6. *Мееров М.В.* Адаптивные компенсирующие регуляторы с предиктором Смита // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 10. – С.125-135.
7. *Еремин Е.Л., Чепак Л.В., Теличенко Д.А.* Синтез адаптивных систем для скалярных объектов с запаздыванием по управлению. – Благовещенск: АмГУ, 2006.
8. *Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А.* Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука, 1981.
9. *Еремин Е.Л., Кван Н.В., Семичевская Н.П.* Робастное управление нелинейным объектом с наблюдателем полного порядка и быстродействующей эталонной моделью // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №5(110). – С. 2-6.
10. *Еремин Е.Л.* Робастные алгоритмы нестационарных систем управления с явно-неявной эталонной моделью // Дифференциальные уравнения и процессы управления. – 2001. – № 3. – С. 61-74.

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

E-mail:
Чепак Лариса Владимировна – chepak@inbox.ru

УДК 684.511

© 2012 г. **Е.А. Шеленок**, канд. техн. наук
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

АДАПТИВНО-РОБАСТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ*

Рассматривается синтез комбинированных алгоритмов периодической системы управления нелинейными априорно неопределенными динамическими объектами, работающими при действии возмущений. В качестве методов синтеза используются критерий гиперустойчивости В.М. Попова и неявный периодический эталон.
Ключевые слова: нелинейный объект, априорная неопределенность, периодический режим, критерий гиперустойчивости, генератор периодических сигналов.

Введение

Одним из наиболее важных вопросов современной теории автоматического управления является разработка новых эффективных алгоритмов управления сложными динамическими объектами. Сложность объектов управления может

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009 – 2013 гг. в рамках проекта «Автоматические системы управления периодическими режимами априорно неопределенных, нелинейно-нестационарных динамических объектов» (регистрационный номер: 14.B37.21.1481).

быть обусловлена несколькими факторами. Во-первых, любой реальный технический объект всегда содержит неизвестные параметры, изменяющиеся в зависимости от условий его работы (изменение температуры, давления, массы и т.д.). Во-вторых, в математическом описании манипуляционных роботов, многороторных виброустановок и других устройств присутствуют неизмеримые нелинейности, обусловленные наличием зазоров и люфтов между отдельными элементами. Кроме того, при разработке систем управления различного назначения необходимо учитывать влияние внешних неконтролируемых возмущающих воздействий различной природы, негативно отражающихся на работе системы.

Немаловажной является задача построения периодических систем управления, которые, как известно [1 – 5], характеризуются наличием циклических задающих и возмущающих воздействий на каждом периоде работы. К настоящему времени разработано достаточно много подходов к построению контуров управления подобных систем, среди которых выделяются регуляторы со специальным блоком – генератором периодических сигналов.

В работах [6 – 9] с помощью критерия гиперустойчивости В.М. Попова были получены комбинированные адаптивные алгоритмы, позволившие построить устойчивые системы, формирующие заданные циклические режимы на выходе нелинейно-нестационарных объектов. Однако в случае наличия внешних возмущений непериодического характера указанный тип регулятора не обеспечивал требуемое качество работы систем. В этой связи в работах [10 – 14] были синтезированы нелинейные робастно-периодические законы управления, компенсирующие влияние непериодических возмущений и обеспечивающие высокие показатели качества работы построенных на их базе систем. В ряде случаев, например, при использовании в комбинированной робастной системе дополнительного контура наблюдения [11, 13], в начальный момент времени наблюдается большой скачок сигнала управляющего воздействия, обусловленный свойствами робастной части регулятора, что не всегда приемлемо для технической реализации.

В данной работе, опираясь на результаты [10 – 14, 15, 16], синтезируется адаптивно-робастный контур управления, содержащий блок ГПС с настраиваемым коэффициентом, позволяющим осуществлять точную настройку параметров комбинированного регулятора при управлении нелинейным априорно неопределенным динамическим объектом.

