ЛИТЕРАТУРА

1. *Сазонов А.Ю., Фомичева Ю.Г.* О свойствах весовых потенциалов для одного класса $B-$эллиптических операторов // Вестник Удмуртского университета. Ижевск, 2008. Вып. 2. С. 126-128.
2. *Сазонов А.Ю., Фомичева Ю.Г.* О задаче Дирихле в неограниченной области для B-эллиптического оператора с особенностями по нескольким переменным // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 1. С. 72-73.
3. *Левитан Б.М.* Разложение по функциям Бесселя в ряды и интегралы Фурье // УМН. 1972. Т. 6. № 2.

Поступила в редакцию 10 ноября 2012 г.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 11-01-00-645, № 11-01-00-626), Министерства образования и науки РФ (проект № 1.1877.2011).

Sazonov A.Yu., Fomicheva Yu.G. ON DIRICHLET PROBLEM FOR $B-$ELLIPTIC OPERATOR WITH SINGULARITIES IN SEVERAL VARIABLES ON BOUNDED DOMAIN

The Dirichlet problem in a bounded domain for a second order $B-$elliptic operator with constant coefficients having singularities in several variables is considered. A solution to the problem in the form of a Poisson integral is presented.

Key words: Dirichlet problem; $B-$elliptic operator; Poisson integral.

УДК 512.8

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ БИЛИНЕЙНОЙ ОКРЕСТНОСТНОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ СМОТКИ ПОЛОСЫ НА СТАНЕ

© А. М. Шмырин, И. А. Седых, В. В. Кавыгин, В. М. Тюрин, В. Б. Васильев, С. С. Роенко

Ключевые слова: билинейные окрестностные системы; параметрическая идентификация.

Рассмотрены билинейные окрестностные модели. Проведена параметрическая идентификация билинейной окрестностной модели расчета температуры смотки полосы на широкополосном стане горячей прокатки.

Введение

При разработке моделей сложных пространственно-распределенных систем возникает проблема выбора адекватной структуры математической модели. Проблема моделирования и управления такими объектами связана как с распределенностью системы, так и с наличием нелинейных связей между подсистемами.

В [1] введены и исследованы билинейные окрестностные модели, относящиеся к классу простейших нелинейных систем.

Рассмотрим методику создания билинейной окрестностной модели на примере сложного объекта – технологического процесса ускоренного охлаждения горячекатаной полосы на широкополосном стане горячей прокатки. Для него построим опытный образец билинейной окрестностной модели расчета температуры смотки полосы.

1. Билинейные окрестностные модели

Простейшим классом окрестностных моделей является симметричная линейная окрестностная модель для состояния и входа [1]:

$$\sum_{\alpha\in O_x[a]} w_x[a,\alpha]X[\alpha]=\sum_{\beta\in O_v[a]} w_v[a,\beta]V[\beta], \tag{1}$$

где $X[a]\in R^n$, $V[a]\in R^m$ – состояние и управление в узле системы; $w_x[a,\alpha]\in R^{c\times n}$, $w_v[a,\beta]\in R^{c\times m}$ $(i=1,...,m)$ – матрицы-параметры; $O_x[a]$, $O_v[a]$ – окрестности узла a по состоянию и управляющему воздействию соответственно; $v[a,i]$ $(i=1,...,m)$ – координаты вектора управлений $V[a]$; $a,\alpha,\beta\in A$, $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$, – конечное множество узлов системы, $|A|=n$.

