

УДК 684.513

© 2012 г. **А.И. Годяев**, д-р техн. наук

(Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск),

**В.М. Давыдов**, д-р техн. наук,

**Е.А. Шеленок**, канд. техн. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**

Рассматривается задача имитационного моделирования системы комбинированного робастного управления периодическими режимами нелинейно-нестационарных скалярных динамических объектов. С помощью вычислительного эксперимента осуществляется выбор коэффициентов регулятора, обеспечивающего высокие качественные показатели работы системы.

**Ключевые слова:** имитационная модель, нелинейный объект, априорная неопределенность, критерий гиперустойчивости, комбинированный регулятор.

### **Введение**

Задачи проектирования и разработки автоматических систем управления циклического действия, предназначенных для формирования устойчивых периодических режимов работы различных динамических объектов, являются актуальными для современной теории управления. Известно, что к периодическим системам управления относится большое количество автоматических систем, регулирующих процессы работы промышленных манипуляционных роботов, токарных станков с автоматизированным приводом подачи режущего инструмента, систем оптического сканирования и других объектов.

Одним из ключевых этапов технической реализации спроектированных систем управления является их имитационное моделирование. Необходимость проведения вычислительных экспериментов обусловлена, прежде всего, упрощением практического внедрения результатов, поскольку в этом случае часть исследований выполняется на некоторой математической модели реального объекта с помощью вычислительной машины. Кроме того, имитационное моделирование позволяет решать и некоторые специфические задачи – такие как: подбор параметров устройства управления, изучение переходных характеристик системы при изменении параметров объекта регулирования и внешних возмущающих воздействий, выбор шага дискретизации законов управления для гибридных систем и другие [1].

В данной статье с использованием среды Simulink математического пакета Matlab 6.5 рассматривается задача имитационного моделирования системы робастного управления скалярными нелинейными нестационарными объектами, решение которой позволяет обеспечить высокое качество работы системы.

### Математическое описание системы управления

Рассматривается периодическая система управления для класса скалярных нелинейно-нестационарных динамических объектов, синтезированная с помощью критерия гиперустойчивости [2 – 4]. Описание системы можно представить с помощью математических соотношений, отражающих динамику ее отдельных частей:

1) динамические свойства объектов управления рассматриваемого класса в общем случае описывается с помощью уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= A_x(t+T, x)x(t) + b_x(t+T)u(t) + f_x(t), \quad y(t) = L^T x(t), \\ A_x(t+T, x) &= A_x + b_* J_x^T(t+T, x_1(t)), \quad A_x = A_0 + b_* c_0^T(x), \\ J_x^T(t+T, x_1(t)) &= (a_1(t+T)j_1(x_1(t)), \dots, a_n(t+T)j_n(x_1(t))), \\ b_x(t+T) &= b_*(1 + r_x(t+T)), \quad r_x(t+T) > 0, \quad b_*^T = (0, \dots, 0, 1), \\ f_x^T(t) &= (0, \dots, 0, f_{x_n}(t)), \quad f_{x_n}(t) = f_{x_{nep}}(t) + f_{x_{ненеп}}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x(t) \in R^n$  – вектор переменных состояния;  $u(t) \in R$ ,  $y(t) \in R$  – скалярные сигналы управления и выхода объекта соответственно;  $A_x(t+T, x)$ ,  $b_x(t+T)$  – некоторые нелинейно-нестационарная матрица и нестационарный вектор с  $T$ -периодически изменяющимися параметрами;  $J_x(t+T, x_1(t))$  – неизвестный нелинейно-нестационарный вектор;  $a_1(t+T), \dots, a_n(t+T)$ ;  $r_x(t+T)$  – ограниченные по величине  $T$ -периодические функции;  $j_1(x_1(t)), \dots, j_n(x_1(t))$  – нелинейные функции;  $f_x(t)$  – вектор внешних возмущений, содержащий периодическую  $f_{x_{nep}}(t)$  и непериодическую  $f_{x_{ненеп}}(t)$  составляющие;  $b_*$ ,  $L^T = [1, 0, \dots, 0]$  – стационарные векторы;  $A_0$  – гурвицаева матрица;  $x \in \Xi$  – параметр, соответствующий уровню априорной неопределенности объекта;

2) управляющее устройство (регулятор) формируется в виде робастно-периодической комбинации [2]

$$u(t) = k(u_{nep}(t) + u_{роб}(t)), \quad (2)$$

с алгоритмами

$$u_{nep}(t) = u_{nep}(t-T) + g_0 z(t), \quad (3)$$

$$u_{роб}(t) = \left[ b_0 + b_1 \sum_{i=1}^n |\bar{x}_i(t)| \right] z(t); \quad (4)$$

