

УДК 681.501

В. А. КАЛОША, А. Х. САРКЕР, С. Г. УДОВЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОЙ ПОДАЧИ КИСЛОРОДА В ЛЕГКИЕ

В теории и практике адаптивного управления широкое распространение получили адаптивные системы с эталонной моделью (АСЭМ), которые характеризуются высоким быстродействием, простотой и возможностью их реализации в реальном масштабе времени [1].

В то же время существующие подходы к синтезу таких систем не всегда пригодны для цифрового управления реальными объектами, в частности, многосвязными стохастическими процессами со скачкообразными параметрическими возмущениями.

Известные примеры применения дискретных адаптивных регуляторов с эталонной моделью связаны в основном с использованием теории гиперустойчивости. Предлагается перспективным совершенствование механизмов адаптации в АСЭМ на базе других вычислительных схем.

В работе [2] предложены градиентные процедуры настройки параметров АСЭМ следующего вида:

$$c_i(k+1) = c_i(k) - \gamma_i e(k) z^{-1} \{V_{c_i} [X(z) - Y(z)]\}, \quad i = \overline{0, m}, \quad (1)$$

$$d_j(k+1) = d_j(k) - \delta_j e(k) z^{-1} \{V_{d_j} Y(z)\}, \quad j = \overline{0, m-1}. \quad (2)$$

где c_i, d_j – коэффициенты числителя и знаменателя дискретной передаточной функции (ДПФ) адаптивного регулятора; γ_i, δ_j – коэффициенты адаптации; V_{c_i}, V_{d_j} – функции чувствительности, реализующие цифровые фильтры АСЭМ; $e(k)$ – ошибка адаптации; $X(z), Y(z)$ – z -преобразование входного и выходного сигналов системы соответственно.

Процедуры (1) и (2) могут быть эффективно использованы при моделировании цифровых систем управления стохастическими процессами различного порядка и различной физической природы.

Рассмотрим процесс искусственного регулирования подачи кислорода в легкие. Этот процесс имеет для различных пациентов весьма неоднородный характер интенсивности кислородного обогащения легких. В связи с этим целесообразным является применение адаптивных процедур в соответствующей системе цифрового регулирования.

Дискретная передаточная функция управляемого процесса может быть представлена в виде

$$K(z) = Z\{K(p)\} = \frac{b_0}{z + a_0} = \frac{k(1-D)}{(z-D)}, \quad (3)$$

где $D = e^{-\frac{T}{T_s}}$; k – коэффициент усиления; T_s – постоянная времени управляемого процесса; a_0, b_0 – параметры процесса.

Определим ДПФ $L_0(z)$ регулятора для управления рассматриваемой системой за конечное число шагов N . Обозначив числитель ДПФ управляемого процесса как $M_{k(0)}(z)$, а знаменатель, как $N_{k(0)}(z)$, для единичного скачкообразного входного воздействия получим

$$L_0(z) = \frac{M_{k(0)}(z) f_0}{z^n},$$

где $f_0 = \lim_{z \rightarrow 1} N_{k(0)}^{-1}(z)$.

В нашем случае $M_{k(0)}(z) = (z - D)$, $f_0 = \frac{1}{(1-D)}$. При $k=1$ получаем

$$L_0(z) = \frac{(z - D)}{z(1 - D)}. \tag{4}$$

Для замкнутой и разомкнутой систем ДПФ корректирующего регулятора АСЭМ, реализующего алгоритмы (1) и (2), соответственно равны:

$$P(z) = L_0(z), \quad P(z) = \frac{L_0(z)}{1 - L_0(z)k(z)}. \tag{5}$$

С учетом (3), (4) ДПФ (5) при $k = 1$ принимает вид

$$P(z) = \frac{(z - D)}{(z - 1)(1 - D)}. \tag{6}$$

Из (6) следует, что корректирующий член соответствует границе устойчивости. Эталонная модель имеет одинаковый вид как для разомкнутой, так и для замкнутой систем. Ее ДПФ равна

$$K_m(z) = L_0(z)K(z) = \frac{(z - D)}{(z^2 - Dz)}.$$

Функции чувствительности, необходимые для реализации соответствующих алгоритмов адаптации, определяются следующим образом:

$$V_{c_0}(z) = \frac{(D - 1)}{(z^2 - Dz)}, \quad V_{c_1}(z) = \frac{(D - 1)z}{(z^2 - Dz)}, \quad V_{d_0}(z) = -\frac{D}{(z^2 - Dz)}.$$