Математическое описание системы

Пусть движение объекта, относящегося к классу нелинейных, описывается системой уравнений

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= Ax(t) + c(y,t) + bu(t) + f(t), \\ y(t) &= L^T x(t), \end{aligned} \tag{1}$$

где $x(t) \in R^n$ – переменные состояния; $y(t) \in R$ – выход объекта; A – некоторая стационарная матрица состояния представимая в виде $A = A_0 + \chi_0 b_0 L^T$; A_0 – гурвицева матрица; $\chi_0 > 0$ – некоторое число; $b_0 = [0, \dots 0, 1]$ – стационарный вектор соответствующего размера; $L \in R^n$ – неизвестный стационарный вектор, формирующий скалярный выход объекта управления и удовлетворяющий условию: полином $l(s) = l_n s^{n-1} + l_{n-1} s^{n-2} + \dots + l_2 s + l_1$ является гурвицевым с положительными коэффициентами; l_i, $i = 1, 2, \dots, n$ – элементы вектора L; $c(y,t)$ – нелинейная векторная функция

$$c^T(y,t) = b_0^T c_n(y,t) = [0, \dots, 0, c_n(y,t)]; \tag{2}$$

$b = b_0$ – стационарный вектор управления; $c_n(y,t)$ – некоторая нелинейная функция, составленная относительно выхода объекта; $f^T(t) = b_0 f_n(t)[0, \dots, 0, f_n(t)]$ – вектор внешних возмущений с элементом, ограниченным по величине

$$|f_n(t)| = |f_{пер}(t) + f_{непер}(t)| < f_0 = const > 0; \tag{3}$$

$f_{пер}(t) = f(t + T)$ и $f_{непер}(t)$ – периодическая и непериодическая составляющие возмущения соответственно.

Условия априорной параметрической неопределенности, в которой протекает функционирование объекта управления (1) – (3) опишем с помощью соотношений

$$A = A(\xi), \; L = L(\xi), \; c(y,t) = c_\xi(y,t), \; f(t) = f_\xi(t), \tag{4}$$

где ξ – вектор неизвестных параметров, принадлежащих известному числовому множеству Ξ.

Для задания желаемого качества переходных процессов объекта управления, аналогично работам [6 – 8, 10], воспользуемся неявным периодическим эталоном

$$\begin{gathered} \frac{dx_0(t)}{dt} = A_0 x_0(t) + b_0 \theta_0(t), \\ y_0(t) = L^T x_0(t) = r(t), \end{gathered} \tag{5}$$

где $x_0(t) \in R^n$ – вектор состояния эталона (требуемое поведение); $y_0(t)$ – выход эталона, совпадающий с периодическим задающим сигналом $r(t) = r(t + T)$; $\theta_0(t) = \theta_0(t + T)$ – неявный T-периодический сигнал (требуемое управление).

Структуру регулятора определим в виде комбинации периодической и робастной частей

$$u(t) = k(t)\theta(t) + u_{роб}(t), \tag{6}$$

где $k(t)$ – настраиваемый коэффициент; $\theta(t)$ – выход генератора периодических сигналов [7]

$$\theta(t) = \theta(t - T) + z(t), \; \theta(s) = 0, \; s \in [-T, 0]; \tag{7}$$

$z(t)$ – рассогласование между выходом эталона (5) и объекта (1) – (3); $u_{роб}(t)$ – робастная часть регулятора.

Постановка задачи

Для системы управления (1) – (3), (5) – (7), работающей в условиях неопределенности (4), требуется синтезировать явный вид робастной части $u_{роб}(t)$ и алгоритма настройки параметра $k(t)$ регулятора (6) – (7), которые обеспечат при любых начальных условиях, любом уровне априорной неопределенности $\xi \in \Xi$, а также любых ограниченных внешних возмущениях $f(t)$ выполнение целевых условий

$$\begin{aligned}
&\lim_{t\to\infty} |k(t)| \le k_0,\\
&\lim_{t\to\infty} \theta(t) = \theta_0(t) = \theta(t+T), \qquad\qquad (8)\\
&\lim_{t\to\infty} |z(t)| = \lim_{t\to\infty} |r(t) - y(t)| \le z_0,
\end{aligned}$$

где $k_0 = const > 0$; $z_0 = const > 0$ – некоторые относительно малые числа.

