

А. Ю. Воронин, канд. техн. наук, доц., iraven@yandex.ru,
Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал)
ФГАОУ ВПО "Северо Кавказский федеральный университет"

Модифицированный частотный метод поиска параметров распределенного высокоточного регулятора

Обсуждается решение задачи управления объектом с распределенными параметрами. В качестве корректирующего блока в системе управления используется распределенный высокоточный регулятор, представляющий собой функцию нескольких переменных, связанных с геометрическими параметрами объекта. Коэффициенты этого регулятора могут быть определены несколькими методами, однако модифицированный частотный метод позволяет исключить из регулятора неопределенность, равную бесконечности, что положительно сказывается на характере переходных процессов замкнутой системы автоматического управления.

Ключевые слова: модифицированный, частотный, метод, распределенный, высокоточный, регулятор

Введение

Наибольшую актуальность в задачах управления физическими процессами приобретают объекты и системы с распределенными параметрами. К данному классу объектов и систем относятся гидротосферные [1], электромагнитные [2] и другие процессы, параметры которых распределены не только во времени, но и в пространстве. С некоторыми допущениями для их анализа и синтеза могут быть использованы методы, применяемые для сосредоточенных систем. Однако, если входное воздействие на объект (систему) представлено функциями, распределенными в пространственных областях, то следует применять методы анализа и синтеза распределенных систем управления.

Для анализа, синтеза и оптимизации систем с распределенными параметрами существуют разнообразные методы, например: подвижное управление в системах с распределенными параметрами [3]; частотные методы синтеза [4]; аналитическое конструирование оптимальных регуляторов [5]; параметрический метод синтеза регуляторов [6]; альтернативный метод [7]; робастная стабилизация распределенных систем [8]; управление корнями замкнутой системы с помощью конечномерного регулятора [9];

распределенное управление приводом конструкции для гибких балок [10].

Рассмотрим более подробно частотные методы синтеза распределенных регуляторов, а в частности, метод синтеза распределенного высокоточного регулятора (РВР).

В работе [4] приведена методика определения параметров такого регулятора. Рассмотрим некоторые из особенностей этой методики на примере следующей задачи. Предположим, что имеется распределенный объект управления (нагревательная камера), для которого требуется спроектировать систему управления (рис. 1).

Конструкция нагревательной камеры включает корпус (1), два секционных нагревателя (2) (число секций каждого секционного нагревателя равно 20). Информация о температурном поле внутри камеры снимается с помощью термопар (3).

Геометрические параметры камеры: $X_L = 1,2$ м; $Y_L = 0,8$ м; $Z_L = 0,05$ м; $Z_1 = 0,0235$ м; $Z_2 = 0,0265$ м; $Z_D = 0,005$ м; скорость заготовки v .

Постановка задачи: для системы управления температурным полем нагревательной камеры требуется определить передаточные функции распределенных высокоточных регуляторов $R^{(1)}(x, y, s)$ и $R^{(2)}(x, y, s)$, с учетом ограничений на запасы устойчивости: по фазе $\Delta\varphi \geq \pi/6$; по модулю $\Delta L > 0$ дБ. Здесь и далее L — логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ), φ — логарифмическая фазово-частотная характеристика (ЛФЧХ).

Математическая модель объекта управления

Для оценки динамических характеристик опишем математическую модель объекта управления. При этом сделаем следующие допущения: температура на входе и выходе камеры поддерживается постоянной; тепловой поток через боковые стенки камеры равен нулю; скорость движения заготовки v вследствие малости примем равной 0. С учетом при-

