

УДК 681.513.54

МЕТОДЫ ПРОГРАММНОГО РЕГУЛИРОВАННЫХ ИНЕРЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРЕДСКАЗЫВАЮЩИМ ФИЛЬТРОМ

Савицкий С.М., Гапон А.И.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина

Статья посвящена разработке математической модели экстраполятора системы программного управления инерционными объектами, которые имеют свойства линейного объекта с самовыравниванием. Модель представлена в виде рекуррентной формулы, где учитываются переходные процессы в тепловом объекте с помощью массива коэффициентов соответствия. Данная модель позволяет реализовать процесс вычисления реакции теплового объекта на базе современных микроконтроллеров, что дает возможность рассчитать величину управляющего воздействия. Рассматривается построение математических моделей и структурных схем систем программного управления с предсказанием как для объектов с сосредоточенными параметрами, так и для объектов с распределенными параметрами.

Ключевые слова: метод управления, распределенные параметры, предсказывающий фильтр.

Введение. Постановка проблемы

Повышение требований к качеству управления делает необходимым синтез законов управления, обеспечивающих выполнение множества свойств объекта управления. Классическая теория оптимального управления, элементы которой представлены в работах А.М. Летова, Р. Беллмана (R.Bellman), Р.Е. Калмана (R.E. Kalman), Л.С. Понтрягина, А.А. Красовского, А.А. Первозванского, основывается на оптимизации определенного показателя качества. В то же время такая теория адекватно описывает достаточно узкий круг практических задач, характеризующих поведение полностью известного объекта.

В реальных ситуациях имеется множество факторов, препятствующих применению классической теории оптимального управления. Для управления инерционными объектами часто используют структуру, включающую идеальное звено экстраполяции. Рассмотрена система регулирования, где объект регулирования анализируется как объект с сосредоточенными параметрами и такой подход допустим, если закон изменения температур необходимо контролировать в одной точке объема объекта регулирования [1]. Так же рассмотрена система, где объект регулирования анализируется как объект с распределенными параметрами, это становится необходимым, если закон изменения температур нужно контролировать в нескольких наперед заданных точках пространства, т.е. решать задачу управления температурным полем [2, 3, 4].

Цель статьи: описать разработанные методы программного регулирования с предсказывающим фильтром как для систем с сосредоточенными параметрами, так и для систем с распределенными параметрами, при условии, что объектам управления присущи свойства линейности, самовыравнивания и справедлив принцип суперпозиции.

Математические модели методов управления

Анализ свойств объекта регулирования, требований к системе регулирования и характера входного сигнала системы $X(t)$ позволяет выделить следующие их особенности, существенно упрощающие синтез системы регулирования [2]:

- объект регулирования обладает большой инерционностью, и поэтому переход от непрерывной системы к дискретной не вызовет существенного ухудшения характеристик системы;
- объект управления относится к классу объектов с самовыравниванием;
- теплофизические параметры объекта управления в заданном диапазоне температур являются неизменными;
- входной сигнал $X(t)$ – детерминированная наперёд заданная функция времени;
- уровень помех на входе системы, к которым, очевидно, нужно отнести ошибку задания входной величины $X(t)$ и возмущающие воздействия (колебания температуры окружающей среды) на систему небрежно малы;
- функция $X(t)$ не имеет производных по времени, равных бесконечности.

Это позволяет сделать следующие упрощения. Непрерывная величина $X(t)$, которая отражает закон изменения температуры в объекте, заменяется последовательностью дискретных значений X_1, X_2, \dots, X_m . Переходная функция объекта $h(t)$ заменяется набором дискретных значений K_1, K_2, \dots, K_n . Период дискретизации функций $X(t)$ и $h(t)$ одинаков и равен $\tau = \text{const}$. Эти упрощения позволили синтезировать структурные схемы системы терморегулирования, которые представлены на рис. 4, 6.