где  $k, g_0, b_0, b_1 = const > 0$ ;  $\bar{x}(t) \in R^n$  – вектор оценок переменных состояния объекта, получаемый с помощью стационарного наблюдателя состояния [3, 5]

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A_*\bar{x}(t) + bu(t) + Ny(t), \quad \bar{y}(t) = \bar{x}_1(t), \quad \bar{v}(t) = \bar{g}^T \bar{x}(t), \quad (5)$$

где  $A_* = A_0 - NL^T$  – матрица состояния наблюдателя;  $N$  – матрица с вычисляемыми коэффициентами;  $\bar{v}(t)$  – обобщенный выход наблюдателя;

3) желаемое качество переходных процессов объекта задается с помощью быстрой явно-неявной эталонной модели [3]

$$\frac{dx_0(t)}{dt} = -a_0x_0(t) + a_0r(t+T), \quad y_0(t) = x_0(t), \quad (6)$$

где  $a_0 = const > 0$ ;  $x_0 \in R$  – эталонная переменная;  $y_0(t)$  – выход эталона.

*Постановка задачи:* для системы управления (1) – (6) с помощью имитационного моделирования необходимо осуществить выбор постоянных коэффициентов комбинированного робастного регулятора (2) – (4) таким образом, чтобы обеспечить слежение за командным сигналом  $r(t+T)$  при выполнении целевых условий

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_0(t) - \bar{y}(t)| \leq I_0; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} u_{nep}(t) = u_{nep}(t+T), \quad (7)$$

где  $I_0 = const$  – некоторое относительно малое число.

### Simulink-модель системы и результаты имитационного моделирования

Для решения указанной задачи в среде Simulink математического пакета Matlab была построена Simulink-схема робастной системы управления (1) – (6). Общая структурная диаграмма, схемы периодической и робастной частей регулятора (2) – (4), а также модель стационарного наблюдателя состояния (5) представлены на рис. 1 – 4 соответственно.

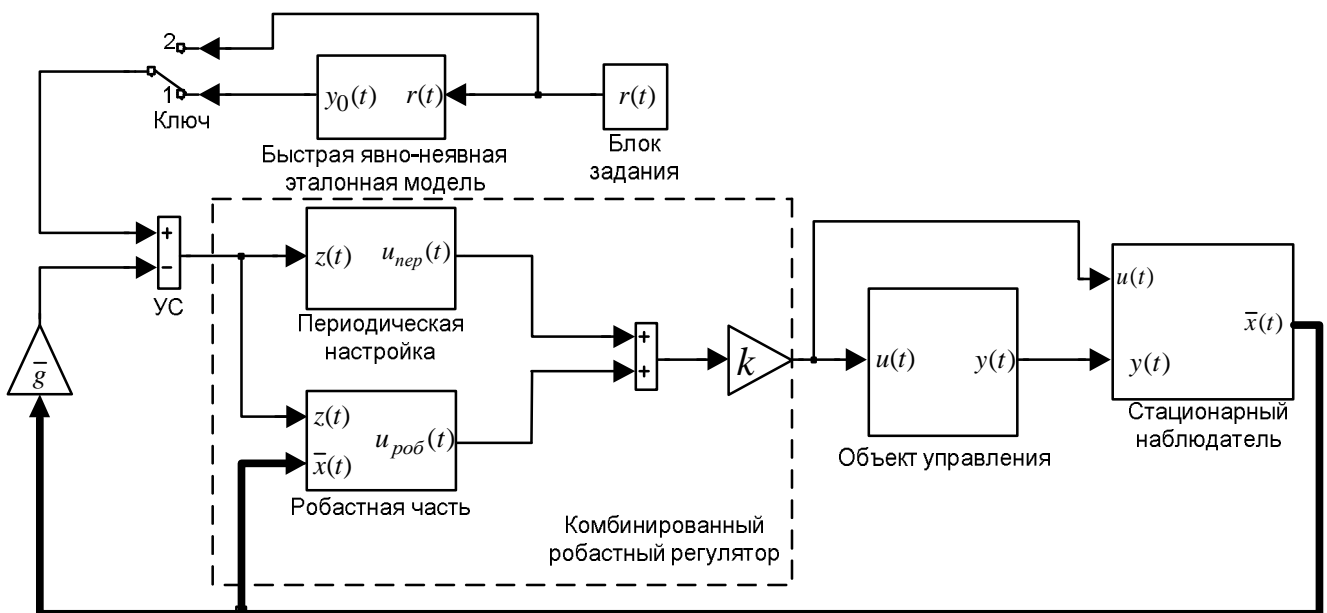


Рис. 1. Simulink-модель системы управления (1), (2) – (4), (7), (8).

