

УДК 517.977.57

МЕТОДИКА АНАЛИЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

Ю.Л. Муромцев, А.Н. Грибков, А.В. Петров

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

E-mail: crems@crems.jesby.tstu.ru

Предложена методика использования взаимного расположения области существования решения задачи оптимального управления и множества полюсов в пространстве синтезирующих переменных для оценки работоспособности алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления.

Ключевые слова:

Оптимальное управление, когнитивная модель, метод синтезирующих переменных.

Введение

Проектирование алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления (СЭУ) объектами с несколькими входами представляет собой сложную задачу. Это обусловлено большим числом возможных видов функций оптимального управления (ОУ), сложностью построения областей существования различных видов функций ОУ в пространстве компонентов массива исходных данных задачи управления вследствие его высокой размерности, необходимостью разработки большого числа алгоритмов для расчета параметров функций ОУ и т. д. Решению этих вопросов посвящено множество работ авторов Л.С. Понтрягина, Р. Беллмана, А.А. Красовского.

Практика показывает, что основная доля отказов СЭУ в процессе эксплуатации связана с ошибками в определении ОУ или отсутствием решения задачи оптимального управления (ЗОУ) при введенных исходных данных, вследствие чего существенно снижается эффективность работы СЭУ [1]. Поэтому важно на этапе разработки алгоритмического обеспечения оценить его работоспособность. Для этого предлагается использовать взаимное расположение области существования решения ЗОУ и множества полюсов в пространстве синтезирующих переменных.

1. Математическая постановка задачи

Предлагаемый подход рассмотрим на примере задачи энергосберегающего управления линейным объектом с ограничением на управление $u=(u_1, u_2)^T$, закреплёнными концами вектора фазовых координат $z=(z_1, z_2)^T$ и фиксированным временным интервалом $[t_0, t_k]$, т. е.

$$\begin{aligned} \dot{z} &= Az(t) + Bu(t), \quad t \in [t_0, t_k], \\ A &= \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \end{pmatrix}, \\ \forall t \in [t_0, t_k]: u_i(t) &\in [u_i^h, u_i^b] \quad i = 1, 2, \end{aligned} \quad (1)$$

причём $|u_i^h| = u_i^b$,

$$\begin{aligned} z(t_0) &= (z_1^0, z_2^0)^T \rightarrow z(t_k) = (z_1^k, z_2^k)^T, \\ J_3 &= \int_{t_0}^{t_k} (u_1^2(t) + u_2^2(t)) dt \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Здесь A, B – матрицы параметров модели динамики объекта; u_i^h, u_i^b – граничные значения управления $u_i, i=1, 2$; J_3 – минимизируемый функционал (суммарные затраты энергии).

Для численного решения задачи (1), в частности определения оптимальных значений

$$u_i^*(t), \quad z_i^*(t), \quad i = 1, 2, \quad t \in [t_0, t_k] \quad \text{и} \quad J_3, \quad (2)$$

задаётся массив исходных данных

$$R = (A, B, u_1^h, u_1^b, u_2^h, u_2^b, z_1^0, z_2^0, z_1^k, z_2^k, t_0, t_k). \quad (3)$$

Такого рода задачи типичны для управления динамическими режимами многозонных электрических печей, многосекционных сушильных установок и других энергоёмких объектов.

2. Анализ работоспособности алгоритмического обеспечения систем энергосберегающего управления

Представлять результаты анализа ОУ в пространстве с размерностью, соответствующей размерности массива исходных данных R , исключительно громоздко и ненаглядно. В целях сокращения размерности массива (3) и использования метода синтезирующих переменных вместо исходной задачи (1) с натуральным масштабом переменных $u_i(t), i=1, 2$ и t будем выполнять анализ базовой (нормированной) задачи с нормированным временем $T \in [0; 2]$ и управлением [2]