Постоянную времени для рассматриваемого объекта можно принять равной 1 с. В этом случае (для $T = 0,1с$) $D = 0,9048$; $f_0 = 10,5083$; $(1 - D) = 9,52 \cdot 10^{-2}$. Тогда ДПФ управляемой системы, регулятора, эталонной модели и функций чувствительности АСЭМ примут вид:

$$K(z) = \frac{9,52 \cdot 10^{-2}}{(z - 0,9048)}, \quad L_0(z) = \frac{(10,5083z - 9,5083)}{z}, \quad P(z) = \frac{(10,5083z - 9,5083)}{(z - 1)},$$

$$V_{c_0}(z) = \frac{-9,52 \cdot 10^{-2}}{(z^2 - 0,9048z)}, \quad V_{d_0}(z) = \frac{-0,9048}{(z^2 - 0,9048z)}.$$

Результаты цифрового моделирования процессов изменения выходов модели ($y_m(k)$) и управляемого процесса ($y(k)$) при скачкообразном параметрическом возмущении в момент времени $k = 10$ ($t = 1с$) представлены на рис. 1. В качестве параметрического возмущения принималось изменение коэффициента $a_0 = -0,9084$ до значения $a_0 = -0,8$. Процесс адаптации при этом заключается в настройке коэффициентов a_0 . При значении коэффициентов усиления адаптивного контура $0 < \delta_0 < 0,4$ процесс адаптации остается устойчивым, а при $\delta_0 \geq 0,4$ АСЭМ становится неустойчивой (рис. 2). На рис. 3 приведены процессы изменения величины адаптивного отклонения для $\delta_0 = 0,1$ и $\delta_0 = 0,3$.

Результаты моделирования совпадают с результатами аналитического определения оптимального значения δ_0 , равного 0,315.

На рис. 4 представлены процессы адаптации при скачкообразном изменении времени $k = 10$ ($t = 1с$) коэффициента со значения $b_0 = 9,52 \cdot 10^{-2}$ до значения $b_0 = 0,15$ для различных значений коэффициента δ_0 в адаптивном контуре ($\delta_0 = 0,1; 0,2; 0,3$). Качество моделируемой АСЭМ можно оценить по изменению величины адаптивного отклонения (рис. 5, 6). Из рис. 4 и 5 следует, что ми-

нимальная продолжительность процедуры настройки параметров регулятора и изменений характеристик объекта составляет (при $\delta_0 = 0,3$) примерно 0,4с.

Были также рассмотрены процессы адаптации при одновременном изменении коэффициентов a_0 и b_0 ДПФ объекта (a_0 до $-0,8$; b_0 до $0,15$) при $\delta_0 = 0,3$. Результаты моделирования показывают, что при таком двойном параметрическом возмущении, продолжительность процесса адаптации увеличивается до 3с, однако качество моделируемой АСЭМ остается достаточно высоким.

