Бушер В.В. ***Украина***
Одесса

Одесский национальный политехнический университет

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ С ДРОБНЫМИ ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Введение. Закон изменения температуры воздуха в помещении, в котором работает система вентиляции или кондиционирования, отличается от экспоненциального. Начало переходного процесса более интенсивное, а окончание – более затянутое. Принято объяснять такое поведение объекта теплообменными процессами между воздухом в помещении и внешним ограждением и/или массивными предметами внутри помещения [1]. Однако при работе системы вентиляции скорость воздушного потока вдоль помещения относительно невелика, при работе кондиционера и нагревательных элементов осуществляется только циркуляция воздуха. Можно предположить, что в процессы теплообмена вносят определенный вклад диффузия и конвекция воздушных потоков, причем их влияние тем больше, чем меньше скорость движения воздуха под действием приточно-вытяжных вентиляторов.

Постановка задачи. Целью работы является получение адекватной модели тепловых процессов в помещении и синтез регуляторов, обеспечивающих заданные динамические и статические показатели системы контроля климата.

Диффузионная модель, составленная из двух уравнений, отражающих законы непрерывности и Фика, для одномерного случая вдоль направления воздушного потока x, выглядит следующим образом [2]:

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = D\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2}. \qquad (1)$$

Считая, что начальная температура в помещении одинакова во всем объеме, из уравнения (1) методом факторизации получим уравнение дробно-апериодического звена, описывающего закон изменения температуры в помещении $T_П(t)$ от тепла, подводимого нагревательным элементом с учетом воздействия вентилятора и теплообмена с внешней средой:

$$T^{\mu}D^{\mu}T_П(t) + T_П(t) = \Delta T_H(t), \qquad (2)$$

где T – формальная постоянная времени помещения, $\Delta T_H(t)$ – перегрев в помещении, обусловленный управляемым источником тепла; D^{μ} – оператор дробного дифференцирования; μ – порядок уравнения, зависящий от скорости воздушного потока (диффузия обусловливает $\mu = 0,5$, а при увеличении скорости вентилятора $\mu \to 1$). Решения уравнения (2) совпадают с известными экспериментальными данными. Так, для двух граничных случаев, при неподвижном воздухе в помещении с источником тепла и с быстрым потоком воздуха непосредственно в канале вентиляции, получены $\mu \approx 0,6$ и $\mu \approx 0,9$ соответственно. Различия обусловлены соотношением между скоростью направленного воздушного потока и интенсивностью диффузионных и конвекционных потоков.

Решение уравнения (2) вычисляется численными методами, но при скачке задающего воздействия ΔT_H и $\mu \in [0,05; 0,95]$ с погрешностью не более 0,01 может быть описано следующим выражением:

$$T_П(t) = \Delta T_H \left(1 - \frac{1}{1 + (t / T / \alpha(\mu))^{\mu\beta(\mu)}}\right), \qquad (3)$$

где $\alpha(\mu), \beta(\mu)$ определены по результатам интерполяции численных решений:

$$\alpha(\mu) = 0,102\mu^2 - 0,0025\mu + 0,565,\ \beta(\mu) = 0,94\mu^4 - 1,02\mu^3 + 0,85\mu^2 - 0,075\mu + 1,01.$$

С помощью выражения (3) можно существенно упростить процедуру идентификации параметров обслуживаемых помещений в климатических системах.

Дробный и изменяющийся в зависимости от скорости вентиляторов порядок уравнения (2) позволяет объяснить причины несоответствия переходных процессов в климатических установках ожидаемым при выборе классических ПИ- или ПИД-регуляторов.