$$\bar{U}(T) = (U_1(T), U_2(T))^T, \quad U_i(T) \in [-1; 1], \quad i = 1, 2.$$

Базовая ЗОУ записывается в виде

$$\begin{aligned} \dot{\bar{Z}} &= \bar{A}\bar{Z}(T) + \bar{B}(\bar{U}(T) + \Delta\bar{U}), \quad T \in [0; 2], \\ \bar{A} &= \|\bar{a}_{ij}\|_{2 \times 2}, \quad \bar{B} = \|\bar{b}_i\|_{2 \times 2}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \forall T \in [0; 2]: U_i(T) \in [-1; 1], \quad i = 1, 2, \\ Z(T=0) = Z^0 = (Z_1^0, Z_2^0)^T \rightarrow Z(T=2) = \\ = Z^k = (Z_1^k, Z_2^k)^T, \end{aligned}$$

$$\bar{J}_3 = \int_0^2 ((U_1(T) + \Delta U_1)^2 + (U_2(T) + \Delta U_2)^2) dT \rightarrow \min,$$

$$\text{здесь } \bar{a}_{ij} = \frac{1}{2} \Delta t a_{ij}, \quad \bar{b}_i = \frac{1}{4} \Delta t \Delta u_i b_i,$$

$$\begin{aligned} \Delta t = t_k - t_0, \quad \Delta u_i = u_i^h - u_i^h, \\ T = 2 \frac{t - t_0}{\Delta t}, \quad U_i(T) = 2 \frac{u_i(t) - \bar{u}_i}{\Delta u_i}, \quad \bar{u}_i = \frac{1}{2} (u_i^h + u_i^b), \\ \Delta U_i = \frac{u_i^h + u_i^b}{\Delta u_i}, \quad i = 1, 2. \end{aligned}$$

Для решения базовой задачи (4) задаётся массив исходных данных

$$\bar{R} = (\bar{A}, \bar{B}, \bar{Z}^0, \bar{Z}^k). \quad (5)$$

В массиве $\bar{R}$ можно выделить две группы компонентов – базовые и оперативные. Базовые компоненты характеризуют конструктивные и другие свойства объекта, значения которых в процессе эксплуатации в основном остаются постоянными. К этим компонентам относятся $\bar{A}$, $\bar{B}$. Оперативные компоненты $(\bar{Z}^0, \bar{Z}^k)$, а также Δt обычно изменяются при каждом новом решении задачи. В основе анализа ЗОУ лежат следующие положения.

Утверждение 1. Существование решения базовой задачи (4) для задаваемых исходных данных (5), а также вид и параметры функции ОУ, если решение ЗОУ существует, однозначно определяются значением вектора синтезирующих переменных $L = (L_1, L_2)$, компоненты которого определяются по формулам

$$\begin{aligned} L_i = z_i^k - \sum_{j=1}^2 \bar{f}_{ij}(2) z_j^0, \quad i = 1, 2, \quad (6) \\ \|\bar{f}_{ij}(2)\| = \frac{1}{2\sqrt{D}} \times \\ \times \begin{pmatrix} (\bar{a}_{22} + \bar{\beta})e^{-2\bar{\beta}} - (\bar{a}_{22} + \bar{\alpha})e^{-2\bar{\alpha}} & \bar{a}_{21}(e^{-2\bar{\alpha}} - e^{-2\bar{\beta}}) \\ \bar{a}_{12}(e^{-2\bar{\alpha}} - e^{-2\bar{\beta}}) & (\bar{a}_{11} + \bar{\beta})e^{-2\bar{\beta}} - (\bar{a}_{11} + \bar{\alpha})e^{-2\bar{\alpha}} \end{pmatrix}, \\ \bar{\alpha} = \frac{\Delta t}{2} \alpha, \quad \bar{\beta} = \frac{\Delta t}{2} \beta, \quad \bar{D} = \frac{\Delta t^2}{4} D, \\ D = \frac{(a_{11} + a_{22})^2}{4} + a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22}, \\ \alpha = -\frac{1}{2}(a_{11} + a_{22}) - \sqrt{D}, \\ \beta = -\frac{1}{2}(a_{11} + a_{22}) + \sqrt{D}. \end{aligned}$$