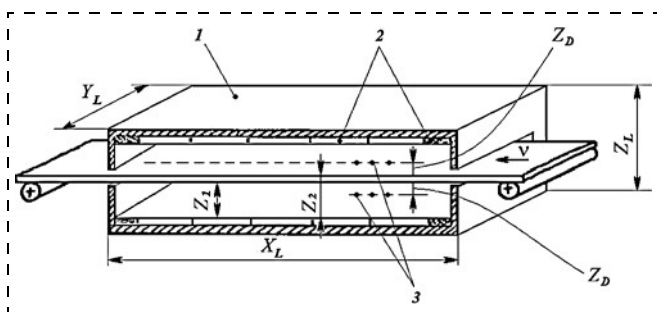


Рис. 1. Нагревательная камера

нятых допущений система уравнений теплопроводности может быть записана в следующем виде [11]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \tau} &= a_1 \cdot \nabla^2 T_1, \quad T_1 = f(x, y, z, \tau), \\ 0 < x < X_L, \quad 0 < y < Y_L, \quad 0 < z < Z_1, \quad \tau > 0; \\ \frac{\partial T_2}{\partial \tau} &= a_2 \cdot \nabla^2 T_2, \quad T_2 = f(x, y, z, \tau), \\ 0 < x < X_L, \quad 0 < y < Y_L, \quad Z_1 < z < Z_2, \quad \tau > 0; \\ \frac{\partial T_3}{\partial \tau} &= a_3 \cdot \nabla^2 T_3, \quad T_3 = f(x, y, z, \tau), \\ 0 < x < X_L, \quad 0 < y < Y_L, \quad Z_2 < z < Z_2 + Z_1, \quad \tau > 0; \\ \nabla^2 &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Граничные условия для системы уравнений (1) с учетом рис. 1 задаются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial T_1(x, y, Z_1, \tau)}{\partial z} &= \lambda_2 \frac{\partial T_2(x, y, Z_1, \tau)}{\partial z}, \\ \lambda_2 \frac{\partial T_1(x, y, Z_2, \tau)}{\partial z} &= \lambda_3 \frac{\partial T_2(x, y, Z_2, \tau)}{\partial z}, \\ T_1(x, y, Z_1, \tau) &= T_2(x, y, Z_1, \tau), \\ T_2(x, y, Z_2, \tau) &= T_3(x, y, Z_2, \tau), \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1(x, y, 0, \tau)}{\partial z} &= U(x, y), \\ \lambda_3 \frac{\partial T_3(x, y, (Z_2 + Z_1), \tau)}{\partial z} &= U(x, y), \\ 0 \leq x \leq X_L, \quad 0 \leq y \leq Y_L, \quad \tau \geq 0; \\ T_1(0, y, z, \tau) &= T_1(X_L, y, z, \tau) = 0, \\ T_2(0, y, z, \tau) &= T_2(X_L, y, z, \tau) = 0, \\ T_3(0, y, z, \tau) &= T_3(X_L, y, z, \tau) = 0, \\ 0 \leq y \leq Y_L, \quad 0 \leq z \leq Z_L, \quad \tau \geq 0; \\ \frac{\partial T_1(x, 0, z, \tau)}{\partial y} &= \frac{\partial T_1(x, Y_L, z, \tau)}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial T_2(x, 0, z, \tau)}{\partial y} &= \frac{\partial T_2(x, Y_L, z, \tau)}{\partial y} = 0, \end{aligned}$$

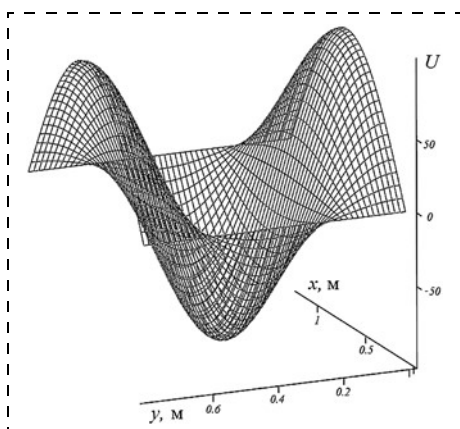


Рис. 2. Первая гармоника ряда $U(x, y)$

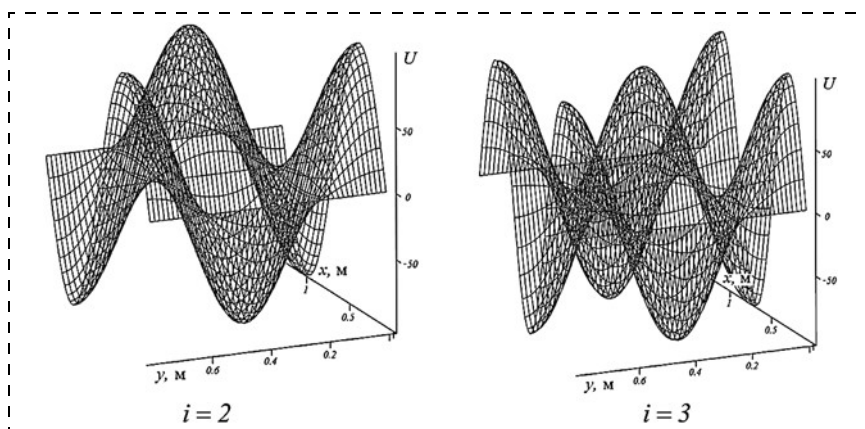


Рис. 3. Вторая и третья гармоники ряда $U(x, y)$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_3(x, 0, z, \tau)}{\partial y} &= \frac{\partial T_3(x, Y_L, z, \tau)}{\partial y} = 0, \\ 0 \leq x \leq X_L, \quad 0 \leq z \leq Z_2 + Z_1, \quad \tau \geq 0, \end{aligned}$$

где x, y, z — пространственные координаты; τ — время; λ_1, λ_3 — коэффициент теплопроводности воздуха в соответствующих средах (1 и 3, рис. 1) ($\lambda_1 = \lambda_3 = 0,059$ [12]), λ_2 — коэффициент теплопроводности материала листовой заготовки ($\lambda_2 = 20,1$ [12]); a_1, a_3 — коэффициент температуропроводности воздуха в соответствующих средах ($a_1 = a_3 = 0,4 \cdot 10^{-5}$ [12]); a_2 — коэффициент температуропроводности материала заготовки ($a_2 = 0,19 \cdot 10^{-4}$ [12]); T_1, T_2, T_3 — температурное поле в соответствующих средах; $U_k(x, y, \tau)$ — функции входного воздействия ($k = 1, k = 2$). В модели (1) в качестве функций выхода принимаем температурные поля $T_1(x, y, (Z_1 - Z_D), \tau)$ и $T_3(x, y, (Z_2 + Z_D), \tau)$.

