

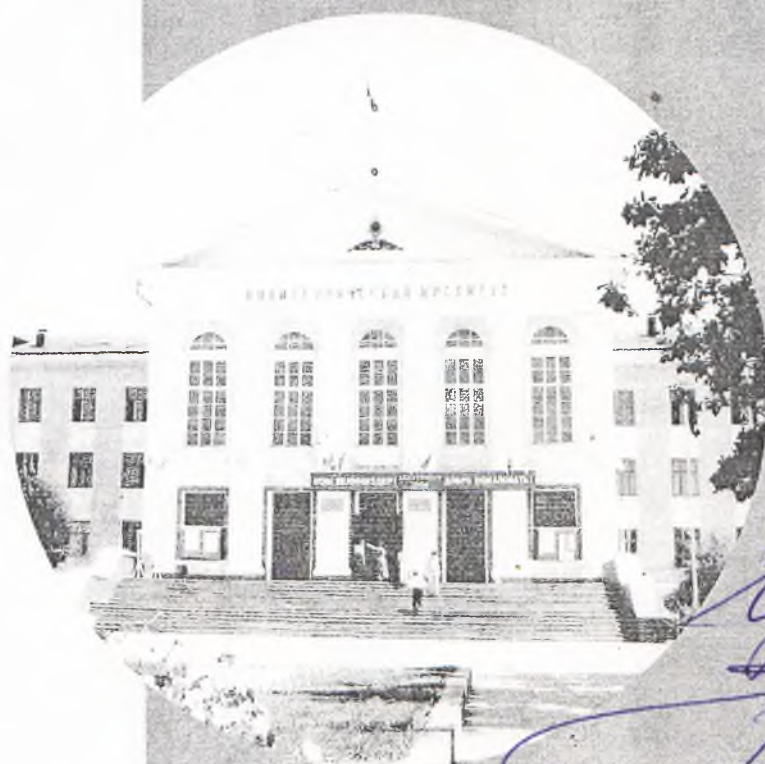
1

**Теоретический и прикладной  
научно-технический журнал**



# ИЗВЕСТИЯ

**Кыргызского государственного технического  
университета им. И. Раззакова  
№ 11**



*Комп. верн  
У. Р. Т. У.  
Т. В. О. Ч. В.*

КЫРГЫЗСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. РАЗЗАКОВА  
КАДРОВАЯ СЛУЖБА  
ОТДЕЛ КАДРОВ

**БИШКЕК 2007**



О методах численного интегрирования для расчета переходных процессов	92
✓ Осмоналиев К.Б., Койчуманова Ж.М. ....	92
Применение метода Колосова-Мухелишвили для моделирования напряженного состояния нагорных плотин	
✓ Исмаилова К.Д. ....	95
Распространение ударных волн в пароводяной пузырьковой среде при высоком начальном статическом давлении	
✓ Мамытов А. ....	99
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	103
Инновационные информационные технологии в обучении студентов	
✓ Касымалиева А.Т., Снольянова В.С. ....	103
Переход к телекоммуникационной сети следующего поколения	
✓ Исакова С.У. ....	106
Автоматизированная система расчета и распределения учебной нагрузки вуза	
✓ Касымалиева А.Т. ....	111
Сети нового поколения для сетей связи общего пользования	
✓ Байякина Е.В., Савченко Н.Н. ....	114
Инструменты ОС Windows Server 2003 для создания домена в компьютерном классе	
✓ Горбунова Л.В. ....	120
Синтез безинерционной управляющей подсистемы для нестационарной линейной системы	
✓ Оморов Т.Т., Курманалиева Р.Н., Джолдошев Б.О. ....	124
Разработка микропроцессорной системы управления установкой для подъема и опускания цепей	
✓ Жадыров И.Ш., Полянинов Г.А., Постнов А.А., Султанбеков С.У. ....	128
Синтез системы управления электроприводами	
✓ Джолдошев Б.О., Курманалиева Р.Н., Оморов Т.Т. ....	135
Компенсационный принцип построения законов управления	
✓ Батырканов Ж.И., Мамышев А.М. ....	142
Задача управления по заданной программе	
✓ Батырканов Ж.И., Мадраимова А.Д., Кадыркулова К. ....	144
<b>ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	147
Рациональное размещение рабочих мест	
✓ Дуйшембиева Э.А., Отунчиева А.К. ....	147
Термохимия комплексов галогенидов кадмия с тиомочевинной	
✓ Абдылдаева Ф.А. ....	150
Гравитационные способы разделения диспергированных частиц глинистых минералов	
✓ Аджибаева Г.Б., Токтосунова Б.Б., Кочкорова З.Б., Кыдыралиев С.К. ....	154
Способ разделения природных пигментов	
✓ Батракева Г.Э., Токтосунова Б.Б., Токтобаева Ч.К. ....	157
<b>ГОРНОЕ ДЕЛО</b> .....	160
Влияние температуры на газификацию твердых бытовых отходов	
✓ Балан Р.К., Татыбеков А., Энгельшт В.С. ....	160
Термическое разложение оксалатов редкоземельных элементов	
✓ Исакова Ч.А., Татыбеков А.Т. ....	166
Учет анизотропности механических свойств горных пород при определении коэффициента запаса устойчивости бортов карьера	
✓ Тажыбаев К. Т., Тажыбаев Д.К. ....	169
Остаточные напряжения в твердых средах и результаты их измерения при термообработке	
✓ Казакбаева Г.О., Рабиджанов Ж.Д. ....	175
Радиационно-тепловая обработка пород в Чуйской области	
✓ Жекырчиев Б.С. ....	180