Математическая модель метода управления объектом с сосредоточенными параметрами

Для линейных объектов справедливо утверждение, что характер переходной функции не зависит от величины (амплитуды) управляющего воздействия, т.е. отношение выходного параметра объекта $Y(t)$ к управляющему воздействию X вида единичной функции есть величина постоянная для одного и того же момента времени, для всех X :

$$K = \frac{Y(t)}{X} \Big|_{t=\text{const}} = \text{const} \quad (0 < X < X_{\max}), \quad (1)$$

где X_{\max} – максимальное значение управляющего воздействия, при котором сохраняются линейные свойства объекта управления. Очевидно, что с течением времени значение коэффициента K будет изменяться вплоть до окончания переходного процесса в объекте. Если переходную функцию объекта по оси времени разбить на n равных интервалов τ (рис. 1), то в моменты времени t , кратные τ , можно рассчитать коэффициенты K_j по формуле:

$$K_j = \frac{Y(t)}{X} \Big|_{t=\tau \cdot j} \quad (1 < j < n), \quad (2)$$

которыми однозначно определяется переходная функция объекта в этих точках для любых значений управляющего воздействия:

$$Y(t) = X \cdot K_j \Big|_{t=\tau \cdot j} \quad (0 < X < X_{\max}; 1 < j < n). \quad (3)$$

С другой стороны, с помощью коэффициентов K_j можно рассчитать значение управляющего воздействия X , которое за заданное время $t=j \cdot \tau$ вызовет изменение выходного параметра до $Y(\eta)$:

$$X = \frac{Y(\eta)}{K_j} \Big|_{\eta=\tau \cdot j} \quad (1 < j < n). \quad (4)$$

Таким образом, задание переходной характеристики в виде матрицы коэффициентов $[K]$ позволяет однозначно связать величину управляющего воздействия, заданного в виде единичной функции, с состоянием объекта управления [12].

В соответствии с принципом суперпозиции выходную величину можно рассматривать как алгебраическую сумму реакций объекта на элементарные управляющие воздействия, алгебраической суммой которых можно представить любое управляющее воздействие.

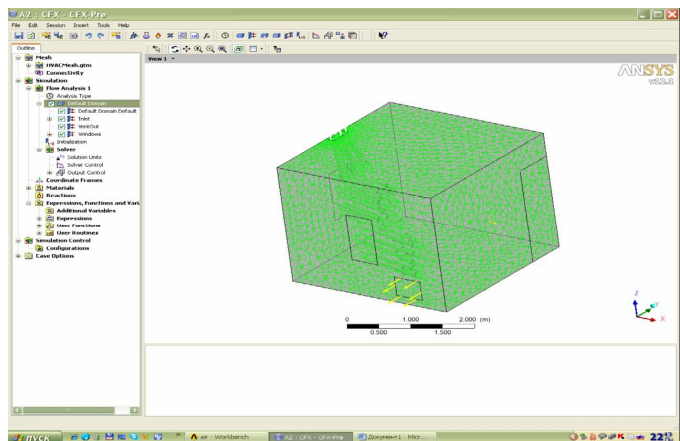
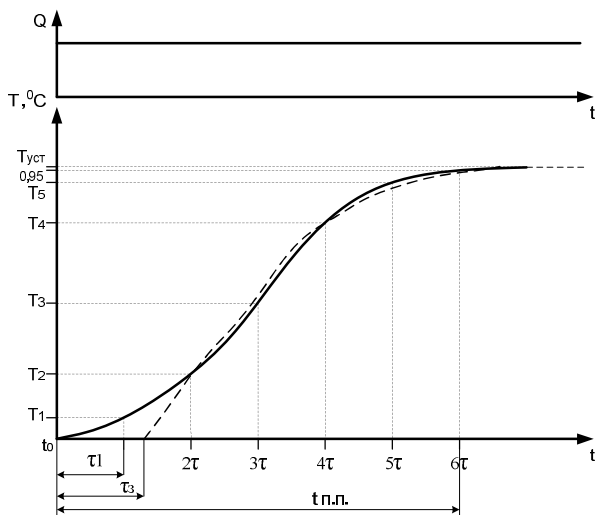


Рис. 1. Пример переходной функции объекта регулирования.

Рис. 2. Исследование модели при помещении в программной среде Ansys.

На основании вышесказанного любую ступенчатую функцию, в виде которой сформировано управляющее воздействие, можно представить в виде суммы единичных функций:

$$X_i = x_0 + x_1 + x_2 + \dots + x_i \quad (0 < i < \infty), \quad (5)$$

а реакцию объекта вычислять как сумму реакций на соответствующие единичные функции:

$$Y_i = y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_i \quad (0 < i < \infty). \quad (6)$$

Допустим, теперь ступенчатая функция изменяет своё значение только в моменты времени t , кратные τ . Тогда с помощью матрицы коэффициентов $[K]$