Далее полученная система уравнений решается с использованием численных методов [13].

Анализ объекта управления

Для анализа объекта управления необходимо задать функцию распределенного входного воздействия на данный объект. С учетом того, что все грани нагревательной камеры — теплоизолированные, за исключением областей, через которые заготовка поступает внутрь, входное воздействие на данный объект будем разлагать в ряд Фурье по пространственным координатам [4] с использованием функций $\cos(\cdot)$ и $\sin(\cdot)$. При этом входное воздействие на распределенный объект можно записать в виде следующего ряда:

$$\begin{aligned} U(x, y) &= A + \sum_{i=1}^6 B \sin(\psi_i x) \cos(\chi_i y), \quad (2) \\ 0 \leq x \leq X_L, \quad 0 \leq y \leq Y_L, \quad A &= 300, \quad B = 100, \\ \psi_i &= \frac{\pi i}{X_L}, \quad \chi_i = \frac{2\pi}{Y_L}. \end{aligned}$$

Графики первых трех гармоник ряда (2) приведены на рис. 2—3.

Подавая на вход объекта управления поочередно каждую составляющую ряда входного воздействия (2), определяем его реакцию. Результаты компьютерного моделирования показывают, что объект управления является устойчивой системой.

С использованием полученных данных аппроксимируем передаточные функции объекта управления при каждой i -й моде, $i = \overline{1, 6}$, входного воздействия в виде апериодического звена с чистым запаздыванием:

$$W(i, s) = \frac{k(i)}{\tau_R(i)s + 1} e^{-s\tau_Z(i)},$$

где $k(i)$, $\tau_R(i)$, $\tau_Z(i)$ — константы, определяемые с использованием графиков переходных процессов (рис. 4), s — оператор Лапласа.

Коэффициент передачи объекта $k(i)$ определяется из соотношения

$$k(i) = \frac{T_{\max}(i)}{U(i)},$$

где $T_{\max}(i)$ — установившиеся значения амплитуд функций выхода, $U(i)$ — амплитуды входных воздействий в фиксированной точке по x и по y .

После этого определяем значения констант комплексных передаточных коэффициентов для каждой пространственной моды (i) входного воздействия. Все полученные данные заносим в таблицу.

Как показывают результаты численного моделирования, система обладает свойством фильтрации

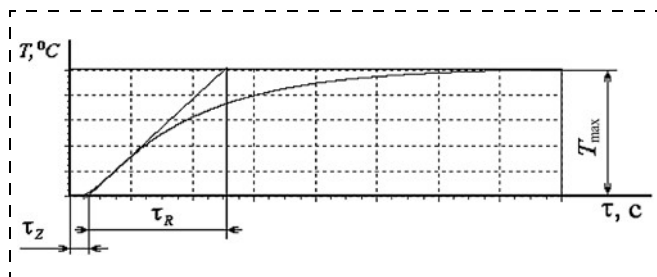


Рис. 4. Определение констант τ_Z , τ_R и $T_{\max}$

Параметры переходных процессов

Номер моды, i	T_R , с	τ_Z , с	k
1	192	25	4,048583
2	170	23	3,775620
3	161	23	3,377386
4	158	22	2,960862
5	132	22	2,559751
6	115	20	2,224969