Синтез алгоритмов управления

Следуя известной схеме критерия гиперустойчивости В.М. Попова, выполним ряд типовых этапов синтеза требуемой системы управления.

Первый этап. Запишем с учетом (6), (7) уравнения рассогласования эталонной модели (5) и объекта управления (1) – (3)

$$\begin{aligned}
&\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = A_0\varepsilon(t) + b_0\mu(t),\ z(t) = L^T\varepsilon(t) = r(t) - y(t), \qquad\qquad (9)\\
&\mu(t) = -[k(t)\theta(t) - \tilde{\theta}(t)] - \chi_0 y(t) - f_{непер}(t) - u_{роб}(t),
\end{aligned}$$

где $\varepsilon(t) = x_0(t) - x(t)$ – сигнал невязки; $\tilde{\theta}(t) = \tilde{\theta}(t+T)$ – периодический сигнал

$$\tilde{\theta}(t) = \theta_0(t) + c_n(y,t) + f_{пер}(t).$$

Второй этап. Обеспечим выполнение требований вещественности и строгой положительности линейной стационарной части (ЛСЧ) эквивалентной системы (9). Рассмотрим ее передаточную функцию

$$W_{ЛСЧ}(\lambda) = \frac{L^T(\lambda E - A_0)^+ b_0}{\det(\lambda E - A_0)} = \frac{\alpha(\lambda)}{\beta(\lambda)}, \qquad (10)$$

где $(\lambda E - A_0)^+$ – присоединенная матрица; $\alpha(\lambda)$, $\beta(\lambda)$ – полиномы степени $(n-1)$ и n соответственно.

Известно [8, 10], что за счет выбора положительных коэффициентов вектора L можно обеспечить гурвицевость полинома $\alpha(\lambda)$. В этом случае всегда найдется достаточно большое число $\chi_0 > 0$, такое что

$$W_{ЛСЧ}(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda)}{\beta(\lambda) + \chi_0\alpha(\lambda)} \cong \frac{1}{\lambda + \chi_0}.$$

Тогда выполнение частотного условия

$$\begin{aligned}
&\mathrm{Re}\big[W_{ЛСЧ}(j\omega)\big] > 0, \qquad\qquad (11)\\
&\forall\omega(-\infty;\ \infty)
\end{aligned}$$

оказывается очевидным.

Третий этап. Выполним требования, касающиеся нелинейной нестационарной части (ННЧ) исследуемой системы (9). Для этого обеспечим существование справедливого интегрального неравенства В.М. Попова

$$\eta(0,t) = -\int_0^t \mu(\varsigma)z(\varsigma)d\varsigma = -\sum_i \int_0^t \mu_i(\varsigma)z(\varsigma)d\varsigma \geq -\gamma_0^2 = const, \ \forall t > 0 \tag{12}$$

за счет синтеза алгоритмов регулятора (6).

Следуя [15], воспользуемся модификацией неравенства (12)

$$\overline{\eta}(0,t) = -\sum_i \int_0^t \mu_i(\varsigma)Q_i(z(\varsigma))z(\varsigma)d\varsigma \geq -\gamma_0^2 = const, \forall t > 0, \tag{13}$$

где $Q_i(z(t))$ – положительно определенные функции.

С учетом второго уравнения системы (9) модифицированное интегральное неравенство В.М. Попова (МИНП) примет вид

$$\begin{aligned} \overline{\eta}(0,t) &= -\sum_{i=1}^{4} \overline{\eta}_i(0,t) = \\ &= \int_0^t [k(\varsigma)\theta(\varsigma) - \widetilde{\theta}(\varsigma)]z(\varsigma)d\varsigma + \int_0^t y(\varsigma)\,|\,y(\varsigma)\,\|\,z(\varsigma)\,|\,z(\varsigma)d\varsigma + \\ &+ f_0^{-1}\int_0^t f_{непер}(\varsigma)\,|\,z(\varsigma)\,|\,z(\varsigma)d\varsigma + \int_0^t u_{роб}(\varsigma)z(\varsigma)d\varsigma, \end{aligned} \tag{14}$$