можно рассчитать реакцию объекта управления [12]. Например, если в момент времени $t=0$ на объект было подано воздействие x_0 , то в момент времени $t = 1 \cdot \tau$ выходная величина y_0 , будет равна:

$$Y(t) = y_0 = x_0 \cdot k_1, \quad (7)$$

в момент времени $t = 2 \cdot \tau$:

$$Y(t) = y_0 + y_1 = x_0 \cdot k_2 + x_1 \cdot k_1, \quad (8)$$

в момент времени $t = 3 \cdot \tau$:

$$Y(t) = y_0 + y_1 + y_2 = x_0 \cdot k_3 + x_1 \cdot k_2 + x_2 \cdot k_1, \quad (9)$$

или в общем виде:

$$Y(t) \Big|_{t=\tau \cdot i} = \sum_{j=0}^{i-1} x_j \cdot k_{i-j+1}, \quad i = 1, 2, \dots, \infty \quad (10)$$

То обстоятельство, что переходная характеристика объекта с самовыравниванием при $t \rightarrow \infty$ стремится к какому-то установившемуся значению, позволяет вычислять значение $Y(t)$ по формуле, ограничившись числом n коэффициентов K . Поскольку по окончании переходного процесса отношение

$$\frac{Y(t)}{X} = K_n \quad \text{для} \quad t_{n,n} < t < \infty, \quad (11)$$

где $t_{n,n}$ – длительность переходного процесса, выражение (10) удобнее представить в виде:

$$Y(t) \Big|_{t=\tau \cdot i} = K_n \sum_{j=0}^{i-n} x_j + \sum_{m=i-n+1}^i x_m \cdot k_{i-m+1} \quad (12)$$

Под первый знак суммы выражения (12) сведены все управляющие воздействия, имеющие вид единичной функции, для которых переходные процессы в объекте окончились и которым соответствует один коэффициент K_n . Под вторым знаком суммы сведены произведения величин управляющих воздействий x_m на соответствующие коэффициенты k_{i-m+1} , причём x_m определяют переходные процессы в объекте, поскольку с момента их подачи на объект прошло время $t = (i - m) \cdot \tau$, меньшее длительности переходного процесса. Выражение (12) позволяет по известным значениям приращений управляющего воздействия предсказать состояние объекта в любой момент времени t , кратный τ . Таким образом, если на линейный объект воздействовать сигналом в виде ступенчатой функции, и значение этого сигнала будет изменяться только в моменты времени, кратные некоторой наперёд заданной величине τ , то по переходной функции объекта, заданной в виде таблицы коэффициентов, равных отношению выходного сигнала к управляющему воздействию, можно однозначно рассчитать значение выходного сигнала в любой момент времени t , кратный τ , обусловленного ступенчатым управляющим воздействием. Следует отметить, что решение обратной задачи, т.е. отыскание вида управляюще-

го воздействия для заданного значения выходного сигнала требует наложения дополнительных ограничений. В противном случае задача имеет множество решений.

Выражение (12) описывает алгоритм функционирования математической модели объекта управления, а выражение (4) описывает работу блока усилителя-корректора структурной схемы рис. 5.



Рис. 3. Натурное исследование объекта на распределение его температурного поля при различных граничных условиях.

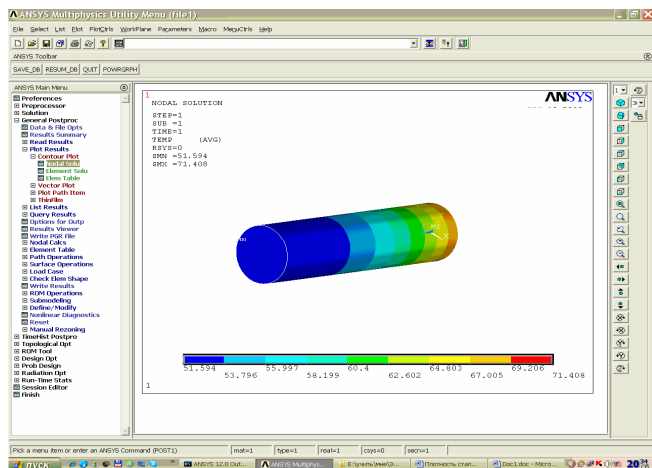


Рис. 4. Исследование объекта на распределение его температурного поля при различных граничных условиях с помощью программного комплекса Ansys.

Предложенная структурная схема системы автоматического регулирования и математическая модель объекта управления легли в основу метода программного регулирования с предсказанием объекта большой инерционности. Исследование реакции объекта на управляющие воздействия ступенчатой формы, расчет коэффициентов K , экспериментальное подтверждение справедливости полученных выражений произведены с применением натурного эксперимента (рис. 3) и исследования математической модели в среде Ansys (рис. 2, 4).

