

**ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ  
ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ САМОНАВЕДЕНИЯ**

*Кармышаков А.К., Каримов Б.Т.*

*Кыргызский Государственный Технический Университет им. И.Раззакова, кафедра  
«Радиоэлектроника», г. Бишкек, Кыргызстан, [askar1969@mail.ru](mailto:askar1969@mail.ru)*

**APPLICATION OF THE SPECTRAL METHOD FOR THE SOLUTION OF INVERSE  
PROBLEMS OF DYNAMICS IN THE CONTROL OF ELECTRONIC SYSTEMS HOMING**

*Karmyshakov A.K., Karimov B.T.*

*Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Department of "Radioelectronics", Bishkek,  
Kyrgyzstan, [askar1969@mail.ru](mailto:askar1969@mail.ru)*

*В статье рассмотрены проблемы создания математической модели и синтеза алгоритма управления радиоэлектронной системой самонаведения (РЭСС). Для построения данной системы использовался спектральный метод, основанный на концепции обратных задач динамики.*

*Article considers the problems of creating a mathematical model and algorithm synthesis control electronic homing system. To build this system was used spectral method based on the concept of inverse problems of dynamics*

**Постановка задачи.** В настоящее время расширяется область применения радиоэлектронных систем самонаведения (РЭСС). Система самонаведения используется для решения задачи управления подвижным объектом для изменения взаиморасположения объекта управления и объекта цели, по излученному или отраженному сигналу, которого осуществляет наведение. Целью данной работы является создание математической модели и синтез алгоритма управления радиоэлектронной системой самонаведения. Для построения данной системы использовался спектральный метод, основанный на концепции обратных задач динамики [1].

**Решение задачи.** Рассмотрим решение спектральным методом обратной задачи динамики в следующей постановке.

Известна система автоматического управления (регулирования), которая может быть как стационарной, так и нестационарной, работа которой описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$x^{(l)}(n) + \sum_v^{n-1} a_v(t) \cdot x^{(v)}(t) = \sum_k^{n-1} b_k(t) \cdot y^{(k)}(t) \quad (1)$$

где  $x(t)$  - сигнал на выходе системы;  $y(t)$  - сигнал на входе системы;  
 $a_v(t), b_k(t), v = 0..n-1, k = 0..m$  - коэффициенты дифференциального уравнения, являющиеся функциями времени.