УДК 62.50

## ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПО ЗАДАННОЙ ПРОГРАММЕ

Батырканов Ж.И., Мадраимова А.Д., Кадыркулова К.  
КГТУ им. И. Раззакова

В данной работе предлагается новый подход синтеза законов управления по осуществлению движения объекта, когда предписанная программа движения задается табличным способом.

На сегодняшний день во многих практических задачах автоматического управления ставятся и решаются задачи осуществления движения объекта управления по заданной предписанной программе (траектории).

В решении таких задач к настоящему времени разработаны отдельные подходы. В этих подходах предписанная программа движения задается в различных стандартных аналитических выражениях, в частности в форме,

$$\psi_i(x, t) = 0, \quad i = \overline{1, m} \quad (1)$$

где  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  - вектор состояния.

Во многих задачах, в частности робототехнике, аналитическое представление предписанной программы движения (1) вызывает большие затруднения. В этих случаях остается выход, когда предписанную траекторию (программу) движения представляют в виде конечномер-

ного множества дискретных контрольных точек, в частности в виде таблицы.

Табличное представление, не только предписанного движения, но и представление информации во многих случаях является единственно возможным. Ниже предлагаемый подход может с успехом применяться не только в робототехнике, но и при автоматизации проектирования, раскроя, конструирования одежды, в вопросах трассировки и т.д.

Пусть управляемый объект описывается уравнением:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (2)$$

где  $x$  - вектор состояния;

$u = (u_1, \dots, u_m)^T$  - вектор управления.

Ставится задача осуществления движения (2) согласно программе представленной в виде таблицы

$t_k$	$t_0$	$t_1$	$t_2$	...	$t_k$
$\bar{x}_k$	$\bar{x}_0$	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	...	$\bar{x}_k$

где  $k = 0, 1, 2, \dots$ ;  $t_k$  - дискретные моменты времени;  $\bar{x}_k$  - значение вектор состояние в моменты  $t_k$ .

Представим математическую модель объекта в конечно-разностном виде

$$\bar{x}_{k+1} = \bar{x}_k + f(x_k, u_k, t_k) \cdot \Delta t_k, \quad (3)$$

где  $\Delta t_k = t_{k+1} - t_k$ .

В дальнейшем для упрощения возьмем  $\Delta t_k = \Delta = const$ .

Тогда,

$$\bar{x}_{k+1} = \bar{x}_k + f(x_k, u_k, t_k) \cdot \Delta. \quad (4)$$

Искомые значения управления  $u_k$  в дискретные моменты времени будем

отыскивать, используя (4) и заданную таблицу. При этом  $u_k$  отыскивается из условия, что значения  $\bar{x}_{k+1}$  берутся из таблицы, а  $\bar{x}_k$  - это фактические значения вектора состояния  $x$  к дискретному моменту времени  $t_k$ .

Поэтому, искомые управления будем искать путем минимизации квадрата невязки между требуемыми и текущими дискретными значениями состояния.

Метод исследования. Итак, управление будем искать в виде

$$\|x_{\text{табл}}(k+1) - x_{\text{текущ}}(k+1)\|^2 = \min_{u(k)} \quad (4)$$



1

где  $x_{табл}(k+1)$  - табличное значение,

$x_{текущ}(k+1)$  - текущее значение.

Распишем выражение (4) подробно

$$\begin{aligned} & (x_{табл}(k+1) - x_{текущ}(k+1), \\ & x_{табл}(k+1) - x_{текущ}(k+1)) = \\ & = (x_{табл}(k+1) - x(k) - f(x(k), u(k), k) \Delta, \\ & (x_{табл}(k+1) - x(k) - f(x(k), u(k), k) \Delta) = \\ & = \min_{u(k)} \end{aligned}$$

Затем, взяв частную производную по  $u(k)$  из этого выражения, найдем не-

обходимое управление

$$\frac{\partial (\dots)}{\partial u(k)} = 0 \Rightarrow u(k) = ?$$

Распишем эту процедуру для линейного объекта

$$x(k+1) = x(k) + Ax(k)\Delta + Bu(k)\Delta$$

или

$$x(k+1) = (A\Delta + E)x(k) + Bu(k)\Delta \quad (5)$$

Подставим конкретные выражения, возьмем скалярные произведения, и получим общее выражение.