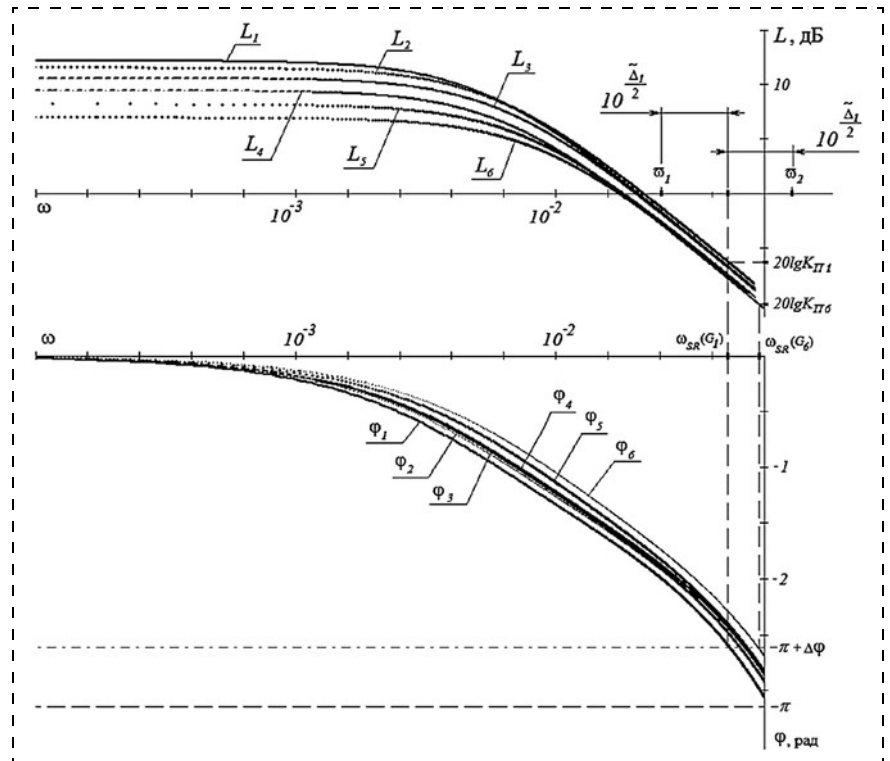


Рис. 5. ЛАЧХ и ЛФЧХ объекта управления

пространственных мод, т. е. с увеличением параметра i значение коэффициента передачи $k(i)$ уменьшается.

С использованием полученных передаточных функций объекта управления построим частотные характеристики (ЛАЧХ и ЛФЧХ) распределенного объекта (рис. 5).

Далее с учетом полученных частотных характеристик в соответствии с критерием устойчивости Найквиста [14], обобщенным на распределенные системы в работе [4], определим параметры распределенного регулятора.

Синтез РВР

Для распределенной системы управления температурным полем в качестве корректирующего блока выберем РВР [4]. Его передаточная функция может быть записана в виде

$$R(x, y, s) = E_1 \left(\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{\nabla^2}{n_1} \right) + E_2 \left(\frac{n_2 - 1}{n_2} - \frac{\nabla^2}{n_2} \right) s + E_4 \left(\frac{n_4 - 1}{n_4} - \frac{\nabla^2}{n_4} \right) \frac{1}{s}, \quad (3)$$

где E_1 , E_2 , E_4 — общие коэффициенты усиления;

n_1 , n_2 , n_4 — весовые коэффициенты; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$;

s — оператор Лапласа.

Расчет пропорциональной составляющей РВР

Для определения значений коэффициентов E_1 и n_1 пропорциональной составляющей РВР с использованием частотных характеристик (рис. 5) определяются коэффициенты передачи объекта $K_{п1}$ и $K_{п6}$.

Значения коэффициентов E_1 и n_1 находим из следующей системы уравнений [4]:

$$\begin{cases} \frac{1}{K_{п1}} = E_1 \left[\frac{n_1 - 1 + G_1}{n_1} \right] = 2,195653, & G_1 = \psi_1^2 + \chi^2; \\ \frac{1}{K_{п6}} = E_1 \left[\frac{n_1 - 1 + G_6}{n_1} \right] = 3,077897, & G_6 = \psi_6^2 + \chi^2, \end{cases} \quad (4)$$

где G_1, G_6 — значения обобщенной координаты [4].

Делением первого уравнения системы (4) на второе получаем уравнение для нахождения n_1 :

$$\frac{E_1 \left[\frac{n_1 - 1 + G_1}{n_1} \right]}{E_1 \left[\frac{n_1 - 1 + G_6}{n_1} \right]} = 0,713361,$$

отсюда $n_1 = 529,469196$.

Затем преобразуем систему уравнений (4) к виду

$$\begin{cases} K_{п1}n_1 = E_1n_1 - 1 + E_1G_1; \\ K_{п6}n_1 = E_1n_1 - 1 + E_1G_6. \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Отсюда } E_1 = \frac{(K_{п1} - K_{п6})n_1}{G_1 - G_6} = 1,947261.$$

Далее определим интегрирующую и дифференцирующую составляющие распределенного регулятора.

Интегрирующая и дифференцирующая составляющие РВР

Для определения параметров E_2, E_4, n_2, n_4 РВР (3) необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \lg(\omega_{SR}(G_1)) = \\ = 0,5\lg \left[E_4 \left[\frac{n_4 - 1 + G_1}{n_4} \right] \right] - 0,5\lg \left[E_2 \left[\frac{n_2 - 1 + G_1}{n_2} \right] \right]; \\ \lg(\omega_{SR}(G_6)) = \\ = 0,5\lg \left[E_4 \left[\frac{n_4 - 1 + G_6}{n_4} \right] \right] - 0,5\lg \left[E_2 \left[\frac{n_2 - 1 + G_6}{n_2} \right] \right], \end{cases} \quad (6)$$

где $\omega_{SR}(G_1), \omega_{SR}(G_6)$ — частоты среза, определяемые с использованием частотных характеристик (рис. 5).