в котором функции $Q_i(z(t))$ заданы соотношениями

$$Q_1(z(t)) = Q_4(z(t)) = 1, Q_2(z(t)) = \chi_0^{-1}\,|\,y(t)\,\|\,z(t)\,|, \ Q_3(z(t)) = f_0^{-1}\,|\,z(t)\,|.$$

Рассматривая первое слагаемое из (14)

$$\overline{\eta}_1(0,t) = \int_0^t [k(\varsigma)\theta(\varsigma) - \widetilde{\theta}(\varsigma)]z(\varsigma)d\varsigma\,,$$

а также учитывая явный вид генератора периодических сигналов (7), как и в [16], можно показать, что синтез алгоритма настройки параметра $k(t)$ с помощью выражения

$$\begin{aligned} &\frac{dk(t)}{dt} = \alpha_0\theta(t)z(t), \\ &\alpha_0 = const > 0 \end{aligned} \tag{15}$$

позволяет получить справедливую оценку

$$\eta_1(0,t) \geq -\gamma_{01}^2, \ \forall t > 0. \tag{16}$$

Второе и третье слагаемые выражения (14) оценим следующим образом:

$$\begin{aligned} \overline{\eta}_2(0,t) &= \int_0^t y(\varsigma)\,|\,y(\varsigma)\,\|\,z(\varsigma)\,|\,z(\varsigma)d\varsigma \pm \alpha_1\int_0^t |\,y(\varsigma)\,|^{\beta}\,|\,z(\varsigma)\,|^2 \,d\varsigma \geq \\ &\geq -\alpha_1\int_0^t |\,y(\varsigma)\,|^{\beta}\,|\,z(\varsigma)\,|^2 \,d\varsigma\,; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{\eta}_3(0,t) &= f_0^{-1}\int_0^t f_{непер}(\varsigma)\,|\,z(\varsigma)\,|\,z(\varsigma)d\varsigma \pm \alpha_2\int_0^t |\,z(\varsigma)\,|^2 \,d\varsigma \geq \\ &\geq -\alpha_2\int_0^t |\,z(\varsigma)\,|^2 \,d\varsigma\,; \end{aligned}$$

где $\alpha_1 = const > 0,\ \alpha_2 = const > 0,\ \beta = const > 1.$

Объединив полученные оценки с четвертым слагаемым правой части (14), получим

$$\overline{\eta}_5(0,t) = \overline{\eta}_2(0,t) + \overline{\eta}_3(0,t) + \overline{\eta}_4(0,t) \ge$$
$$\ge \int_0^t \Big[u_{роб}(\varsigma)\,\mathrm{sgn}(z(\varsigma)) - \alpha_1 \,|\, y(\varsigma)\,|^\beta \,|\, z(\varsigma)\,| - \alpha_2 \,|\, z(\varsigma)\,| \Big] |\, z(\varsigma)\,|\, d\varsigma, \tag{17}$$

где sgn($z(t)$) – функция знака числа.

Обнуляя выражение в квадратных скобках подынтегральной функции (17), получим явный вид робастной части комбинированного регулятора (6)

$$u_{роб}(t) = [\alpha_1 \,|\, y(t)\,|^\beta + \alpha_2]\, z(t), \tag{18}$$

который не будет противоречить существованию оценок

$$\overline{\eta}_2(0,t) + \overline{\eta}_3(0,t) + \overline{\eta}_4(0,t) \ge -\gamma_{02}^2,\ \ \forall t > 0,$$
$$\overline{\eta}_1(0,t) + \overline{\eta}_2(0,t) + \overline{\eta}_3(0,t) + \overline{\eta}_4(0,t) \ge -\gamma_0^2,\ \ \forall t > 0,$$

соответствующих выполнению МИПН (13), и, следовательно, неравенства (12).

Четвертый этап. В силу присутствия в системе управления постоянно действующих возмущений, для технической реализации интегрального алгоритма самонастройки (15) произведем его огрубление с помощью нелинейного элемента с зоной нечувствительности. Получим

$$\frac{dk(t)}{dt} = \begin{cases} \alpha_0 \theta(t) z(t), & \forall \,|\, z(t)\,| > \varphi, \\ 0, & \forall \,|\, z(t)\,| < \varphi, \end{cases} \tag{19}$$

где $\varphi = const > 0$ – величина зоны нечувствительности.