Простейшим классом нелинейных окрестностных моделей являются рассмотренные в [1] билинейные окрестностные модели для состояния и управления:

$$\sum\nolimits_{\alpha\in O_x[a]} w_x[a,\alpha]X[\alpha]+\sum\nolimits_{\beta\in O_v[a]} w_v[a,\beta]V[\beta]+$$

$$+\sum\nolimits_{\alpha\in O_x[a]}\sum\nolimits_{\beta\in O_v[a]}[w_{1vx}[a,\alpha,\beta]v[\beta,1]X[\alpha]+...+w_{mvx}[a,\alpha,\beta]v[\beta,m]X[\alpha]]=0, \tag{2}$$

где $X[a]\in R^n$, $V[a]\in R^m$ – состояние и управление в узле системы; $w_x[a,\alpha]\in R^{c\times n}$, $w_v[a,\beta]\in R^{c\times m}$, $w_{ivx}[a,\alpha]\in R^{c\times n}$ $(i=1,...,m)$ – матрицы-параметры; $O_x[a]$, $O_v[a]$ – окрестности узла a по состоянию и управляющему воздействию соответственно; $v[a,i]\,(i=1,...,m)$ – координаты вектора управлений $V[a]$; $a,\alpha,\beta\in A$, $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$, – конечное множество узлов системы, $|A|=n$.

Модель (2) в более короткой записи [1–2]:

$$\sum_{\alpha\in O_x[a]} w_x[a,\alpha]X[\alpha]+\sum_{\beta\in O_v[a]} w_v[a,\beta]V[\beta]+\sum_{\alpha\in O_x[a];\ \beta\in O_v[a]} w_{xv}[a,\alpha,\beta]X[\alpha]V[\beta]=0, \tag{3}$$

где $w_{xv}[a,\alpha,\beta]\in R^{c\times n\times m}$ – блочная матрица параметров.

В [2–4] введено обобщенное определение окрестностной модели. Билинейная окрестностная модель описывается набором $NS_B=(N,X,V,G)$, где:

1) $N=(A,O_x,O_v)$ – структура окрестностной модели, $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$ – множество узлов, O_x – окрестности связей узлов по состояниям, O_v – окрестности связей узлов по управлениям. Для каждого узла $a_i\in A$ определена своя окрестность по состояниям $O_x[a_i]\subseteq A$ и управлениям $O_v[a_i]\subseteq A$; $O_x=\bigcup\limits_{i=1}^{n} O_x[a_i]$, $O_v=\bigcup\limits_{i=1}^{n} O_v[a_i]$;

2) $X\in R^n$ – вектор состояний окрестностной модели;

3) $V\in R^m$ – вектор управлений окрестностной модели;

4) $G(x,v)=0$ – функция пересчета состояний окрестностной модели, где X_{O_x} – множество состояний узлов, входящих в окрестность O_x, V_{O_v} – множество управлений узлов, входящих в окрестность O_v, $x\in X_{O_x}$, $v\in X_{O_v}$. Функция $G(x,v)=0$ задается формулами (2) или (3).

2. Параметрическая идентификация билинейной окрестностной модели стана

Рассмотрим в данном пункте реализацию методики построения билинейной окрестностной модели на примере сложного распределенного объекта – технологического процесса ускоренного охлаждения горячекатаной полосы на широкополосном стане горячей прокатки.

На качество охлаждения полосы оказывают влияние многие факторы: химический состав, геометрические параметры, температура конца прокатки, температура окружающей среды, расход и температура охлаждающей воды на отводящем рольганге и т. д. Эти факторы изменяются с течением времени по длине полосы. Существующая модель управления не позволяет учесть все влияющие факторы и их совместное влияние. Предлагаемый подход перспективен в данном отношении и прошел апробацию при разработке экспертных диагностических систем, кроме того, разработан опытный образец билинейной модели расчета температуры смотки полосы на стане горячей прокатки, демонстрирующий удовлетворительные результаты.

Было проведено несколько вариантов расчетов с параметрической идентификацией билинейной окрестностной модели. Результаты расчетов показали, что оптимальным является включение в модель 25 узлов.

Таким образом, $A=\{a_1,a_2,...,a_{25}\}$, где a_1 – температура смотки полосы на стане, a_2 – температура среды, a_3 – номер печи и т. д.