$$\begin{aligned} & (x_{табл}(k+1) - (A\Delta + E)x(k) - BU(k)\Delta, \quad x_{табл}(k+1) - (A\Delta + E)x(k) - BU(k)\Delta) = \\ & = (x_{табл}(k+1) - x^T(k)(A^T\Delta + E) - u^T(k)B^T\Delta, \quad x_{табл}(k+1) - (A\Delta + E)x(k) - BU(k)\Delta) = \\ & = x_{табл}^T(k+1)x_{табл}(k+1) - x_{табл}^T(k+1)(A\Delta + E)x(k) - x_{табл}^T(k+1)BU(k)\Delta - \\ & - x^T(k)(A^T\Delta + E)x_{табл}(k+1) + x^T(k)(A^T\Delta + E)(A\Delta + E)x(k) + x^T(k)(A^T\Delta + E)BU(k)\Delta - \\ & - u^T(k)B^T\Delta x_{табл}(k+1) + u^T(k)B^T\Delta(A\Delta + E)x(k) + u^T(k)B^T\Delta BU(k)\Delta \end{aligned}$$

Возьмем частную производную по  $u(k)$

$$\begin{aligned} & - B^T\Delta x_{табл}(k+1) + B^T(A\Delta + E)\Delta x(k) - B^T\Delta x_{табл}(k+1) + B^T(A\Delta + E)\Delta x(k) + \\ & + B^T B\Delta^2 u(k) + B^T B\Delta^2 u(k) = 0 \end{aligned}$$

Окончательно, управление определяется в виде

$$\begin{aligned} u(k) & = -\frac{1}{2\Delta^2} (B^T B)^{-1} [2B^T\Delta x_{табл}(k+1) - 2B^T(A\Delta + E)\Delta x(k)] = \\ & = -\frac{1}{\Delta^2} (B^T B)^{-1} [B^T\Delta x_{табл}(k+1) - B^T(A\Delta + E)\Delta x(k)] \end{aligned} \quad (6)$$

Рассмотрим модельный пример. Пусть объект описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + u_1 \\ \dot{x}_2 = u_2 \end{cases} \quad (7)$$

Задается следующая программа движения в табличном виде.

$t_k$	0	1	2	3
$x_1$	0,5	0,7	0,8	0,4
$x_2$	0,5	0,71	0,6	0,91

**Результаты и обсуждение.** Воспользовавшись законом (6) проведем 3 итерации по определению искомого закона управления, а также значение вектора состояния при действии этих найденных управлений.

Итак, определим управление  $u(0)$ , т.е. значение управляющего вектора в момент времени  $k=0$ , при начальном

положении  $x_{10} = 0,5; x_{20} = 0,5$ .

Для этого запишем дискретную модель объекта (6)

$$\begin{cases} x_1(k+1) = x_1(k) + x_2(k) + u_1(k) \\ x_2(k+1) = x_2(k) + u_2(k) \end{cases} \quad (8)$$

В векторно-матричной записи матрицы  $A$  и  $B$  имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

$$\begin{aligned} u(1) &= - \left[ \left( \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,7 \\ 0,71 \end{pmatrix} \right] = \\ &= - \left[ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,7 \\ 0,71 \end{pmatrix} \right] = \\ &= - \left[ \begin{pmatrix} 1 \\ 0,5 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,7 \\ 0,71 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} -0,3 \\ 0,21 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Подставим в выражение (7), с учетом  $k=1$ .

$$\begin{cases} x_1(3) = 0,5 + 0,5 - 0,3 = 0,7 \\ x_2(3) = 0,5 + 0,21 = 0,71 \end{cases}$$

При  $k=2$ , имеем

$$\begin{aligned} u(2) &= - \left[ \left( \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} 0,7 \\ 0,71 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,8 \\ 0,6 \end{pmatrix} \right] = \\ &= - \left[ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,7 \\ 0,71 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,8 \\ 0,6 \end{pmatrix} \right] = \\ &= - \left[ \begin{pmatrix} 1,41 \\ 0,71 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,8 \\ 0,6 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} -0,61 \\ -0,11 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} x_1(2) = 0,7 + 0,71 - 0,61 = 0,8 \\ x_2(2) = 0,71 - 0,11 = 0,6 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} u(3) &= - \left[ \left( \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} 0,8 \\ 0,6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,4 \\ 0,91 \end{pmatrix} \right] = \\ &= - \left[ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,8 \\ 0,6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,4 \\ 0,91 \end{pmatrix} \right] = \\ &= - \left[ \begin{pmatrix} 1,4 \\ 0,6 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0,4 \\ 0,91 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 1 \\ -0,31 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

При  $k=3$ , имеем

$$\begin{cases} x_1(3) = 0,8 + 0,6 - 1 = 0,4 \\ x_2(3) = 0,6 + 0,31 = 0,91 \end{cases}$$

Выше мы показали, что при синтезированных значениях вектора управления, начиная с первого шага, замкнутая синтезированная система движется по таблично-заданным предписанным траекториям.

Получен эффективный достаточно простой подход синтеза законов управления по таблично-заданным предписанным программам движения.

#### Литература

1. Шаршеналиев Ж.Ш., Батырканов Ж.И. Синтез систем управления заданными показателями качества – Б.: Илим, 1991.