Доказательство утверждения следует из покомпонентной записи условия

$$z^k - e^{2\bar{A}} z^0 = \int_0^2 e^{\bar{A}(2-T)} \bar{B}(\bar{U}(T) + \Delta \bar{U}) dT.$$

Определение 1. Пространство

$$L_0 = (L_1, L_2, \bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{b}_1, \bar{b}_2)$$

будем называть общим, а его сечение с координатными осями L_1, L_2 , т. е. $L = (L_1, L_2)$, – синтезирующим сечением.

Определение 2. Область L_c синтезирующего сечения L , в точках которой существует решение базовой ЗОУ (4) и каждой точке соответствует определённое управление $\bar{U}(T)$, называется областью существования.

Утверждение 2. Если точка $l = (l_1, l_2)$ в пространстве L_0 , рассчитанная по значениям компонентов массива $\bar{R}$, принадлежит области L_c (значение $\bar{D} > 0$), то ей могут соответствовать следующие виды функций ОУ:

- $\bar{U}(T/D, D_2)$ – функция имеет два параметра D_1, D_2 ;
- $\bar{U}(T/T_n)$ – в качестве параметра функции используется время переключения T_n ;
- $\bar{U}(T/D, T_n)$ – функция содержит три параметра $D_i, i=1, 2$ и T_n ;
- $\bar{U}(T/\%1)$ – функция ОУ принимает граничные значения управления $[-1; 1]$;
- $\bar{U}(T/\%1; D, T_n)$ – одна компонента ОУ располагается на границе, а другая содержит параметры D_i и (или) T_n .

Доказательство утверждения 2 следует из рассмотрения видов функций отдельных компонентов и их возможных комбинаций.

Определение 3. Описание топологии области существования L_c содержит три группы объектов – подобласти L_u различных видов функций ОУ, границы l_p между областями и полюса точки l_n , представляющие собой пересечения границ.

Определение 4. Графическое представление области L_c с её объектами будем называть когнитивной моделью (КгМ) результатов анализа ЗОУ.

Фрагмент когнитивной модели при $\bar{\alpha} = -0,118$, $\bar{\beta} = 2,118$, $\bar{b}_1 = 550$, $\bar{b}_2 = 220$, содержащий часть граничных линий показан на рисунке, а, при $\bar{\alpha} = 0,254$, $\bar{\beta} = 0,946$, $\bar{b}_1 = 704$, $\bar{b}_2 = 176$ – на рисунке, б.

Утверждение 3. Граница области L_c образована множествами линий l_p^c и полюсов l_n^c , при этом для реальных объектов управления (значения u_i ограничены, объекты обладают инерцией) множества l_p^c и l_n^c содержат по четыре компонента.

Доказательство утверждения 3 непосредственно вытекает из рассмотрения границ при скалярном управлении u .

Следствие утверждения 3. Полюса множества $l_p^c = \{l_1^c, l_{-1}^c, l_{1,(-1)}^c, l_{(-1),1}^c\}$ соответствуют следующим видам ОУ

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= (U_1(T) = 1, U_2(T) = 1), \\ \bar{U}_{-1} &= (U_1(T) = -1, U_2(T) = -1), \\ \bar{U}_{1,(-1)} &= (U_1(T) = 1, U_2(T) = -1), \\ \bar{U}_{(-1),1} &= (U_1(T) = -1, U_2(T) = 1). \end{aligned}$$

Расположение четырёх полюсов множества I_{π}^c показано на рисунке.

Определение 5. Полюса, входящие в множество полюсов I_{π}^c , будем называть постоянными полюсами существования.

Наряду с полюсами I_{π}^c для рассматриваемой ЗОУ имеют место полюса, которые в зависимости от значений массива R могут располагаться как внутри области L_c (в этом случае решение ЗОУ существует), так и вне области L_c (решение ЗОУ не существует).