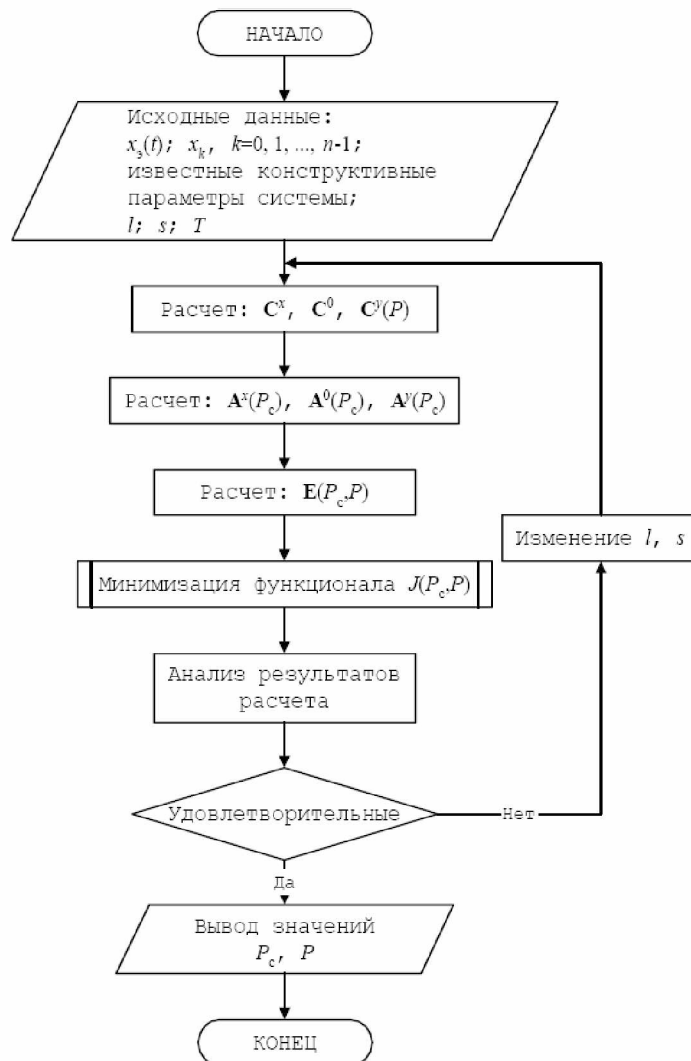


Рис. 1. Структурная схема алгоритма решения обратной задачи динамики спектральным методом.

При этом неизвестны некоторые параметры настройки системы управления, которые необходимо определить в процессе решения задачи. Обозначим множество этих параметров через  $P_c = \{p_i^c := 1, 2, \dots, \zeta\}$ , где  $\zeta$  - их число. Тогда коэффициенты дифференциального уравнения будут зависеть от  $P_c$  и, следовательно можно записать:

$$x^{(n)}(t) + \sum_{v=0}^{n-1} a_v(t, P_c) \cdot x^{(v)}(t) = \sum_{k=0}^m b_k(t, P_c) \cdot y^{(k)}(t) \tag{2}$$

Задан эталонный сигнал  $x_{\text{э}}(t)$  на интервале  $[0, T]$ , его спектральная характеристика, который необходимо получить на выходе системы (1). В общем случае могут быть заданы ненулевые начальные условия:

В качестве меры близости реального сигнала на выходе системы (2) к эталонному сигналу  $x_{\text{э}}(t)$  на интервале  $[0, T]$  примем следующий функционал

$$J = \left[ \int_0^T (x_{\text{э}}(t) - x(t))^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

На рисунке 1 представлена структурная схема алгоритма решения поставленной задачи.

Рассмотрим отдельный блок системы самонаведения, структурная схема которого представлена на рисунке 2.

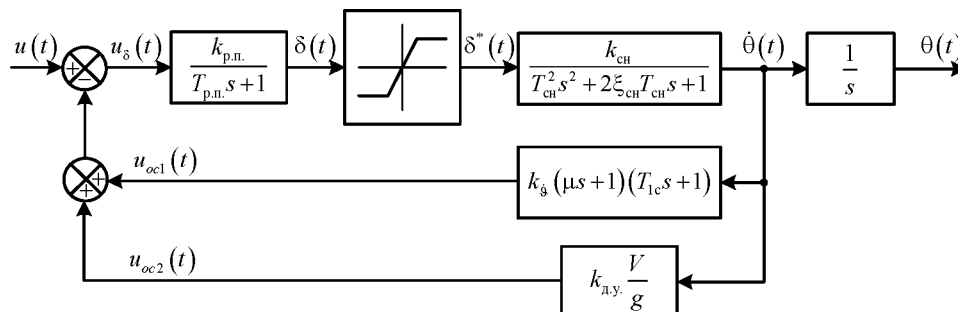


Рис. 2. Структурная схема системы.

Задан эталонный закон изменения угла  $\theta_{\text{э}}(t)$ . Задача формулируется следующим образом: необходимо найти управление  $u(t)$  такое, которое обеспечит на выходе сигнал  $\theta(t)$ , максимально близкий к заданному эталонному закону.

Данная задача относится к разряду некорректных и мы будем решать её с применением оптимизационных методов.

Для решения данной задачи воспользуемся методом матричных операторов. В этом случае структурную схему можно представить в следующем виде (рис. 3).

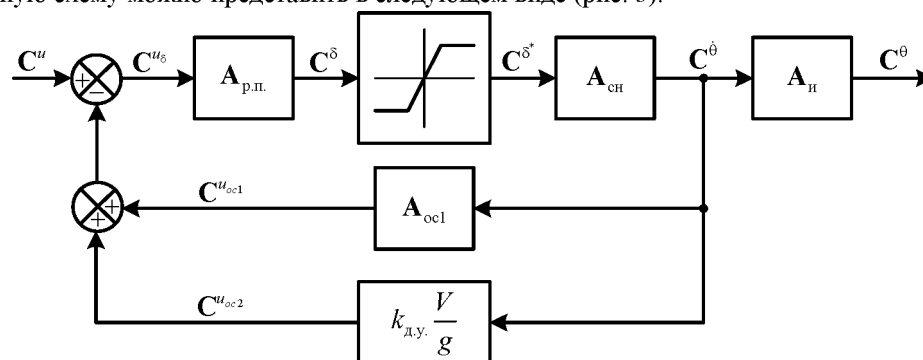


Рис. 3. Структурная схема системы в операторной форме.