Билинейная окрестностная модель расчета температуры смотки полосы на стане горячей прокатки в общей форме имеет вид:

$$\sum_{\alpha=\overline{1,25};\quad \alpha\in O_x[a]} w_x[a,\alpha]X[\alpha]+\sum_{\beta=\overline{1,25};\quad \beta\in O_v[a]} w_v[a,\beta]V[\beta]+$$

$$+\sum_{\alpha=\overline{1,25};\ \alpha\in O_x[a];\ \beta=\overline{1,25};\ \beta\in O_v[a]} w_{xv}[a,\alpha,\beta]X[\alpha]V[\beta]=0. \qquad (4)$$

Параметрическая идентификация расчета температуры смотки полосы на стане была проведена с использованием методики построения билинейной модели [1]. Часть результатов идентификации для билинейной модели приведена ниже.

Перед началом расчетов в связи с разным порядком входных данных была произведена нормализация входных данных по следующей формуле:

$$x'=\frac{x-\bar{x}}{\sigma}, \qquad (5)$$

где x – нормализуемое значение; $\bar{x}$ – среднее арифметическое; σ – среднее квадратическое отклонение.

После нормализации состояния X стали выглядеть следующим образом (фрагмент):

j $x[i,j]$	1	2	3	4	5
$x[1,j]$	0,34194	0,42341	0,42541	0,42870	0,42606
$x[2,j]$	– 0,25039	– 0,24769	– 0,24797	– 0,24888	– 0,24879
$x[3,j]$	– 0,24619	– 0,24243	– 0,24376	– 0,24257	– 0,24353

Для нахождения параметров билинейной модели необходимо задать как минимум один известный коэффициент. В проведенных расчетах были заданы коэффициенты $w[i,1]$, $i=1,...,25$ перед значениями температуры смотки полосы на стане $x[i,1]$ в уравнениях системы:

$$w[i,1]\cdot x[i,1]+...=0, i=1,...,25. \qquad (6)$$

Коэффициенты $w[i,1]$, $i=1,...,25$ рассчитывались по следующим формулам:

$$w[i,1]=\frac{x[i,1]}{\sum_{i=1}^{25}x[i,1]}, i=1,...,25. \qquad (7)$$

В результате пересчета коэффициенты для температуры смотки полосы выглядят следующим образом (фрагмент).

i	$w[i,1]$
1	0,01322
2	0,01020
3	0,00741
4	0,01471
5	0,01348

После ввода данных в программу были получены результаты, приведенные на рис. 1.

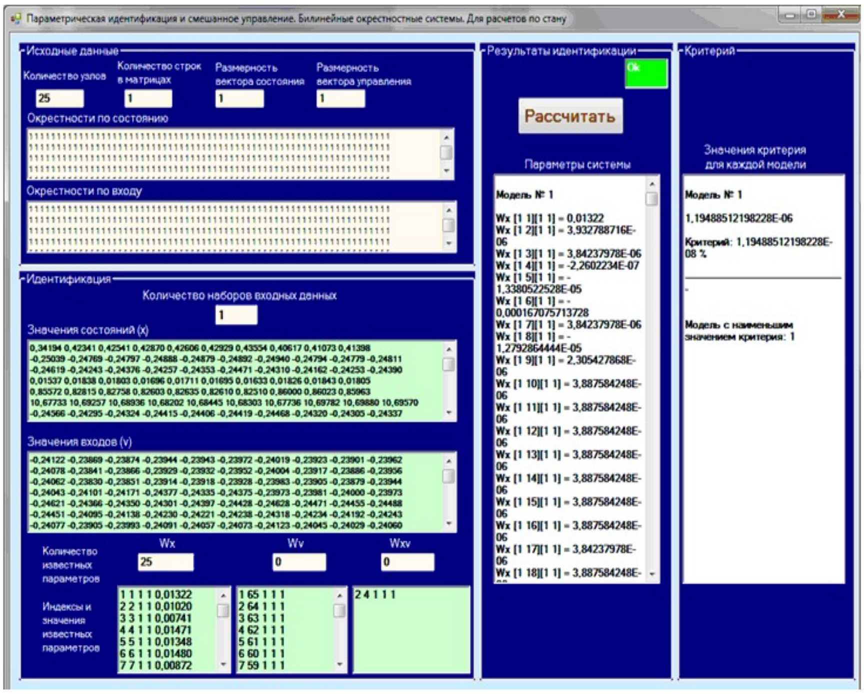

Рис. 1. Результаты параметрической идентификации билинейной окрестностной модели расчета температуры смотки полосы на стане горячей прокатки