На (рис. 5) представлена структурная схема системы, реализующая предлагаемый метод. Данная система содержит блок 1 памяти кодов приращения тепловых потоков; блок 2 памяти кодов коэффициентов K ; вычислитель 3 прогнозируемого изменения температуры к концу интервала регулирования под воздействием тепла, подведенного к началу этого интервала; программный задатчик 4; элемент сравнения 5 для вычисления кода и знака прогнозируемой ошибки рассогласования; аналого-цифровой преобразователь 6; элемент сравнения 7 для вычисления кода и знака имеющейся ошибки рассогласования; сумматор 8 для вычисления суммарной прогнозируемой ошибки рассогласования; вычислитель 9 для вычисления кодов приращения теплового потока и суммарного теплового потока. Система также содержит функциональный преобразователь 10, для вычисления кода, пропорционального току, который необходимо подать на нагреватель в течение следующего интервала программного регулирования; элемент памяти 11 для хранения кода;

пропорционального току в нагревателе; цифро-аналоговых преобразователей 12, усилитель 13, нагреватель 14, объект регулирования 15 и датчик температуры 16.

Математическая модель метода управления объектом с распределенными параметрами

И так, пусть имеется p нагревателей, распределенных в пространстве объекта регулирования (например, на его стенках) и q датчиков температуры. Пусть в заданном диапазоне температур объект управления (температурное поле) сохраняет свои линейные свойства. Тогда для каждой точки пространства, где размещены датчики температуры, существует p переходных функций. Пример семейства переходных функций представлен на рис. 6.

На рисунке $h_1(t)$ соответствует переходной функции в точке размещения датчика температуры от ближайшего нагревателя, $h_p(t)$ переходная функция от нагревателя, расположенного дальше всех. Для q датчиков температуры в общем случае существует q семейств переходных функций $h(t)$.

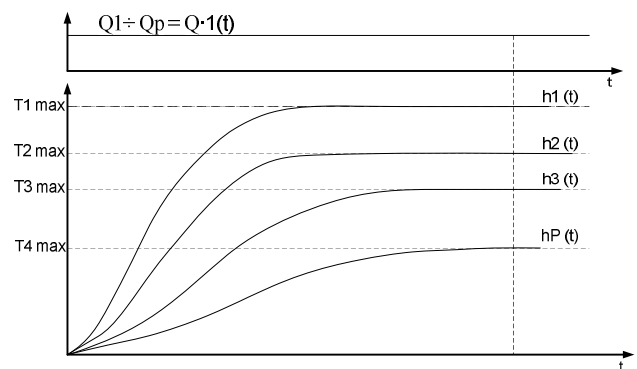
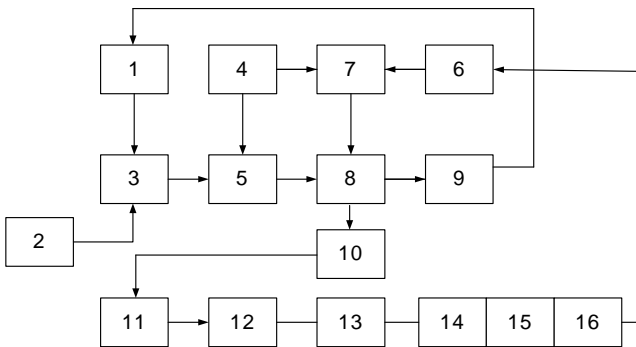


Рис. 5. Структурная схема системы программного регулирования с предсказанием объекта с сосредоточенными параметрами.

Рис. 6. Семейство переходных функций объекта с распределенными параметрами.

Математическая модель метода управления объектом с распределенными параметрами

И так, пусть имеется p нагревателей, распределенных в пространстве объекта регулирования (например, на его стенках) и q датчиков температуры. Пусть в заданном диапазоне температур объект управления (температурное поле) сохраняет свои линейные свойства. Тогда для каждой точки пространства, где размещены датчики температуры, существует p переходных функций. Пример семейства переходных функций представлен на рис. 5. На рисунке $h_1(t)$ соответствует переходной функции в точке размещения датчика температуры от ближайшего нагревателя, $h_p(t)$ переходная функция от нагревателя, расположенного дальше всех. Для q датчиков температуры в общем случае существует q семейств переходных функций $h(t)$. Очевидно, что переходные процессы,

обусловленные потоками от самых дальних нагревателей имеют наибольшую продолжительность, и к ним данная точка пространства наименее чувствительна [10, 11].