В качестве ортонормированной системы использовалась система функций Уолша с удержанием  $l = 64$  элементов. В этом случае матричные операторы основных элементов системы будут следующими (представлены подматрицы размерностью  $5 \times 5$ ):

$$A_{\text{э}} = \begin{bmatrix} 4,98 & 2,49 & 0 & 1,245 & 0 \\ -2,49 & 0 & 1,245 & 0 & 0 \\ 0 & -1,245 & 0 & 0 & 0 \\ -1,245 & 0 & 0 & 0 & 0,6225 \\ 0 & 0 & 0 & -0,6225 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}_{\delta i} = \begin{bmatrix} 0,9668 & 0,0331 & -0,0331 & 0,0331 & -0,0317 \\ -0,0331 & 0,9006 & 0,0993 & 0,0331 & -0,0317 \\ -0,0331 & -0,0993 & 0,8343 & 0,0330 & -0,0316 \\ -0,0331 & 0,0331 & -0,0330 & 0,7682 & 0,2220 \\ -0,0317 & 0,0317 & -0,0316 & -0,2220 & 0,7048 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}_{\pi i} = \begin{bmatrix} 0,2824 & -0,0019 & -0,0035 & 0,0069 & -0,0049 \\ 0,0019 & 0,2862 & 0,0140 & 0,0035 & -0,0060 \\ -0,0035 & -0,0140 & 0,2791 & 0,0157 & -0,0074 \\ -0,0069 & 0,0035 & -0,0157 & 0,2477 & 0,0350 \\ -0,0049 & 0,0060 & -0,0074 & -0,0350 & 0,2378 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A}_{i \pi i} = \begin{bmatrix} -68,3152 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -68,3152 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -68,3152 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -68,3152 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -68,3152 \end{bmatrix}.$$

Спектральная характеристика сигнала  $\theta_y(t)$  следующая (представлены первые пять элементов):

$$\mathbf{C}^{\theta_y} = [0,2948 \quad -0,0700 \quad -0,0494 \quad -0,0510 \quad -0,0145]^T$$

Решение поставленной задачи будем выполнять в следующие два этапа.

1. Поскольку известен эталонный выходной сигнал, то из уравнения

$$\mathbf{C}^{\theta_y} = \mathbf{A}_e \mathbf{A}_{\pi i} \mathbf{C}^{\delta^*} \tag{4}$$

можно найти спектральную характеристику эталонного сигнала на выходе нелинейного элемента.

Решая уравнение (4) относительно коэффициентов  $\mathbf{C}^{\delta^*}$  с использованием метода Гаусса-Ньютона, получены следующие числовые значения коэффициентов:

$$\mathbf{C}^{\delta_y^*} = [0,1300 \quad 0,1229 \quad 0,0587 \quad 0,0652 \quad -0,0174]^T \tag{5}$$

Однако на выходе нелинейного элемента можно получить сигнал со следующими элементами спектральной характеристики.

$$\mathbf{C}^{\delta^*} = [0,1248 \quad 0,1178 \quad 0,0536 \quad 0,0600 \quad -0,0189]^T$$

Тогда из (3.1) находим эталонный сигнал на выходе, который может обеспечить данную систему (рис. 6). Его спектральная характеристика:

$$\mathbf{C}^{\theta_y} = [0,2820 \quad -0,0683 \quad -0,0476 \quad -0,0492 \quad -0,0128]^T \tag{6}$$

2. В результате решения предыдущего этапа найдены спектральные характеристики (6) эталонного выходного сигнала, который может обеспечить данную систему и (5) эталонного сигнала, которой необходимо получить на входе нелинейного элемента.