Вычитая из второго уравнения первое, получим

$$\lg(\Delta\omega^2) = \lg \left(\frac{n_4 - 1 + G_6}{n_4 - 1 + G_1} \right) - \lg \left(\frac{n_2 - 1 + G_6}{n_2 - 1 + G_1} \right). \quad (7)$$

Из графика на рис. 5 определим

$$\omega_{SR}(G_1) = 0,046004, \quad \omega_{SR}(G_6) = 0,058911.$$

Затем найдем

$$\Delta\omega^2 = (\omega_{SR}(G_6))^2 / (\omega_{SR}(G_1))^2 = 0,609818.$$

В соответствии с работой [4], поскольку $\Delta\omega^2 > 0$, то n_2 примем равным ∞ . Подставляя n_2 в уравнение (7) и преобразуя, получим уравнение для определения n_4 :

$$n_4 = \frac{(\Delta\omega^2 - 1 + G_6 - \Delta\omega^2 G_1)}{\Delta\omega^2 - 1} = 307,38029.$$

Для нахождения значений параметров E_2 и E_4 запишем уравнение связи

$$\tilde{\Delta}_1 = \lg\omega_1 - \lg\omega_2, \quad (8)$$

где $\tilde{\Delta}_1$ — коэффициент, учитывающий параметрические возмущения в системе.

В нашем случае [4] значение $\tilde{\Delta}_1$ выбрано равным 0,5.

С учетом уравнения (8) для определения E_2 и E_4 запишем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \lg(\omega(G_1)) = \\ = 0,5\lg \left[E_4 \left[\frac{n_4 - 1 + G_1}{n_4} \right] \right] - 0,5\lg \left[E_2 \left[\frac{n_2 - 1 + G_1}{n_2} \right] \right]; \\ \tilde{\Delta}_1 = \lg \left[\frac{1}{E_2 \left[\frac{n_2 - 1 + G_1}{n_2} \right]} \right] - \lg \left[E_4 \left[\frac{n_4 - 1 + G_1}{n_4} \right] \right]. \end{cases} \quad (9)$$

Решая систему уравнений (9), получим: $E_4 = 0,0212099$; $E_2 = 12,22362$.

Все полученные значения заносим в передаточную функцию РВР:

$$R(x, y, s) = 1,947261(0,998 - 0,002\nabla^2) + 12,22362s + 0,0212099(0,997 - 0,003\nabla^2) \frac{1}{s}. \quad (10)$$

Далее с использованием компьютерной модели проведем анализ замкнутой синтезированной системы управления.

Анализ замкнутой синтезированной системы управления

Составим компьютерную модель работы распределенной системы управления, схема которой представлена на рис. 6.

В результате компьютерного моделирования при задающем воздействии 100°C на выходе системы управления были получены графики переходных процессов, представленные на рис. 7.

Система управления оказывается устойчивой, а ошибка регулирования стремится к нулю.

Следует отметить, что регулятор (10), синтезированный с использованием вышеприведенной методики [4], содержит неопределенность, равную бесконечности ($n_2 = \infty$), что значительно влияет на параметры переходных процессов замкнутой системы управления. Модифицируем используемую для синтеза методику, чтобы исключить возможность появления этой неопределенности.

Модифицированный частотный метод синтеза РВР. Этот метод основан на том, что параметры каждой составляющей РВР в (3) определяются отдельно. Для этого необходимо определить значения частот $\omega_{И1}$, $\omega_{И6}$, $\omega_{Д1}$, $\omega_{Д6}$, определяющих постоянные времени интегрирования и дифференцирования для 1-й и 6-й мод входного воздействия при $\tilde{\Delta}_1 = \tilde{\Delta}_6 = 0,5$ (рис. 8).

Параметры пропорциональной составляющей РВР находятся таким же образом, как в вышеприведенной методике, и имеют такие же значения, а параметры интегрирующей составляющей РВР находятся из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \omega_{И1} = E_4 \left[\frac{n_4 - 1 + G_1}{n_4} \right] = 0,02587; \\ \omega_{И6} = E_4 \left[\frac{n_4 - 1 + G_6}{n_4} \right] = 0,033128, \end{cases} \quad (11)$$

где $\omega_{И1}$, $\omega_{И6}$ — круговые частоты (рис. 8).

Разделив первое уравнение системы (11) на второе и преобразовав результат, находим значение коэффициента $n_4 = 787,486909$.

Далее, с использованием n_4 , определяем значение коэффициента E_4 :

$$E_4 = \frac{\omega_{И1}}{\left[\frac{n_4 - 1 + G_1}{n_4} \right]} = 0,01602.$$

Параметры дифференцирующей составляющей РВР находятся с использованием следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega_{Д1}} = E_2 \left[\frac{n_2 - 1 + G_1}{n_2} \right] = 0,081809; \\ \frac{1}{\omega_{Д6}} = E_2 \left[\frac{n_2 - 1 + G_6}{n_2} \right] = 0,104761, \end{cases} \quad (12)$$

где $\omega_{Д1}$, $\omega_{Д6}$ — круговые частоты (рис. 8).

Разделив первое уравнение системы (12) на второе и преобразовав результат, находим значение коэффициента $n_2 = 787,486909$.