Введем ограничения на управляющее воздействия и математическую модель объекта управления: заменим q -мерный непрерывный сигнал (для выполнения единственности решений для q датчиков температуры необходимо задавать температурное поле в этих же и только этих q -точках) дискретным набором q -мерных векторов X ; заменим переходные функции $h_i(t)$ ($1 < i < q$) дискретным набором коэффициентов $K(i, j, \tau)$, где $1 < i < q$, $0 < j < n$. Период дискретизации функции $X(t)$ и $h_i(t)$ принимаем одинаковым и равным τ . Для обеспечения более высокой точности регулирования период дискретизации τ выбирается по $h_1(t)$. Очевидно, что структура системы автоматического управления температурным полем будет та же, что и для объекта с сосредоточенными параметрами (рис. 5), с тем лишь отличием, что теперь $X(n \cdot \tau)$, $X^*((n+1) \cdot \tau)$ есть q -мерные вектора, а $Y(n \cdot \tau)$ – p -мерный вектор. Для выполнения условия существования решения должно выполняться неравенство

$$p \leq q. \quad (13)$$

При $p = q$ существует единственное решение для вектора управления.

Построим математическую модель температурного поля для q датчиков и p нагревателей. Математическая модель температуры в точке под воздействием одного нагревателя описывается выражением:

$$Y(t) = y_0 + y_1 + y_2 = x_0 K_3 + x_1 K_2 + x_2 K_1, \quad (14)$$

для $t = 3 \cdot \tau$.

Поскольку для линейных температурных полей принцип суперпозиции соблюдается, математическая модель температуры в точке для p нагревателей имеет вид:

$$Y_e(t) \Big|_{t=(i+1) \cdot \tau} = \sum_{r=1}^p \left(K_{n,r,l} \sum_{j=0}^{i-n_{r,l}+1} x_{j,l,r} + \sum_{m=i-n_{r,l}+2} x_{m,l,r} \cdot K_{i-m+1,r,l} \right), \quad (15)$$

$$(1 < l < q),$$

n_r – число интервалов времени τ , за которое переходная функция $h(t)$ достигает установившегося значения. Из рисунка (б) видно, что для самого дальнего нагревателя n_r – максимальное. В результате вычислений для всех точек измерения получим матрицу-столбец $[Y]$ математической модели температурного поля [12].

На рисунке (7) представлена структурная схема системы программного управления температурным полем, реализующей предлагаемый способ. Как и система программного регулирования (рис 5), данная система содержит блок 1 памяти кодов приращения тепловых потоков ΔQ_i ($1 < i < p$), блок 2 памяти кодов коэффициентов $K_{i,j,l}$ ($1 < i < n_j$, $1 < j < q$, $1 < l < p$), вычислитель 3 прогнозируемого изменения температуры во всех q точках, программный задатчик 4, элемент сравнения 5 для вычисления кода и знака прогнозируемой ошибки рассогласования во всех q -точках, аналого-цифровой преобразователь 6, элемент сравне-

ния 7 для вычисления кода и знака имеющейся ошибки рассогласования, сумматор 8 для вычисления суммарной прогнозируемой ошибки рассогласования для каждой из q точек. В отличие от системы (рис. 4) данная система содержит блок памяти 9 коэффициентов $K_{i,j}$ ($1 < i < q$, $1 < j < p$). Вычислитель 10 кодов приращений тепловых потоков для каждого из p нагревателей также работает по алгоритму, отличному от системы, представленной на рис. 4, система с сосредоточенными параметрами. Система также содержит по p функциональных преобразователей 11, элементов памяти 12, цифро-аналоговых преобразователей 13, усилителей тока 14 и нагревателей 15, а также q датчиков температуры.