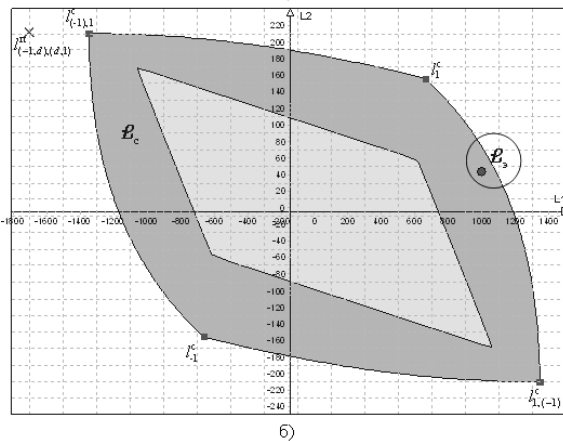
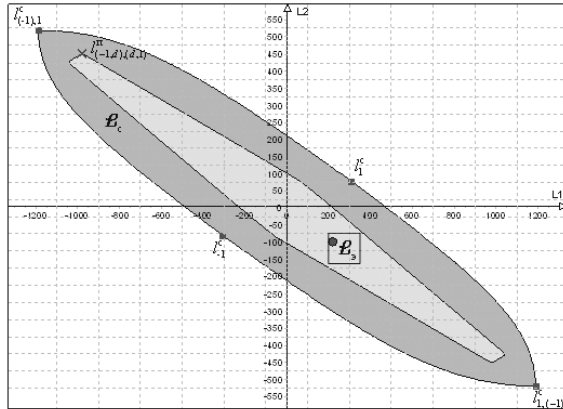


Рисунок. Область существования решения задачи L_c и область значений вектора L при эксплуатации L_s для ситуаций: $L_c \subset L_s$ (а) и $L_c \not\subset L_s$ (б)

Определение 6. Полюса I_i^c , которые в зависимости от значений R могут принадлежать или не принадлежать области L_c , будем называть переменными.

Например, переменными являются полюса $I_{(-1,d),(d,1)}^n$, $I_{(-1,d),(-d,1)}^n$, здесь полюсу $I_{(-1,d),(d,1)}^n$ соответствует функция ОУ

$$\bar{U}_{(-1,d),(d,1)} = (U_1(0) = -1,$$

$$U_1(T) = D_{1\alpha} e^{\bar{\alpha}T} + D_{1\beta} e^{\bar{\beta}T}, T \in (0, 2];$$

$$U_2(T) = D_{2\alpha} e^{\bar{\alpha}T} + D_{2\beta} e^{\bar{\beta}T}, T \in [0, 2), \quad U_2(2) = 1),$$

а полюсу $I_{(-1,d),(-d,1)}^n$

$$\bar{U}_{(-1,d),(-d,1)} = (U_i(0) = -1,$$

$$U_i(T) = D_{i\alpha} e^{\bar{\alpha}T} + D_{i\beta} e^{\bar{\beta}T}, \quad T \in (0, 2], i = 1, 2),$$

где

$$D_{1\alpha} = \frac{\bar{b}_1}{2\sqrt{\bar{D}}} [-(\bar{a}_{22} + \bar{\alpha})D_1 - \bar{a}_{21}D_2], \quad (7)$$

$$D_{1\beta} = \frac{\bar{b}_1}{2\sqrt{\bar{D}}} [(\bar{a}_{22} + \bar{\beta})D_1 - \bar{a}_{21}D_2], \quad (8)$$

$$D_{2\alpha} = \frac{\bar{b}_2}{2\sqrt{\bar{D}}} [-(\bar{a}_{11} + \bar{\alpha})D_2 - \bar{a}_{12}D_1], \quad (9)$$

$$D_{2\beta} = \frac{\bar{b}_2}{2\sqrt{\bar{D}}} [(\bar{a}_{11} + \bar{\beta})D_2 - \bar{a}_{12}D_1]. \quad (10)$$

Утверждение 4. Если решается ЗОУ (1), то при расчёте ОУ $\bar{U}(T)$, соответствующих переменным полюсам, имеет место