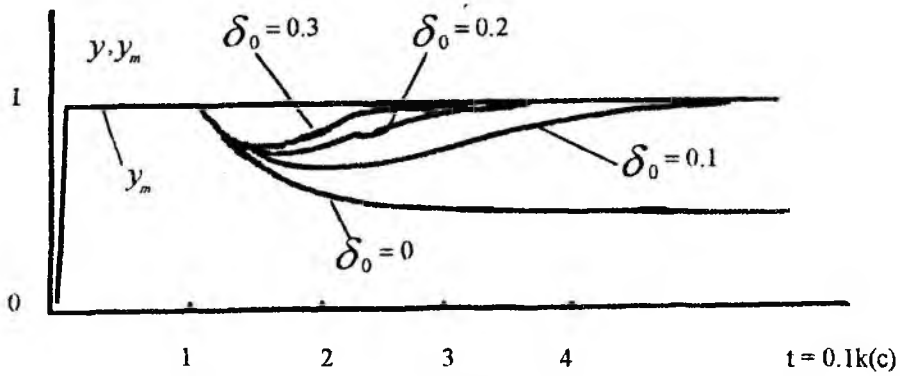


Рис. 1

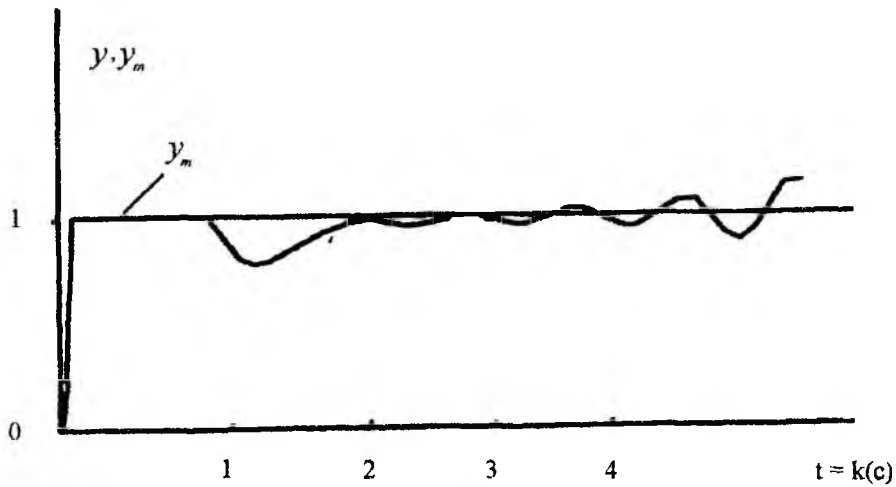


Рис. 2

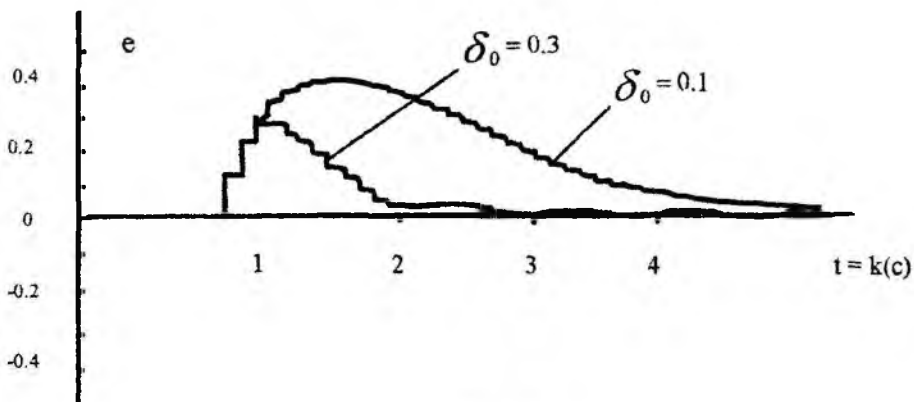


Рис. 3

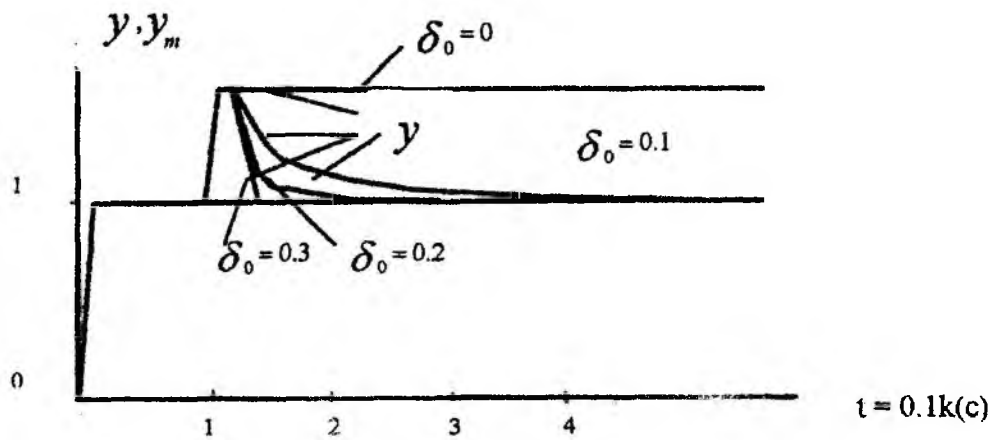


Рис. 4

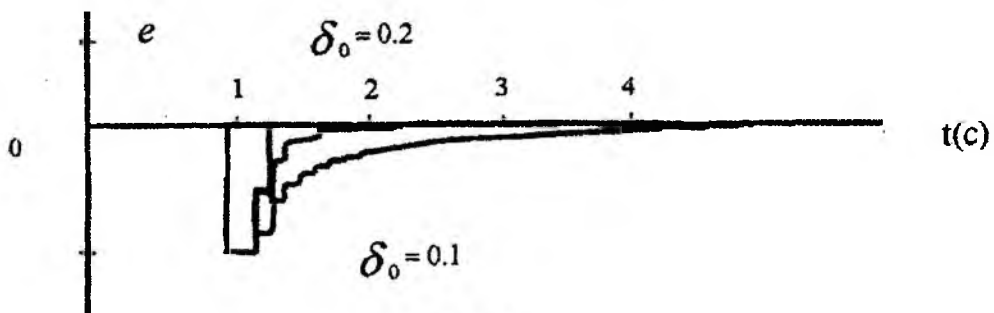


Рис. 5

Приведенный алгоритм адаптивного управления следует считать достаточно робастным по отношению к возникающим параметрическим возмущениям.

Список литературы: 1. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ. К.: Вища школа, 1990. 334 с. 2. Михалев А.И., Иванов Л.Ф., Швачич Г.Г. Исследование адаптивных алгоритмов управления эталонной моделью // "Адаптационные системы автоматического управления": Респ. межвед. науч.-техн. сб. 1984. Вып. 12. С. 36-41.

Поступила в редколлегию 15.03.2001