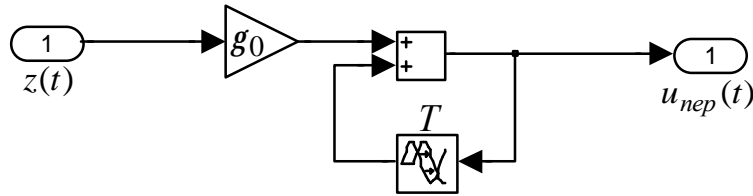


Рис. 2. Блок-схема периодической настройки регулятора.

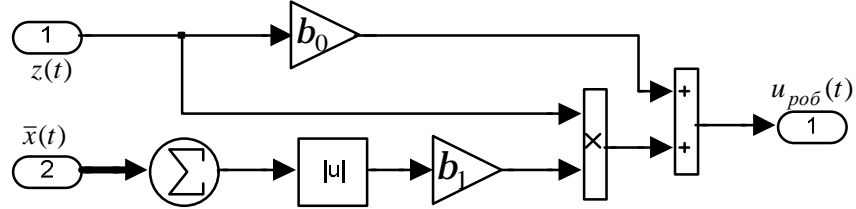


Рис. 3. Схема робастной части регулятора.

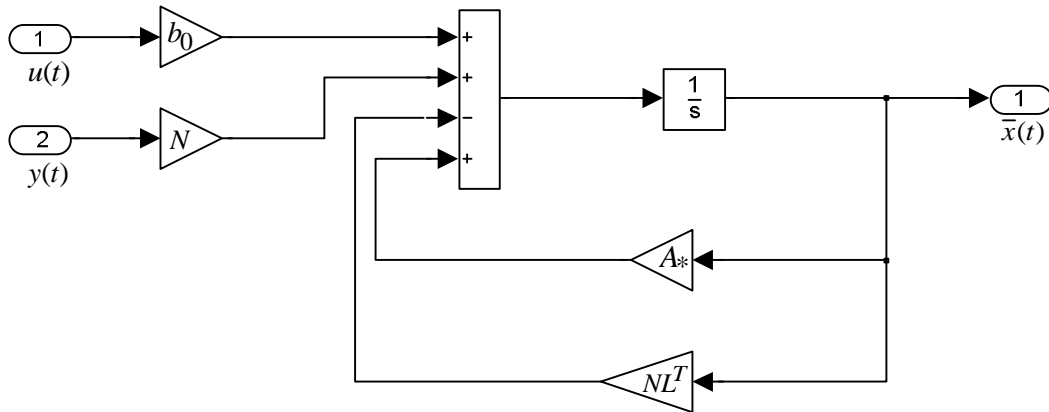


Рис. 4. Simulink-диаграмма стационарного наблюдателя полного порядка (5).

Определим значения параметров объекта управления с помощью следующих соотношений:

$$A(t+T, x) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ a_1 & a_2 & a_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ a_{11}(t+T, x_1(t)) & a_{12}(t+T, x_1(t)) & a_{13}(t+T, x_1(t)) \end{pmatrix}$$

$$a_1 = -5; \quad a_{11}(t+T, x_1(t)) = a_1(t+T)j_1(x_1(t)); \quad a_1(t+T) = 0.3 \sin 0.5t;$$

$$a_2 = 1; \quad a_{12}(t+T, x_1(t)) = a_2(t+T)j_2(x_1(t)); \quad a_2(t+T) = 1.5 \sin 0.5t;$$

$$a_3 = -3; \quad a_{13}(t+T, x_1(t)) = a_3(t+T)j_3(x_1(t)); \quad a_3(t+T) = 0.5 \sin 0.5t;$$

$$b(t+T) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ b_3(t+T) \end{pmatrix} \quad \left. \begin{array}{l} b_3(t+T) = b_3 + r(t+T); \\ r(t+T) = 0.1 |\sin 0.5t|; \quad b_3 = 1; \end{array} \right\}$$

$$f(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ f_{nep}(t+T) + f_{nenep}(t) \end{pmatrix} \quad \left. \begin{array}{l} f_{nep}(t) = 0.1e^{\sin 0.1pt} - 0.3; \\ f_{nenep}(t) = 0.1 \sin(e^{-0.05t} \sin t - 1.5) 0.2t. \end{array} \right\}$$