а)

$$D_1 = \begin{cases} \frac{1}{\bar{b}_1}, & \text{если } \bar{U}^0 \in \left\{ \bar{U}_{1^u, 1^u}^0, \bar{U}_{1^u, -1^u}^0, \bar{U}_{1^u, 1^k}^0, \right. \\ \left. \bar{U}_{1^u, -1^k}^0, \bar{U}_{(1^u, -1^k), 0}^0, \bar{U}_{(1^u, 1^k), 0}^0 \right\}, \\ -\frac{1}{\bar{b}_1}, & \text{если } \bar{U}^0 \in \left\{ \bar{U}_{-1^u, -1^u}^0, \bar{U}_{-1^u, 1^u}^0, \bar{U}_{-1^u, -1^k}^0, \right. \\ \left. \bar{U}_{-1^u, 1^k}^0, \bar{U}_{(-1^u, 1^k), 0}^0, \bar{U}_{(-1^u, -1^k), 0}^0 \right\} \end{cases}$$

и (11)

$$D_2 = \begin{cases} \frac{1}{\bar{b}_2}, & \text{если } \bar{U}^0 \in \left\{ \bar{U}_{1^u, 1^u}^0, \bar{U}_{-1^u, 1^u}^0, \bar{U}_{-1^k, 1^u}^0, \right. \\ \left. \bar{U}_{1^k, 1^u}^0, \bar{U}_{0, (1^u, -1^k)}^0, \bar{U}_{0, (1^u, 1^k)}^0 \right\}, \\ -\frac{1}{\bar{b}_2}, & \text{если } \bar{U}^0 \in \left\{ \bar{U}_{-1^u, -1^u}^0, \bar{U}_{1^u, -1^u}^0, \bar{U}_{1^k, -1^u}^0, \right. \\ \left. \bar{U}_{-1^k, -1^u}^0, \bar{U}_{0, (-1^u, 1^k)}^0, \bar{U}_{0, (-1^u, -1^k)}^0 \right\}; \end{cases}$$

б)

$$D_1 = \begin{cases} \left(\frac{1}{\bar{b}_1} - \frac{1}{\bar{b}_2} \bar{f}_{12}(2) \right) / \bar{f}_{11}(2), & \text{если } \bar{U}_{1^k, 1^u}^0, \\ \left(\frac{1}{\bar{b}_1} + \frac{1}{\bar{b}_2} \bar{f}_{12}(2) \right) / \bar{f}_{11}(2), & \text{если } \bar{U}_{1^k, -1^u}^0, \\ (1 + \bar{f}_{22}(2)) / \bar{b}_2 \bar{f}_{21}(2), & \text{если } \bar{U}_{0, (-1^u, 1^k)}^0, \\ (1 - \bar{f}_{22}(2)) / \bar{b}_2 \bar{f}_{21}(2), & \text{если } \bar{U}_{0, (1^u, 1^k)}^0, \\ (-1 - \bar{f}_{22}(2)) / \bar{b}_2 \bar{f}_{21}(2), & \text{если } \bar{U}_{0, (1^u, -1^k)}^0, \\ (-1 + \bar{f}_{22}(2)) / \bar{b}_2 \bar{f}_{21}(2), & \text{если } \bar{U}_{0, (-1^u, -1^k)}^0 \end{cases}$$

и (12)