Лучшие результаты могут быть получены при использовании дробных интегрально-дифференцирующих регуляторов, обеспечивающих настройку замкнутого контура на некоторый оптимум. В качестве такого оптимума может быть выбрана передаточная функция разомкнутого контура, обеспечивающая замкнутой системе астатизм дробного порядка, при котором статическая ошибка отсутствует, однако достижение установившегося режима оказывается более продолжительным:

$$H_{опт}(p) = \frac{1}{a_\mu T_\nu^\mu p^{\mu_{опт}} (T_\nu p + 1)}, \quad (4)$$

где a_μ – параметр настройки; T_ν – некомпенсируемая постоянная времени объекта управления, обусловленная, например, периодом широтно-импульсной модуляции электрического нагревательного элемента или временем позиционирования привода водяного клапана; $\mu_{опт}$ – выбираемый порядок астатизма. В зависимости от $\mu_{опт}$ и a_μ могут быть получены различные показатели качества замкнутого контура. Так, в частности, при $\mu_{опт} = 0,5$ и $a_\mu = 0,2$ замкнутый контур характеризуется большей частотой среза по сравнению с классической настройкой на модульный оптимум, что приводит к увеличению быстродействия системы почти в 6 раз при перерегулировании 4%. При $a_\mu > 0,3$ перерегулирование отсутствует, но затягивается финальная часть переходного процесса.

Для обеспечения настройки (4) при совпадении порядка объекта управления μ и $\mu_{опт}$ необходим дробный ПИ-регулятор, а при $\mu_{опт} \neq \mu$ – дробный ИД-регулятор с передаточными функциями соответственно:

$$H_{ПИ}^\mu(p) = k_П + \frac{k_И}{p^{\mu_{опт}}}, \; H_{ИД}^\mu(p) = k_Д p^{\mu-\mu_{опт}} + \frac{k_И}{p^{\mu_{опт}}}. \quad (5)$$

Расчет дробно-интегральной $U_И^\mu$ и дробно-дифференцирующей $U_{Дi}^\mu$ составляющих регуляторов при подаче на вход сигнала X может быть выполнен в соответствии с модифицированным определением дробного интеграла в форме Римана-Лиувилля для численного интегрирования с шагом Δt:

$$U_{Иi}^\mu = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \sum_{j=1}^{i} \frac{X_{i-j+1} \Delta t^\mu}{(j - C_j^\mu)^{1-\mu}} = \sum_{j=1}^{i} X_{i-j+1} B_j^\mu, \; U_{Дi}^\mu = \frac{U_{Иi}^{1-\mu} - U_{Иi-1}^{1-\mu}}{\Delta t}, \quad (6)$$

где коэффициенты C_j^μ и B_j^μ определяются следующим образом [3]:

$$C_j^\mu = j - \frac{1}{\left(\frac{j^\mu}{\mu} - \sum_{k=1}^{j-1} \frac{1}{(k - C_k^\mu)^{1-\mu}} \right)^{\frac{1}{1-\mu}}}, \; B_j^\mu = \frac{1}{\Gamma(\mu)} \frac{\Delta t^\mu}{(j - C_j^\mu)^{1-\mu}}. \quad (7)$$

Выводы. Описание помещений дробно-апериодическим звеном (2) с помощью приближенного решения (3) позволяет выполнить идентификацию их параметров и последующий синтез оптимальных регуляторов. Выражения (6) и (7) предоставляют возможность предварительного расчета таблиц коэффициентов B_j^μ, нормирование их и использование целочисленных арифметических операций умножения и сложения однокристальных микропроцессоров для расчета выходных сигналов регуляторов. Важно также, что «насыщение» составляющих или уменьшение значений $X_{i-j+1} B_j^\mu$ ниже порога точности позволяет ограничивать количество циклов расчета. А так как в климатических системах период квантования может составлять единицы секунд, то становится возможным использование недорогих процессоров для реализации предложенных регуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учеб. пособие] / Е.С.Бондарь и др. – К: «Аванпост-Прим» 2005. – 560 с.
2. Учайкин В.В. Дробно-дифференциальная модель динамической памяти. – Математика и механика, 2001. – 14 с.
3. Бушер В.В. Идентификация элементов климатических систем дифференциальными уравнениями дробного порядка. Електромашинобудування та електрообладнання. – Київ, «Техніка», 2010, №75. – С.68-70.