Далее, с использованием n_2 , определяем значение коэффициента E_2 по формуле

$$E_2 = \frac{\omega_{Д1}^{-1}}{\left[\frac{n_2 - 1 + G_1}{n_2} \right]} = 12,223624. \quad (13)$$

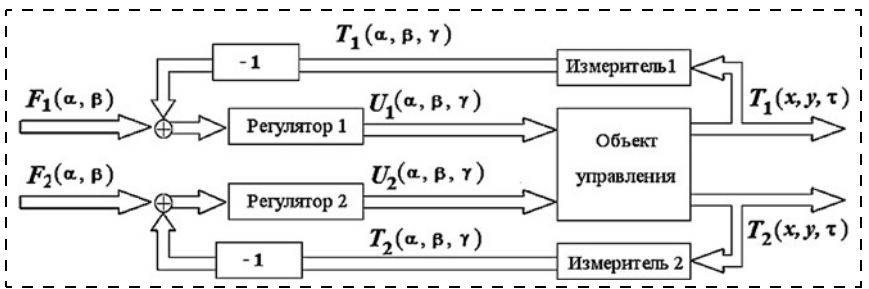


Рис. 6. Структурная схема системы управления:

F_1, F_2 — задающие воздействия; U_1, U_2 — управляющие воздействия; T_1, T_2 — функции выхода; α, β — шаги дискретизации по пространственным координатам x, y ; γ — шаг дискретизации по времени τ

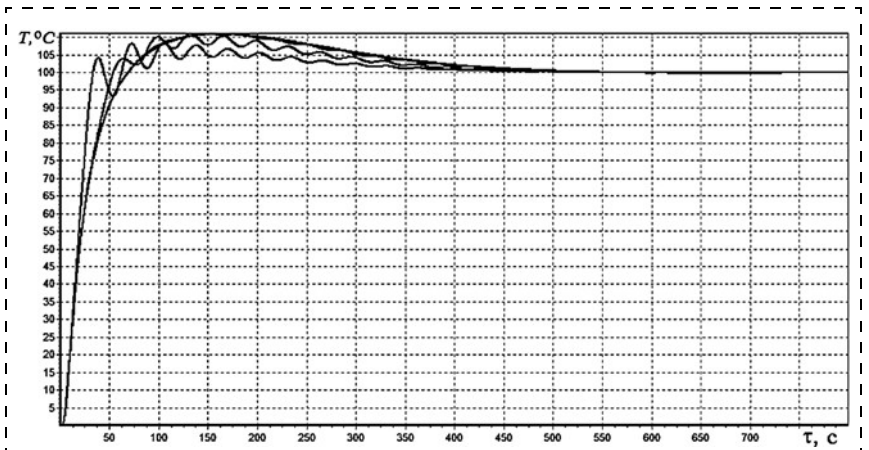


Рис. 7. Графики переходных процессов замкнутой САУ

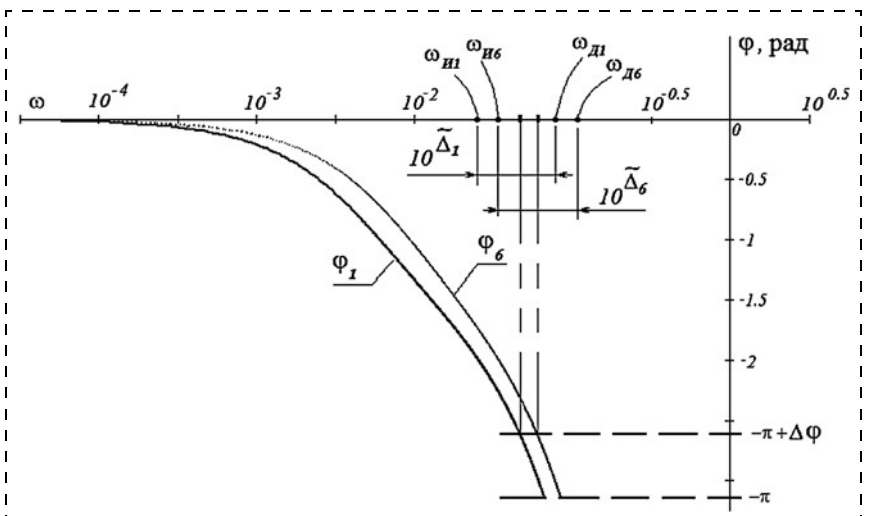


Рис. 8. ЛФЧХ распределенного объекта

Все вычисленные коэффициенты подставляем в передаточную функцию РВР (3):

$$\begin{aligned} R(x, y, s) = & 1,947261(0,998 - 0,002\nabla^2) + \\ & + 12,2236244928(0,99873 - 0,00127\nabla^2)s + \\ & + 0,01602(0,99873 - 0,0127\nabla^2) \frac{1}{s}. \end{aligned} \quad (14)$$

