениями, а также "гибридными" системами уравнений различной природы, включая в качестве дополнительных соотношений и обыкновенные дифференциальные уравнения.

2. По сравнению с СПП принципиально расширяется класс управляющих воздействий.

3. Формулируемые применительно к пространственно-распределенным функциям состояния и управляющим воздействиям в СРП даже традиционные в содержательном плане постановки задач управления характеризуются рядом отличий, не имеющих аналогов в задачах управления СПП.

4. Указанные выше особенности приводят к необходимости далеко не тривиальных обобщений важнейших категорий теории управления на случай систем с распределенными параметрами и по существу требуют создания нового аппарата для их анализа и синтеза на базе нетрадиционных для теории управления математических средств.

5. Задача реализации систем управления объектами с распределенными параметрами резко усложняется по сравнению с СПП как за счет необходимости осуществления пространственно-распределенного

контроля состояния объекта в целях наблюдения за результатами процесса управления и использования соответствующих сигналов обратных связей, так и за счет необходимости построения регуляторов с пространственно-распределенными управляющими воздействиями.

Как известно, современные системы управления строятся на использовании цифровых систем. Управляющие воздействия на объект управления формируются путем прерывания времени цикла нормального течения вычислительного процесса микропроцессорной структуры. Несмотря на высокое быстродействие современных процессоров, как теория управления, так и энергетические факторы рекомендуют выбирать время цикла (время квантования) исходя из динамических свойств объекта [2, 3].

Данное положение позволяет в некоторых случаях реализовать моделирование системы с распределенных координатами с максимальным приближением.

Наилучшие решения получаются, если имеется аналитическое решение уравнения в частных производных для разомкнутого технологического объекта. Для получения результатов переходного процесса системы регулирования требуется получать отдельное решение после каждого шага квантования. Т.е. изменилось входное воздействие на объект – считаем динамики объекта на интервале квантования. По результатам расчета вычисляем новые граничные решения и начальные системы. Потом просчитываем показания обратной связи. На основании полученного значения рассчитываем новое значение управляющего воздействия от регулятора. Далее повторяем цикл.

Наличие аналитического решения не является обязательным условием для моделирования динамики СРП по предложенному алгоритму. Решение между циклами квантования можно получать и с применением численных методов решения уравнения в частных производных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рапопорт, Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами: Учеб. пособие/Э.Я. Рапопорт. – М.: Высш. шк., 2003. – 299 с.
2. Изерман, Р. Цифровые системы управления: пер. с англ. / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с.
3. Гринюк Д.А. Цифровые алгоритмы для управления технологическими процессами. / Д.А. Гринюк, И.О. Оробей, И.Г. Сухорукова, Н.М. Олиферович // МНТК «Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013)», Минск, – Минск: БГУИР, 2013 – С.38-39.