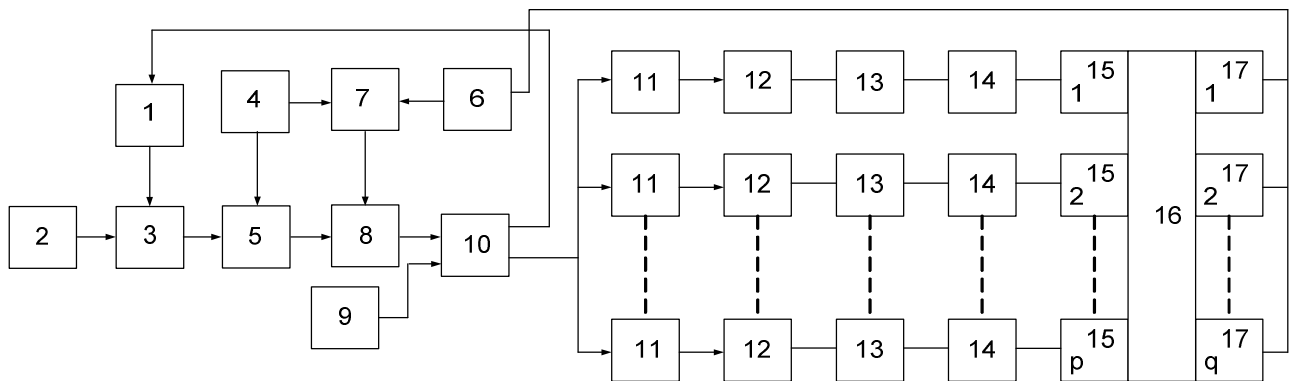


Рис. 7. Структурная схема системы программного управления с предсказанием температурным полем объекта.

После запуска системы программного регулирования температурным полем, вычислитель 3 начинает вычисление прогнозируемого изменения температуры объекта относительно T_0 для каждой из точек, начиная с первой, по формуле

$$\Delta T_{(i+1),l}^P = \sum_{r=1}^p \left(K_{n,r,l} \sum_{j=0}^{i-n_{r,l}+1} \Delta Q_{j,r} + \sum_{m=i-n_{r,l}+2}^{i-1} \Delta Q_{m,r} \cdot K_{i-m+1,r,l} \right), \quad (16)$$

где $i=1,2,\dots,\infty$; $r=1,2,\dots,p$; $l=1,2,\dots,q$.

$\Delta T_{(i+1),l}^P$ – прогнозируемое изменение температуры в l -точке к моменту времени $t=(i+1) \cdot \tau$. Формула представляет собой математическую модель температурного поля в момент времени $t=(i+1) \cdot \tau$.

$$\Delta_1 = \Delta_1 + \Delta_2 = (\Delta T_{i+1}^3 - \Delta T_{i+1}^P) + (\Delta T_i^3 - \Delta T_i^g). \quad (17)$$

В элементе сравнения 5 вектор прогнозируемой температуры сравнивается с вектором температуры задатчика 4. По аналогии с выражением

$$\Delta_1 = \Delta T_{i+1}^3 - \Delta T_{i+1}^P, \quad (18)$$

запишем уравнение вектора разности Δ_1 в матричной форме

$$\{\Delta_1\} = \{\Delta T_{i+1}^3\} - \{\Delta T_{i+1}^P\}. \quad (19)$$

Аналогично вектор текущей ошибки рассогласования вычисляется по формуле

$$\{\Delta_2\} = \{\Delta T_i^3\} - \{\Delta T_i^g\}, \quad (20)$$

где $\{\Delta T_i^g\}$ – вектор приращений температуры в точках, измеренных датчиками.

Вычисления по формуле (20) осуществляет элемент сравнения 7. Суммарный вектор прогнозируемых ошибок рассогласования вычисляет сумматор 8 по формуле:

$$\{\Delta_1\} = \{\Delta_1\} + \{\Delta_2\} = \left(\{\Delta T_{i+1}^3\} - \{\Delta T_{i+1}^p\} \right) + \left(\{\Delta T_i^3\} - \{\Delta T_i^g\} \right). \quad (21)$$

Очевидно, что для $i=1$, при условии, что температура во всех точках пространства не отличалась от T_0 , $\{\Delta\} = \{\Delta T_{i+1}^3\}$, так как все остальные слагаемые равны нулю.

Для того, чтобы с момента времени $t = i \cdot \tau$ до момента времени $t = (i+1) \cdot \tau$ температура во всех точках поля стала равной заданной по программе, необходимо подвести дополнительно тепловой поток, который вызовет равное по величине, но противоположное по знаку изменение температуры во всех соответствующих точках. Но на каждую точку поля воздействуют все p нагревателей одновременно. Поэтому для i точки пространства ($1 < i < q$) это изменение должно удовлетворять уравнению

$$\Delta Q_1 \cdot K_{1,1,i} + \Delta Q_2 \cdot K_{1,2,i} + \dots + \Delta Q_p \cdot K_{1,p,i} = -\Delta_i. \quad (22)$$

Из вышеизложенного понятно, что уравнений (22) должно быть q . Поэтому значение приращений тепловых потоков для каждого из нагревателей вычисляется путем совместного решения системы уравнений.