Поскольку для рассматриваемой эквивалентной системы управления при синтезированных алгоритмах управления (15), (19) выполнены требования вещественности и строгой положительности (11), а также существует справедливое интегральное неравенство (12), то исходная система (1) – (3), (5) – (7), (15), (19) в заданном классе априорной неопределенности Ξ является гиперустойчивой и для нее будут справедливы целевые условия (8).

Пример работы системы

В качестве иллюстрации работы синтезированной системы (1) – (3), (5) – +(7), (15), (19) рассмотрим задачу управления нелинейным объектом (1) с матрицами и векторами вида

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \end{pmatrix};\ b = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix};\ c(t,y) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ c_4(y,t) \end{pmatrix};\ \ f(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ f_4(t) \end{pmatrix};$$

$$c_4(y,t) = y^r(t) + dy^v(t); \quad f_4(t) = f_{4пер}(t) + f_{4непер}(t),$$

$$f_{4пер}(t) = |\,1{,}2 \cdot \sin 0{,}4\pi t\,|^\lambda; \ \ f_{4непер}(t) = |\sin 0{,}4\pi t\,|^\lambda \ \upsilon \cdot \sin 2\,t \cdot \cos 2\,t;$$

Уровень априорной неопределенности рассматриваемого объекта зададим с помощью неравенств

$$
\begin{aligned}
&a_1^- = -10 \le a_1 \le 5 = a_1^+;\\
&a_2^- = -12 \le a_2 \le -1 = a_2^+;\\
&a_3^- = -1 \le a_3 \le 25 = a_3^+;\\
&a_4^- = -20 \le a_4 \le 10 = a_4^+;\\
&r^- = 2 \le r \le 7 = r^+;\\
&v^- = 3 \le v \le 5 = v^+;\\
&d^- = -2 \le d \le 5 = d^+;\\
&\lambda^- = 1 \le r \le 6 = \lambda^+;\\
&\upsilon^- = 0{,}1 \le \upsilon \le 2{,}5 = \upsilon^+.
\end{aligned} \tag{20}
$$

Сформируем задающее воздействие в виде периодической функции

$$r(t) = r(t+T) = |\sin 0{,}4\pi t| \cdot (1{,}1 - 0{,}1\cos 4\pi t)^5$$

и промоделируем систему при следующих параметрах

$$
\begin{aligned}
&a_1 = 2; && r = 3;\\
&a_2 = -10; && v = 5;\\
&a_3 = 24; && d = -0{,}2;\\
&a_4 = -18; && \lambda = 3;\ \ \upsilon = 1.5.
\end{aligned} \tag{21}
$$

Результаты вычислительного эксперимента, при котором параметры контура управления были выбраны со значениями

$$
\begin{aligned}
&\alpha_0 = 50000; \qquad \alpha_1 = 10;\\
&\varphi = 0.001;\ \ T = 2.5;\ \ \alpha_2 = 5;\ \ \beta = 1.5,
\end{aligned} \tag{22}
$$

проиллюстрированы в соответствии с рис. 1 – 5.