$$D_2 = \begin{cases} \left(\frac{1}{\bar{b}_2} + \frac{1}{\bar{b}_1} \bar{f}_{21}(2) \right) / \bar{f}_{22}(2), & \text{если } \bar{U}_{(-1^u), 1^k}^0, \\ \left(-\frac{1}{\bar{b}_2} + \frac{1}{\bar{b}_1} \bar{f}_{21}(2) \right) / \bar{f}_{22}(2), & \text{если } \bar{U}_{(-1^u), (-1^k)}^0, \\ (1 + \bar{f}_{11}(2)) / \bar{b}_1 \bar{f}_{12}(2), & \text{если } \bar{U}_{(-1^u, 1^k), 0}^0, \\ (-1 - \bar{f}_{11}(2)) / \bar{b}_1 \bar{f}_{12}(2), & \text{если } \bar{U}_{(1^u, -1^k), 0}^0, \\ (-1 + \bar{f}_{11}(2)) / \bar{b}_1 \bar{f}_{12}(2), & \text{если } \bar{U}_{(-1^u, -1^k), 0}^0, \\ (1 - \bar{f}_{11}(2)) / \bar{b}_1 \bar{f}_{12}(2), & \text{если } \bar{U}_{(1^u, -1^k), 0}^0; \end{cases}$$

здесь

$$\begin{aligned}
 \bar{U}_{1^{1^h}, 1^{1^h}}^0 : U_1(T) &= \begin{cases} 1, & T = 0, \\ \hat{U}_1(T), & T \in (0, 2], \end{cases} \\
 U_2(T) &= \begin{cases} 1, & T = 0, \\ \hat{U}_2(T), & T \in (0, 2]; \end{cases} \\
 &\dots \\
 \bar{U}_{(1^{1^h}, -1^k), 0}^0 : U_1(T) &= \begin{cases} 1, & T = 0, \\ \hat{U}_1(T), & T \in (0, 2), \\ -1, & T = 2, \end{cases} \\
 U_2(T) &= \hat{U}_2(T), \quad T \in (0, 2] \text{ и т. д.} \\
 \hat{U}_1(T) &= \bar{b}_1(D_1 \bar{f}_{11}(T) + D_2 \bar{f}_{12}(T)), \\
 \hat{U}_2(T) &= \bar{b}_2(D_1 \bar{f}_{21}(T) + D_2 \bar{f}_{22}(T)), \quad (13) \\
 D_1 &= \frac{\begin{vmatrix} L_1 & \bar{b}_1^2 \phi_{11,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{12,22} \\ L_2 & \bar{b}_1^2 \phi_{21,12} + \bar{b}_2^2 \phi_{22,22} \end{vmatrix}}{\Delta}, \\
 D_2 &= \frac{\begin{vmatrix} \bar{b}_1^2 \phi_{11,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{12,21} & L_1 \\ \bar{b}_1^2 \phi_{21,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{22,21} & L_2 \end{vmatrix}}{\Delta}, \\
 \Delta &= \begin{vmatrix} \bar{b}_1^2 \phi_{11,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{12,21} & \bar{b}_1^2 \phi_{11,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{12,22} \\ \bar{b}_1^2 \phi_{21,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{22,21} & \bar{b}_1^2 \phi_{21,12} + \bar{b}_2^2 \phi_{22,22} \end{vmatrix}, \\
 \phi_{ij,j\mu} &= \int_0^2 \bar{f}_{ij}(2-T) \bar{f}_{i\mu}(T), \\
 \|\bar{f}_{ij}(2-T)\| &= \frac{1}{2\sqrt{D}} \times \\
 &\times \begin{pmatrix} (\bar{a}_{22} + \bar{\beta})e^{-\bar{\beta}(2-T)} - (\bar{a}_{22} + \bar{\alpha})e^{-\bar{\alpha}(2-T)} & \bar{a}_{21}(e^{-\bar{\alpha}(2-T)} - e^{-\bar{\beta}(2-T)}) \\ \bar{a}_{12}(e^{-\bar{\alpha}(2-T)} - e^{-\bar{\beta}(2-T)}) & (\bar{a}_{11} + \bar{\beta})e^{-\bar{\beta}(2-T)} - (\bar{a}_{11} + \bar{\alpha})e^{-\bar{\alpha}(2-T)} \end{pmatrix}, \\
 \|\bar{f}_{ij}(T)\| &= \frac{1}{2\sqrt{D}} \times \\
 &\times \begin{pmatrix} (\bar{a}_{22} + \bar{\beta})e^{\bar{\beta}T} - (\bar{a}_{22} + \bar{\alpha})e^{\bar{\alpha}T} & \bar{a}_{21}(e^{\bar{\alpha}T} - e^{\bar{\beta}T}) \\ \bar{a}_{12}(e^{\bar{\alpha}T} - e^{\bar{\beta}T}) & (\bar{a}_{11} + \bar{\beta})e^{\bar{\beta}T} - (\bar{a}_{11} + \bar{\alpha})e^{\bar{\alpha}T} \end{pmatrix}. \quad (14)
 \end{aligned}$$