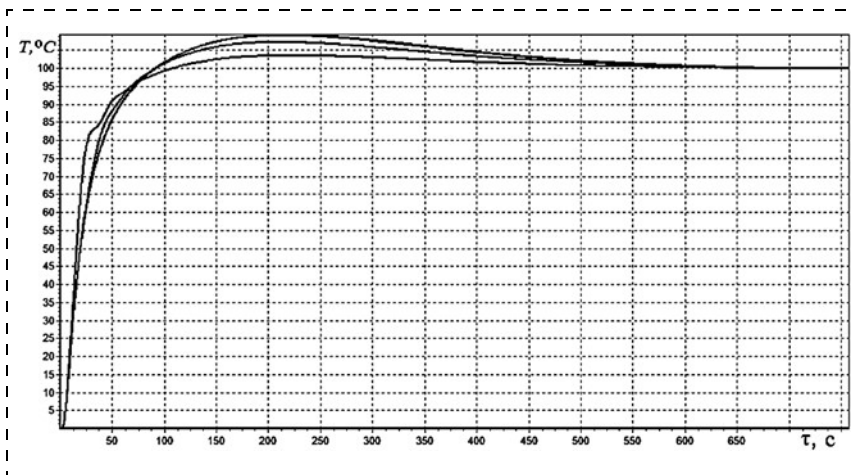


Рис. 9. Графики переходных процессов замкнутой САУ

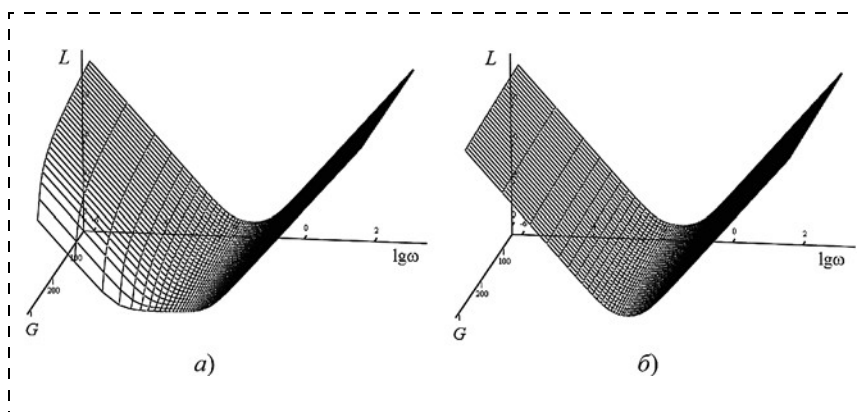


Рис. 10. Частотные поверхности РВР

В результате моделирования, на выходе распределенной системы управления, были получены графики переходных процессов, показанные на рис. 9.

Как показывают результаты расчетов, модифицированный распределенный высокоточный регулятор обеспечивает меньшее значение перерегулирования и отсутствие длительного колебательного процесса регулируемой величины.

Сравним частотные поверхности двух РВР. Для этого, в соответствии с работой [4], преобразуем полученные передаточные функции (10) и (14) к виду

$$R_1(G, s) = 1,947261(0,998 + 0,002G) + 12,22362s + 0,0212099(0,997 + 0,003G)\frac{1}{s}; \quad (15)$$

$$R_2(G, s) = 1,947261(0,998 + 0,002G) + 12,2236244928(0,99873 + 0,00127G)s + 0,01602(0,99873 + 0,00127G)\frac{1}{s}. \quad (16)$$

Далее, заменяем s на $j\omega$, $j = \sqrt{-1}$, выделяем мнимую и действительную части уравнений, определяем значения модуля M и фазы φ и строим частотные поверхности.

На рис. 10, а приведены частотные поверхности (ЧП) функции (15), а на рис. 10, б приведены ЧП функции (16). Как показывают результаты расчетов, при увеличении G форма ЧП функции R_1 значительно искажается, что сказывается на запасах устойчивости системы. В отличие от ЧП функции R_1 , ЧП функции R_2 не содержат искажений, а значит, она не так сильно влияет на выбранные запасы устойчивости распределенной системы управления.

Список литературы

1. Воронин А. Ю., Зайцев В. С. Математическая модель гидротермических процессов месторождения минеральных вод // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". 2011. № 7. С. 28–35.
2. Воронин А. Ю., Першин И. М. Синтез распределенной системы управления магнитным полем тороидальной камеры (часть 1) // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 8. С. 51–56.
3. Кубышкин В. А., Финягина В. И. Подвижное управление в системах с распределенными параметрами. М.: СИНТЕГ, 2005. 232 с.
4. Першин И. М. Анализ и синтез систем с распределенными параметрами. Пятигорск: Рекламно-информационное агентство на КМВ. 2007. 244 с.
5. Сиразетдинов Т. К. К аналитическому конструированию регуляторов в процессах с распределенными параметрами // Автоматика и телемеханика. 1965. № 9. С. 81–89.
6. Бутковский А. Г., Пустыльников Л. М. Теория подвижного управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. 383 с.
7. Рапопорт Э. А. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. М.: Наука, 2000. 336 с.
8. Pramod P., Khargonekar R., Poolla K. Robust stabilization of distributed systems // Automatica. 1986. V. 22. N. 1. P. 77–84.
9. Curtain Ruth F. Pole Assignment for distributed systems by Finite-Dimensional Control // Automatic. 1985. V. 21, N. 1. P. 56–69.
10. Snawn E., Burke E., Hubbarg J. E. Distributed actuator control design for flexible beams // Automatica. 1988. V. 2, N. 5. P. 919–927.
11. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
12. Бабичев А. П., Бабушкина Н. А., Братковский А. М. и др. Физические величины: Справочник. Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мелихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
13. Микеладзе Ш. Е. Численные методы интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 108 с.
14. Desoer C. A., Wing J. On the generalized Nyquist stability criterion // IEEE Conference on Decision and Control, San Diego. Jan. 1979. P. 580–586.