$$\begin{cases} \Delta Q_1 \cdot K_{1,1,1} + \Delta Q_2 \cdot K_{1,2,1} + ... + \Delta Q_p \cdot K_{1,p,1} = -\Delta_1 \\ \Delta Q_1 \cdot K_{1,1,i} + \Delta Q_2 \cdot K_{1,2,i} + ... + \Delta Q_p \cdot K_{1,p,2} = -\Delta_2 \\ \\ \Delta Q_1 \cdot K_{1,1,q} + \Delta Q_2 \cdot K_{1,2,q} + ... + \Delta Q_p \cdot K_{1,p,q} = -\Delta_q \end{cases}, \quad (23)$$

или в матричной форме

$$[\mathbf{K}_1] \cdot \{\Delta \mathbf{Q}\} = -\{\Delta\}, \quad (24)$$

где $[K_1]$ – в общем случае прямоугольная матрица размером $p \times q$, $\{\Delta Q\}$ – матрица строка, содержащая p элементов; $\{\Delta\}$ – матрица столбец, содержащая q элементов. Из теории матриц [12] известно, что система уравнений (24) имеет решение, если $p \geq q$ и имеет единственное решение, если $p = q$, т.е. матрица $[K_1]$ – квадратная. Из условия единственности решения вытекает необходимость того, чтобы число датчиков в объекте регулирования равнялось числу нагревателей. При $p > q$ система (24) имеет множество решений. Для исключения такой множественности необходимо значение ΔQ_i для $q < i \leq p$ зафиксировать и считать их известными. В принципе, известны системы управления, содержащие контуры грубой и точной настройки. Поэтому в случае, когда $p > q$ предлагается такой подход для определения ΔQ_i . Первые $(p - q)$ нагревателей используются в качестве нагревателей грубой настройки, для которых мощность на интервале времени от $i \cdot \tau$ до $(i + 1) \cdot \tau$ определяется по формуле

$$\Delta Q_i = \frac{\Delta_{\text{ср}}}{C_{\text{к}}} \cdot \frac{\eta}{q} \quad (i = p-q, p-q+1, \dots, p), \quad (25)$$

где:

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^q \Delta_j}{q}, \quad (26)$$

$\Delta_{\text{ср}}$ – среднее приращение температуры в объекте регулирования, $C_{\text{к}}$ – теплоемкость объекта регулирования, η – коэффициент определяющий долю суммарной мощности нагревателей грубой настройки от мощности всех нагревателей.

После вычисления значения приращения теплового потока ΔQ нагревателей грубой настройки, эти значения подставляются в систему уравнений (23), решение которой дает значение приращений теплового потока нагревателей точной настройки. Затем, по формуле (27) вычисляется полный тепловой поток для каждого из p нагревателей.

$$Q_i = \sum_{j=0}^i \Delta Q_j. \quad (27)$$

Выводы

Предложены математические модели линейных систем, содержащие объекты управления с самовыравниванием, которые позволят с высокой точностью прогнозировать реакцию объекта управления на управляющее воздействие вида ступенчатой функции.

Показано, что математическая модель таких систем имеет простую структуру и содержит конечное число арифметических операций. Разработаны методы, построены математические модели, сгенерированы структурные схемы систем регулирования инерционными объектами, как в виде точечного объекта, так и объекта с распределенными параметрами, которым присущи свойства линейности, самовыравнивания и справедлив принцип суперпозиции.

Литература

1. Гапон А. И. Математическая модель предсказывающего фильтра для системы управления тепловыми объектами / А. И. Гапон, С. М. Савицкий, Н. А. Рудакова, А. М. Коркин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Автоматика и приборостроение.– 2010. – № 20. – С. 27-33.
2. Бутковский А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
3. Бутковский А. Г. Характеристики систем с распределенными параметрами: Справ. Посobie. – М.: Наука, 1979. – 224 с.
4. Лыков А. В. Тепломасообмен: [Справочник] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 560с.
5. Колмогоров А. Н. Проблема синтеза оптимального предсказывающего фильтра // Изв. АН СССР. Сер. матем. и естеств. наук. – 1941. – № 5. – С. 112-129.
6. Weiner N. The Extrapolation Interpolation and Smoothing of Stationary Time-Series. I. Willey, N.Y., 1949. – 290 p.