При доказательстве утверждения 4 используются соотношения (13) и (14) при $T=2$.

Следствие утверждения 4. Используя соотношения (11), (12) для D_1, D_2 координаты полюсов определяются по формулам

$$\begin{aligned}
 l_1 &= D_1(\bar{b}_1^2 \phi_{11,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{12,21}) + D_2(\bar{b}_1^2 \phi_{11,12} + \bar{b}_2^2 \phi_{12,22}), \\
 l_2 &= D_1(\bar{b}_1^2 \phi_{21,11} + \bar{b}_2^2 \phi_{22,21}) + D_2(\bar{b}_1^2 \phi_{21,12} + \bar{b}_2^2 \phi_{22,22}).
 \end{aligned}$$

Например, для $\bar{U}_{1^{1^h}, -1^{1^h}}^0$ используя (11), (13) и (14) получаем

$$\begin{aligned}
 l_1 &= \bar{b}_1 \phi_{11,11} + \frac{\bar{b}_2^2}{\bar{b}_1} \phi_{12,21} - \frac{\bar{b}_1^2}{\bar{b}_2} \phi_{11,12} - \bar{b}_2 \phi_{12,22}, \\
 l_2 &= \bar{b}_1 \phi_{21,11} + \frac{\bar{b}_2^2}{\bar{b}_1} \phi_{22,21} - \frac{\bar{b}_1^2}{\bar{b}_2} \phi_{21,12} - \bar{b}_2 \phi_{22,22}.
 \end{aligned}$$

Работоспособность алгоритмического обеспечения СЭУ в основном зависит от того насколько значительно могут изменяться компоненты массива исходных данных (5) в процессе реальной эксплуатации. В результате изменения любого из компонентов в соответствии с формулой (6) меняются значения вектора синтезирующих переменных L . Множеству различных значений L соответствует некоторая область L_s , охватывающая значения L , которые могут иметь место при эксплуатации. Если область L_s не выходит за пределы L_c , то при любых значениях массива R , встречающихся при эксплуатации, алгоритмическое обеспечение позволяет определить вид и рассчитать параметры ОУ.

3. Методика анализа работоспособности

В предположении, что в массиве исходных данных (5) компоненты $\bar{A}, \bar{B}$ сохраняются постоянными, а могут изменяться только Z^0, Z^k методика анализа работоспособности алгоритмического обеспечения СЭУ, решающей задачу (1), заключается в следующем.

1. Используя рассмотренный математический аппарат строится когнитивная модель, отражающая анализ решений ЗОУ (1). Наиболее важными компонентами модели являются полюса и границы области существования решения задачи, а также полюса и границы, соответствующие наиболее вероятным видам функций ОУ.
2. На основе анализа предполагаемых режимов работы объекта управления в процессе эксплуатации определяются диапазоны $\Delta z_i^0, \Delta z_i^k, i=1,2$, в которых могут изменяться начальные и конечные значения вектора фазовых координат.
3. Используя соотношения (6) выполняются вычисления множества точек для $l=\{l_k, k=1, N\}$ синтезирующего сечения L , где N – количество рассматриваемых точек (режимов эксплуатации). Множество l должно включать как значения внутри интервалов $\Delta z_i^0, \Delta z_i^k$, так и возможные сочетания на границах интервалов.
4. На основе множества точек l строится область L_s , отражающая возможные значения вектора $L=(L_1, L_2)$ при эксплуатации объекта.
5. Выполняется сопоставительный анализ взаимного расположения областей L_s и L_c . При этом возможны следующие основные случаи.
 - 5.1. Область L_c содержит L_s , т. е. $L_s \subseteq L_c$ (рисунок, а). В этом случае при любых исходных данных ЗОУ алгоритмическое обеспечение позволит рассчитать оптимальные управляющие воздействия.