Modified Frequency Search Method of Parameters for Distributed High Precision Regulator

The article is devoted to the solution of the urgent tasks of control by objects with distributed parameters. The distributed objects (systems) is a physical processes which are related with a time and with a spatial coordinates. This article discusses the object with distributed parameters, for which needing to synthesize a control system. As the regulator uses a distributed high-precision regulator, which is a function of several variables related of a geometric parameters of the object. The coefficients of this regulator can be found by several methods, however, the modified frequency method of synthesis allows excluding from regulator uncertainty equal to infinity. This has a positive effect on the dynamical process of a closed-loop automatic control system, because as reserve of sustainability by module and phase, for a closed system, remain in the acceptable range for each of the selected modes (harmonics) of the Fourier series on spatial coordinates distribution of the control action.

Keywords: modified, frequency, method, distributed, high-precision, regulator

References

1. Voronin A. Yu., Zaytsev V. S. Matematicheskaya model' gidrolitosfernykh protsessov mestorozhdeniya mineral'nykh vod. *Izvestiya SPbGETU "LETI"*. 2011. N. 7. P. 28—35.
2. Voronin A. Yu., Pershin I. M. Sintez raspredelennoy sistemy upravleniya magnitnym polem toroidal'noy kamery (chast' 1). *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. 2006. N. 8. P. 51—56.
3. Kubyshkin V. A., Finyagina V. I. Podvignoe upravlenie v sistemah s raspredelennymi parametrami. M.: SINTEG, 2005. 232 p.
4. Pershin I. M. Analiz i sintez sistem s raspredelennymi parametrami. Pyatigorsk: Reklamno-informatsionnoe agentstvo na KMV, 2007. 244 p.
5. Sirazetdinov T. K. K analiticheskomu konstruirovaniyu regulatorov v processah s raspredelennymi parametrami. *Avtomatika i telemekhanika*. 1965. N. 9. P. 81—89.
6. Butkovskii A. G., Pustyl'nikov L. M. Teoriya podvignogo upravleniya sistemami s raspredelennymi parametrami. M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoi literatury. 1980. 383 p.
7. Rapoport E. Ya. Alternansnyi metod v prikladnykh zadachah optimizatsii. M.: Nauka, 2000. 336 p.
8. Pramod P., Khargonekar R., Poolla K. Robust stabilization of distributed systems. *Automatica*. 1986. V. 22, N. 1. P. 77—84.
9. Curtain Ruth F. Pole Assignment for distributed systems by Finite-Dimensional Control. *Automatica*. 1985. V. 21, N. 1. P. 56—69.
10. Sawn E., Burke E., Hubbarg J. E. Distributed actuator control design for flexible beams. *Automatica*. 1988. V. 2, N. 5. P. 919—927.
11. Lykov A. V. Teoriya teploprovodnosti. M.: Vysshaya shkola, 1967. 599 p.
12. Babichev A. P., Babushkina N. A., Bratkovskiy A. M. i dr. Fizicheskie velichiny: Spravochnik. Pod red. I. S. Grigor'eva, E. Z. Melihova. M.: Energoatomizdat, 1991. 1232 p.
13. Mikeladze Sh. E. Chislennyye metody integrirovaniya differentsial'nykh uravneniy s chastnymi proizvodnymi. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. 108 p.
14. Desoer S. A., Wing J. On the generalized Nyquist stability criterion. *IEEE Conference on Decision and Control*. San Diego. Jan. 1979. P. 580—586.

ИНФОРМАЦИЯ



С 17 по 19 апреля 2015 г. в МГТУ им. Н. Э. Баумана
состоится международная конференция

"УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ" (ICIPCE—2015)

Организаторы конференции:

- Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
- Нанкинский политехнический университет (NJUST),
- Научно-инженерный институт (SCIEI).

Сопредседатели программного комитета конференции: проф. А. А. Александров и проф. Ван Сяофэн

Научные направления конференции

- Инженерные решения задач управления подвижными объектами
- Современные информационные технологии
- Системы ориентации, стабилизации и навигации
- Состояние и перспективы развития теории и систем управления
- Компьютерные системы и сети
- Бортовое и наземное инженерное оборудование и перспективы его совершенствования
- Современные педагогические концепции в мировом образовательном пространстве

Подробную информацию о конференции см. сайте: <http://icipce.org/Russian.html>