Для обеспечения свойства малоинерционности явно-неявной эталонной модели (6) ее коэффициент зададим со значением  $a_0 = 10$ . Тогда, в соответствии с известной процедурой расчета [5], получим параметры наблюдателя (5):

$$N^T = (60 \quad 600 \quad -10000); \bar{g}^T = (3.375 \quad 0.675 \quad 0.0338).$$

Отметим, что поскольку эталонная модель в системе (1) – (6) является быстрой, то в соответствии с [3, 5] осуществим переход к ее неявному представлению. Относительно построенных структурных схем системы это означает перевод ключа на общей схеме из положения 1 в положение 2 (рис. 1). При этом на первый вход устройства сравнения (УС) будет поступать сигнал задающего воздействия  $r(t+T)$ , который в данном случае будет являться выходом неявного периодического эталона. Сформируем задающее воздействие в виде периодической функции  $r(t+T) = 0.5 \sin(4t) \cos(t)$  и выполним имитационное моделирование рассматриваемой системы. Результаты вычислительного эксперимента представлены на рис. 5 – 8. Параметры комбинированного контура управления (2) – (4) были выбраны со значениями

$$g_0 = 25; b_0 = 40; b_1 = 20; T = 0.03; k = 100. \quad (8)$$

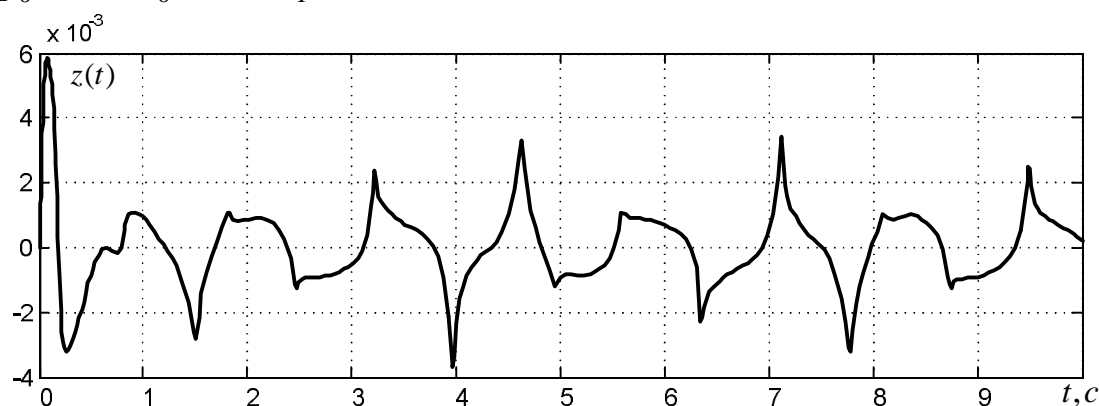


Рис. 5. Ошибка регулирования.

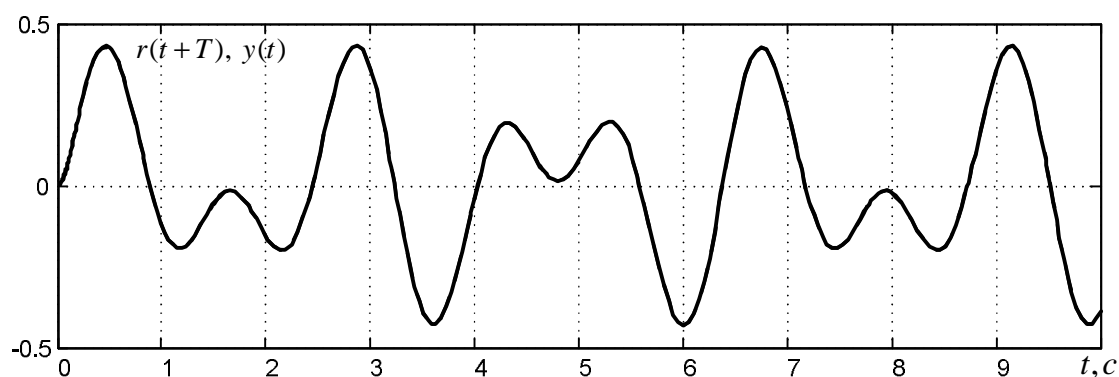


Рис. 6. Задающее воздействие и выход объекта.