7. Gabor D. A universal nonlinear filter, predictor and simulator which optimizes itself by a learning process / D. Gabor, W. R. Wilby, R. A. Woodcock // Proc. Inst. Electr. Engrs. – 1961. – Vol. 108., part B. – № 40. – P. 85-98.
8. Предсказание случайных процессов / А. Г. Ивахненко, В. Г. Лапа – К.: Наукова думка, 1971. – 415 с.
9. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наукова думка, 2002. – 490 с.
10. Кадымов Я. Б. Переходные процессы в системах с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1968. – 191с.
11. Дейнега В. Т. Определение времени выхода в режим для объекта с распределенными параметрами / В. Т. Дейнега, Горлов В. А., С. В. Тишечкин // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. – 1976. – Вып. 2. – С. 111-117.
12. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1966. – 326 с.

References

1. Gapon A. I. Mathematical model of predictive filter for control the system by thermal objects / A. I. Gapon, S. M. Savickiy, N. A. Rudakova, A. M. Korkin // Bulletin of the National technical university «Kharkiv polytechnic university». Collection of scientific labours. Thematic issue: Automation and instrument-making – 2010. – № 20. – P. 27-33. [rus]
2. Butkovskiy A. G. Methods of management of systems with the distributed parameters. – М.: Nauka, 1975. – 568 p. [rus]
3. Butkovskiy A. G. Descriptions of the systems with the distributed parameters: Sprav. Manual. – М.: Nauka, 1979. – 224 p. [rus]
4. Lykov A. V. Teplomassoobmen/ reference Book. – М.: Energiya, 1972. – 560 p. [rus]
5. Kolmogorov A. N. Problems wiht synthesis of optimum predictive filter // USSR.science. – 1941. – № 5. – 112-129 p. [rus]
6. Weiner N. The Extrapolation Interpolation and Smoothing of Stationary Time-series. I. Willey, N.Y., 1949. – 290 p.
7. Gabor D. A universal nonlinear filter, predictor and simulator which optimizes itself by a learning process / D. Gabor, W. R. Wilby, R. A. Woodcock // Proc. Inst. Electr. Engrs. – 1961. – vol. 108., part B. – № 40. – P. 85-98.
8. Prediction of casual processes / A. G. Ivakhnenko, V. G. Lapa.– К.: Naukova dumka, 1971. – 415 p. [rus]
9. Sirodzha I. B. The quantum models and methods of artificial intelligence for making a decision and management. – К.: Naukova dumka, 2002. – 490 p. [rus]
10. Kadyimov Y. B. Transients in the systems with the distributed parameters. – М.: Nauka, 1968. – 191 p. [rus]
11. Deynega V. T. Determination of time of output in the mode for an object with the distributed parameters / V. T. Deynega, V. A. Gorlov, S. V. Tishechkin // Questions of radio electronics, TRTO. – 1976. – part 2. – P. 111-117. [rus]
12. Gantmakher F. R. Theory of matrices. – М.: Nauka, 1966. – 326 p. [rus]

С. М. Савицький., А. І. Гапон

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

МЕТОДИ ПРОГРАМНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ТЕПЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ З ПРОГНОЗУЮЧИМ ФІЛЬТРОМ

Стаття присвячена розробці математичної моделі екстраполятора системи програмного керування інерційними об'єктами, які мають властивості лінійного об'єкту з самовирівнюванням.

Модель представлена у вигляді рекурентної формули, де враховуються перехідні процеси в тепловому об'єкті за допомогою масиву коефіцієнтів відповідності. Дана модель дозволяє реалізувати процес обчислення реакції теплового об'єкту на базі сучасних мікроконтролерів, що дає можливість розрахувати величину керуючої дії. Розглядається побудова математичних моделей і структурних схем систем програмного керування з прогнозом і для об'єктів із зосередженими параметрами, і для об'єктів з розподіленими параметрами.

Ключові слова: метод керування, розподілені параметри, прогнозуючий фільтр.

S. M. Savitskiy, A. I. Gapon

National technical university «Kharkov polytechnic institute», Kharkov, Ukraine

METHODS OF PROGRAMMATIC THE REGULATED INERTIA THERMAL OBJECTS WITH PREDICTIVE FILTER

The article is devoted development of mathematical model of the “ekstrapolyator” system of programmatic management inertia objects which are characteristics of linear object with self-aligning. A model is presented as a recurrent formula, where taken into account transients in a thermal object by the array of coefficients of accordance. This model allows to realize the process of calculation of reaction of thermal object on the base of modern microcontrollers, that enables to expect the size of managing influence. The construction of mathematical models and flow diagrams of the systems of programmatic management with a prediction both for objects with the concentrated parameters and for objects with the distributed parameters it is suggested.

Keywords: a method of management, a distributed parameters, a forecasted filter.

Надійшла до редакції

14 жовтня 2011 року