Если область L_3 располагается во внутренней части L_c , которая на рисунок, *a* выделена прямыми линиями, то этому соответствуют один вид функций ОУ

$$U_i(T) = D_{i\beta} e^{\beta T} + D_{i\alpha} e^{\alpha T}, \quad i = 1, 2,$$

параметры для которого рассчитываются по формулам (7), (8), (9) и (10). В этом случае алгоритмическое обеспечение СЭУ является наиболее простым.

- 5.2. Часть области L_3 находится за пределами области существования L_c (рисунок, *b*). В этом случае для точек $l_k \notin L_c$ решение ЗОУ не существует и возникают проблемы, связанные с выработкой управления, которое не обеспечит выполнение условия $z(t_k) = z^*$.

Здесь возможно решение обратной задачи, заключающейся в том, чтобы определить насколько надо изменить интервалы Δz_i^0 , Δz_i^* , $i=1,2$ для обеспечения выполнения условия $L_3 \subseteq L_c$.

Выводы

Применение методики использования взаимного расположения области существования решения ЗОУ и множества полюсов в пространстве синтезирующих переменных позволяет оценить работоспособность алгоритмического обеспечения и повысить эффективность функционирования СЭУ. Особенно актуально это для систем, точки режимов эксплуатации которых могут выходить за пределы области существования решения задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муромцев Ю.Л. Методология полного анализа энергосберегающего управления многомерными объектами // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.3 (32). – С. 364–369.
2. Муромцев Д.Ю. Методы и алгоритмы синтеза энергосберегающего управления технологическими объектами. – Тамбов; М.: СПб.; Баку; Вена: Изд-во «Нобелистика», 2005. – 202 с.

Поступила 03.04.2009 г.

УДК 004.418

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

А.Н. Виноградов, С.А. Даниельян, Р.С. Кузнецов, В.П. Чипулис

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток
E-mail: chipulis@dvo.ru

Рассмотрены проблемы построения и перспективы развития информационно-аналитических систем в теплоэнергетике. Показаны примеры реализации и описаны функциональные возможности эксплуатируемых в настоящее время систем. Сделан акцент на аналитической обработке измерительной информации, накопленной в процессе функционирования систем.

Ключевые слова:

Информационно-аналитическая система, объект теплоэнергетики, автоматизированное рабочее место.

В последнее десятилетие отмечается интенсивный процесс внедрения информационно-измерительных систем в теплоэнергетике. Он обусловлен возможностями современной измерительной базы, позволяющей не только выполнять измерения в полном объеме и с высокой точностью, но и передавать их в компьютер с помощью разнообразных телекоммуникационных средств. Выполняемые в этом направлении разработки совместного коллектива сотрудников института автоматики и процессов управления ДВО РАН и инжиниринговой компании «ВИРА» отличаются тем, что в них существенный акцент делается на обработку результатов измерений с ориентацией на потребности технических специалистов, управленческого персонала, а также представителей административных и финансовых служб.

Одной из необходимых предпосылок для решения проблемы энергосбережения является внедрение на объектах теплоэнергетики (ОТЭ) систем технологического и коммерческого учета тепловой энергии. Выделим и далее будем рассматривать два класса ОТЭ – потребителей и источников тепловой энергии. В настоящий период, в отличие от последних десятилетий прошлого века, общепризнана экономическая целесообразность установки на объектах-потребителях приборов учета тепловой энергии. Эти приборы, как правило, позволяют существенно сократить расходы на оплату потребляемых ресурсов и тем самым создают стимулы для реализации мер по их экономии. Постепенно также приходит понимание необходимости пополнения и модернизации контрольно-измерительно-