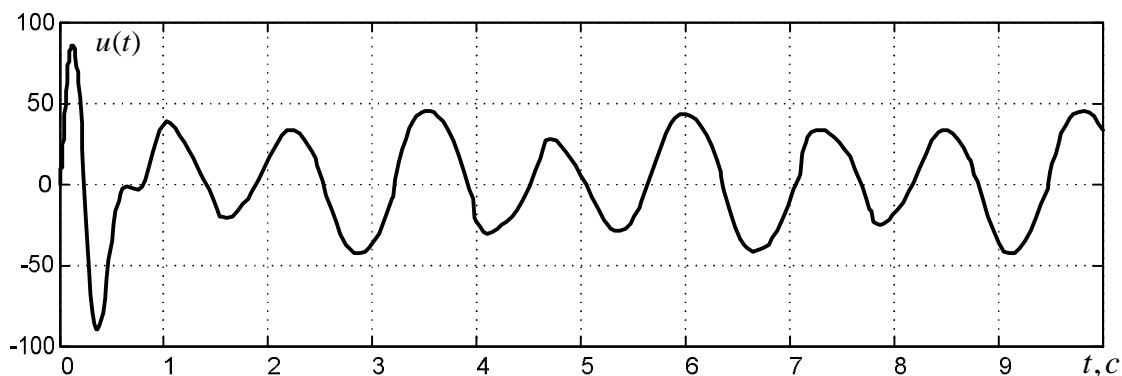


Рис. 7. Сигнал управления.

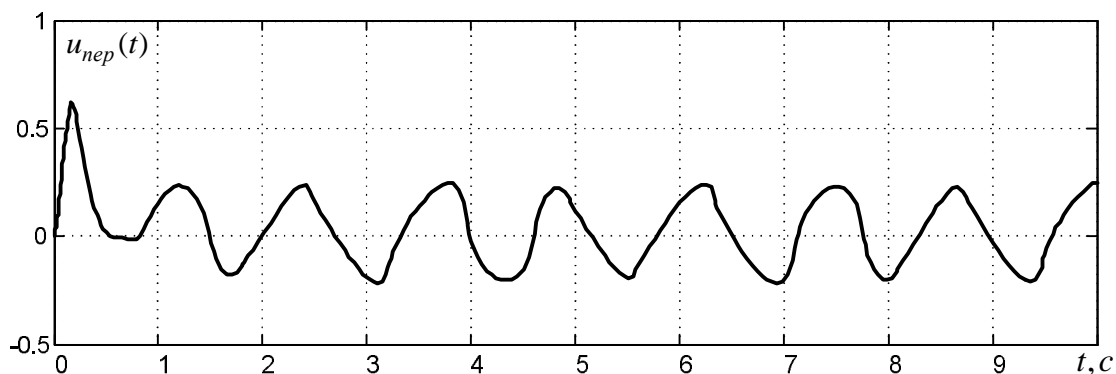


Рис. 8. Периодическая настройка регулятора.

Полученные временные характеристики показывают, что выбор числовых коэффициентов робастно-периодического регулятора со значениями (8) позволяет добиться выполнения в системе предельных целевых условий (7), а также, ввиду малой ошибки регулирования (рис. 5), высокой точности отработки задающего воздействия  $r(t + T)$ .

### Заключение

Рассмотрена система имитационного моделирования комбинированной робастной системы управления скалярным нелинейно-нестационарным динамическим объектом в периодических режимах. С помощью вычислительного эксперимента осуществлен выбор параметров контура регулирования, что позволило обеспечить достаточно высокое качество функционирования системы управления в условиях априорной неопределенности и постоянного действия внешних помех.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Еремин Е.Л., Шевко Д.Г. Имитационное моделирование технически эквивалентных гибридных систем управления // Информатика и системы управления. – 2001. – № 2(2). – С.36-42.
2. Еремин Е.Л., Теличенко Д.А., Шеленок Е.А. Комбинированные алгоритмы системы робастно-периодического управления нелинейным объектом с запаздыванием // Информатика и системы управления. – 2009. – № 3(21). – С.125-135.
3. Леянов Б.Н., Теличенко Д.А., Шеленок Е.А. Комбинированная система управления априорно неопределенным нелинейным объектом с запаздыванием по состоянию // Информатика и системы управления. – 2010. – № 1(23). – С.156-166.
4. Шеленок Е.А. Гибридная система управления нелинейным скалярным объектом в циклических режимах // Информатика и системы управления. – 2010. – № 3(25). – С.147-156.
5. Еремин Е.Л., Кван Н.П., Семичевская Н.П. Робастное управление нелинейным объектом со стационарным наблюдателем и быстродействующей эталонной моделью // Информатика и системы управления. – 2008. – С.122-130.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Ереминым.

**E-mail:**

Годяев Александр Иванович – [zav\\_at@festu.khv.ru](mailto:zav_at@festu.khv.ru);

Давыдов Владимир Михайлович – [davellut@mail.ru](mailto:davellut@mail.ru);

Шеленок Евгений Анатольевич – [cidorshell@rambler.ru](mailto:cidorshell@rambler.ru).