После подстановки полученных при параметрической идентификации коэффициентов фрагмент первого уравнения билинейной окрестностной модели (4) имеет следующий вид:

$$\begin{gathered}0,01322\cdot x[1,1]+3,932788716\mathrm{E}-06\cdot x[1,2]+...+\\+3,751970844\mathrm{E}-06\cdot v[1,1]+...+\\+1,310929572\mathrm{E}-06\cdot x[1,1]\cdot v[1,1]+...+=0.\end{gathered}\qquad(8)$$

Приведенная модель была проверена на адекватность с использованием средней относительной ошибки. Проведенные расчеты свидетельствуют об адекватности разработанной модели.

Заключение

Таким образом, в работе дано определение билинейных окрестностных моделей. Приведена реализация методики построения билинейной окрестностной модели на примере сложного распределенного объекта – технологического процесса ускоренного охлаждения горячекатаной полосы на широкополосном стане горячей прокатки.

В результате получена билинейная окрестностная модели расчета температуры смотки полосы (8), демонстрирующая удовлетворительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блюмин С.Л., Шмырин А.М., Шмырина О.А.* Билинейные окрестностные системы. Липецк: ЛГТУ, 2006. 130 с.
2. *Блюмин С.Л., Шмырин А.М., Седых И.А., Филоненко В.Ю.* Окрестностное моделирование сетей Петри. Липецк: ЛЭГИ, 2010. 124 с.
3. *Шмырин А.М, Седых И.А., Корниенко Н.А., Шмырина Т.А.* Обобщение дискретных моделей окрестностными системами // Материалы конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ 10). М.: ИПУ РАН, 2010. С. 207-208.
4. *Шмырин А.М., Седых И.А.* Дискретные модели в классе окрестностных систем // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2012. Т. 17. Вып. 3. С. 867-871.

Поступила в редакцию 10 ноября 2012 г.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-08-97525 р-центр_а).

Shmyrin A.M., Sedykh I.A., Kavygin V.V., Tyurin V.M., Vasilyev V.B., Royenko S.S. PARAMETRICAL IDENTIFICATION OF BILINEAR NEIGHBORHOOD MODEL OF TEMPERATURE CALCULATION OF REELING OF STRIP ON CAMP

Bilinear neighbourhood models are considered. Parametrical identification of bilinear neighbourhood model of calculation of temperature of a reeling of a strip on a camp is carried out.

Key words: bilinear neighbourhood systems; parametrical identification.

УДК 519.854

ОКРЕСТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© **А. М. Шмырин, И. А. Седых, В. М. Тюрин, В. Б. Васильев, А. П. Щербаков**

Ключевые слова: окрестностные системы; динамическая система; дискретное отображение; итерационная последовательность.

Рассматриваются вопросы перехода от распределенных динамических систем к окрестностным системам, их моделирование билинейными окрестностными системами, показано, что динамические системы могут быть проанализированы с применением окрестностного подхода.

Введение

Теория систем с нелинейной динамикой представляет большой интерес, т. к. процессы нелинейные связи и закономерности были выявлены помимо технических и физических систем, также в биологических, экономических, социальных и других сферах.

Указанная теория включает такие разделы, как теория хаоса и бифуркаций, теория аттракторов и фракталов, процессы самоорганизации и катастроф. Данными проблемами одними из первых начали заниматься И. Пригожин, Г. Хакен, предложившие использовать