Далее искомый сигнал  $u(t)$  представим в виде

$$u(t) = \sum_{k=0}^l c_k^u \psi_k(t) \tag{7}$$

где  $\{\psi_k(t) : k = 0, \dots, l\}$  некоторая система линейно независимых функций.

В результате для спектральной характеристики сигнала на входе нелинейного элемента можно записать следующую зависимость.

$$C^{\delta} = A_{\delta.i.} \left( \sum_{k=0}^l c_k^u C^{\psi_k} - A_{oc1} C^{\dot{\theta}} - k_{a.o.} \frac{V}{g} C^{\dot{\theta}} \right), \quad (8)$$

где  $C^{\psi_k}$  – спектральная характеристика  $k$ -го элемента системы  $\{\psi_k(t) : k=0, \dots, l\}$ . Поскольку известны спектральные характеристики эталонных сигналов  $\dot{\theta}(t)$  и  $\delta(t)$ , то между левой и правой частями выражения (8) будет иметь место невязка

$$C^{\varepsilon}(C^u) = C^{\delta} - A_{\delta.i.} \left( \sum_{k=0}^l c_k^u C^{\psi_k} - A_{oc1} C^{\dot{\theta}} - k_{a.o.} \frac{V}{g} C^{\dot{\theta}} \right), \quad (9)$$

зависящая от неизвестных коэффициентов  $c_k^u, k=0, \dots, l$ . Сформировав функционал

$$J(C^u) = \left\{ \left[ C^{\varepsilon}(C^u) \right]^T C^{\varepsilon}(C^u) \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

исходную задачу синтеза входного сигнала, можно свести к задаче поиска минимума функционала

(3.7) на множестве допустимых значений коэффициентов  $c_k^u, k=0, \dots, l$ , т.е.

$$J(C^u) = \left\{ \left[ C^{\varepsilon}(C^u) \right]^T C^{\varepsilon}(C^u) \right\}^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min_{C^u}$$

При решении задачи в качестве системы функций  $\{\psi_k(t) : k=0, \dots, l\}$  использовались

экспоненциальные функции:  $\{e^{-kt} : k=0, \dots, 9\}$ . Минимум функционала (10) ищется с использованием алгоритма Нелдера-Мида (алгоритма безусловной минимизации). В качестве начальных значений искомых

коэффициентов были приняты нулевые. При этом значение функционала (10):  $J^0(C^u) = 8,233155 \cdot 10^{-1}$

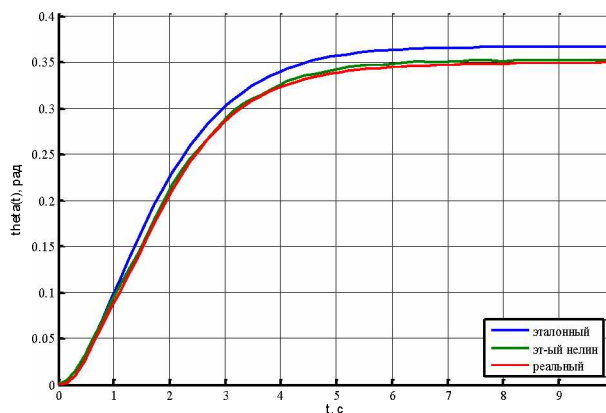


Рис. 4. Графики выходных сигналов системы.

Были получены следующие оптимальные значения искомых коэффициентов:

$$c_0^k = 6,965326 \cdot 10^{-3}; c_1^k = 13,32016; c_2^k = -30,07097; c_3^k = 4,989575; c_4^k = 70,08289;$$

$$c_5^k = -98,53481; c_6^k = 36,93470; c_7^k = 10,92375; c_8^k = 17,42456; c_9^k = -23,34125$$

Значение функционала (10) в оптимальной точке:

$$J^*(C^u) = 5,889073 \cdot 10^{-2}$$

Следовательно, входной сигнал имеет следующий вид:

$$u(t) = 6,965326 \cdot 10^{-3} + 13,32016 \cdot e^{-t} - 30,07097 \cdot e^{-2t} + 4,989575 \cdot e^{-3t} +$$

$$+ 70,08289 \cdot e^{-4t} - 98,53481 \cdot e^{-5t} + 36,93470 \cdot e^{-6t} + 10,92375 \cdot e^{-7t} +$$

$$+ 17,42456 \cdot e^{-8t} - 23,34125 \cdot e^{-9t}$$

На рисунке 4 представлены результаты анализа системы с использованием метода Рунге-Кутты для найденного входного сигнала. Для сравнения приведены графики требуемого эталонного выходного сигнала и эталонного сигнала, которые могут обеспечить данную систему.

#### Литература

1. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели. - М.: Наука, 1988.
2. Галиулин А. С. Обратные задачи динамики. - М.: Наука, 1981.
3. Хуторской И. Н. Теория стрельбы ЗУР. Основы теории полета и управления зенитными ракетами. - Смоленск: 2000.

УДК.: 62-366.1.001.5

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛООБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

*Михеева Н. И.*

*Кыргызско-Российский Славянский университет  
Бишкек, Кыргызская Республика  
E-mail: [mihnatar@rambler.ru](mailto:mihnatar@rambler.ru)*

### THE INCREASING OF EFFICIENCY IN METALWORKING BY A HYDRAULIC FEEDBACK

*Mikheeva N.I.*

*Kyrgyz-Russian Slavic University  
Bishkek The Kyrgyz Republic  
E-mail: [mihnatar@rambler.ru](mailto:mihnatar@rambler.ru)*

*Предлагается повышение эффективности процесса металлообработки за счет применения гидравлической обратной связи между силовым гидроцилиндром и регулятором расхода рабочей жидкости*

*To increase the efficiency of the metalworking process it is proposed to apply hydraulic feedback between the hydraulic force cylinder and the regulator of working fluid flow rate*

Основным, комплексным показателем качества производственного процесса является его эффективность, которая определяется соотношением качества выпускаемой продукции и затратами на ее создание. Реализация повышения эффективности металлообработки возможно за счет разных факторов в зависимости от применяемых способов ее выполнения.

Обработка металлов и других конструкционных материалов осуществляется для придания исходным материалам (заготовкам) требуемой геометрической формы и размеров, а также необходимой точности и чистоты поверхностей получаемых деталей. Имеется значительное количество способов обработки, различающихся видом и способом использования энергии воздействия на заготовку, в том числе механические, электрохимические, электрофизические, комбинированные способы. Так, в настоящее время создано многофункциональное металлообрабатывающее оборудование, использующее прогрессивные методы обработки металла: метод послойного синтеза (молекулярного, ионного, ионно-молекулярного, ионно-коллоидного, молекулярно-коллоидного и коллоидного наслаиваний), пластичного деформирования, металлообработка деталей с применением электронно- и ионно-плазменных и лазерных технологий [1]. Однако далеко не каждое предприятие оснащено оборудованием последнего поколения. К тому же традиционное металлообрабатывающее оборудование по-прежнему широко используется, поэтому актуальной является разработка простых оригинальных технических решений для его усовершенствования.

Процесс механической металлообработки предназначен для получения детали с заданными формой, размерами и чистотой поверхности. Он осуществляется в несколько этапов, основными из которых являются черновая и чистовая обработки [2-4]. Изначально проводится черновая металлообработка, которая предусматривает подготовку заготовки, ее обработку с целью придания необходимых габаритов и конструктивных особенностей. При этом качество обрабатываемой поверхности остается достаточно низким и не берется в учет в ходе работы. В свою очередь чистовая металлообработка является завершающим этапом перед выпуском изделия и определяет качество его поверхности. Таким образом,

На рисунке 4 представлены результаты анализа системы с использованием метода Рунге-Кутты для найденного входного сигнала. Для сравнения приведены графики требуемого эталонного выходного сигнала и эталонного сигнала, которые могут обеспечить данную систему.

#### **Литература**

1. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели.- М.: Наука, 1988.
2. Галиулин А. С. Обратные задачи динамики.- М.: Наука, 1981.
3. Хуторской И. Н. Теория стрельбы ЗУР. Основы теории полета и управления зенитными ракетами. - Смоленск: 2000.