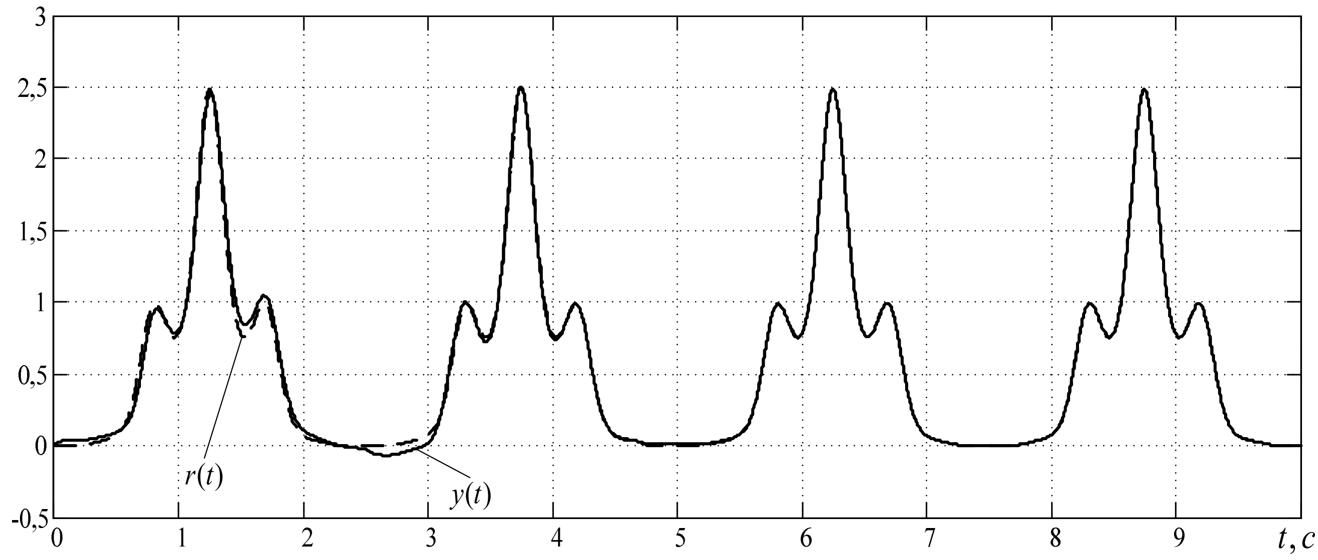

Рис. 1. Сигналы задающего воздействия $r(t)$ и выхода объекта управления $y(t)$.

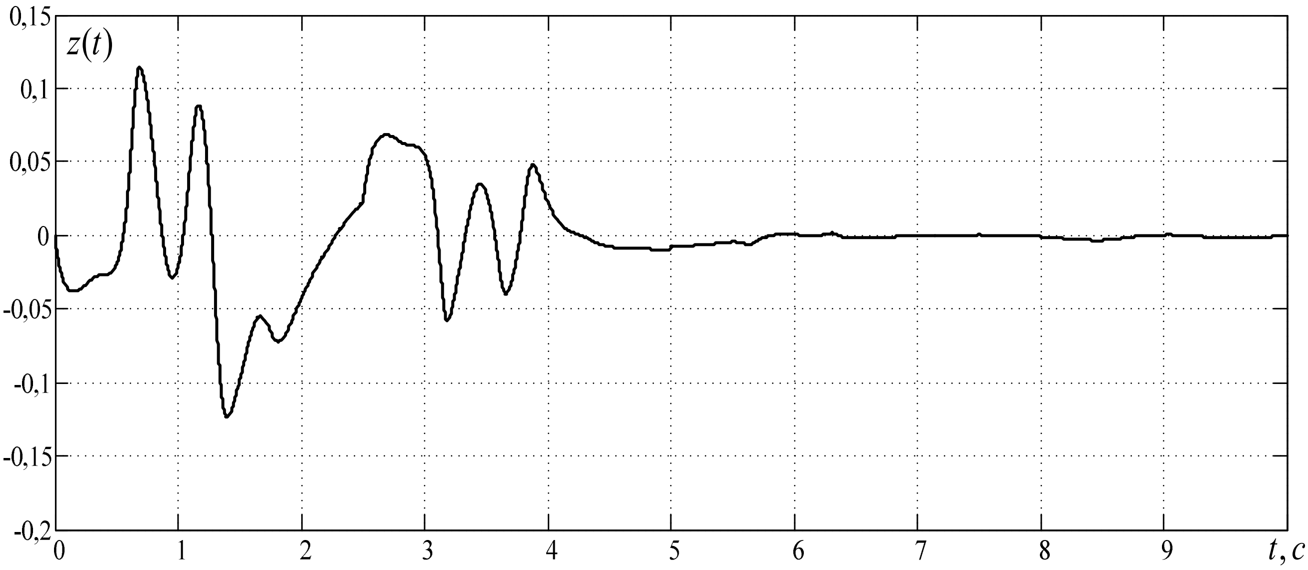

Рис. 2. Ошибка регулирования.

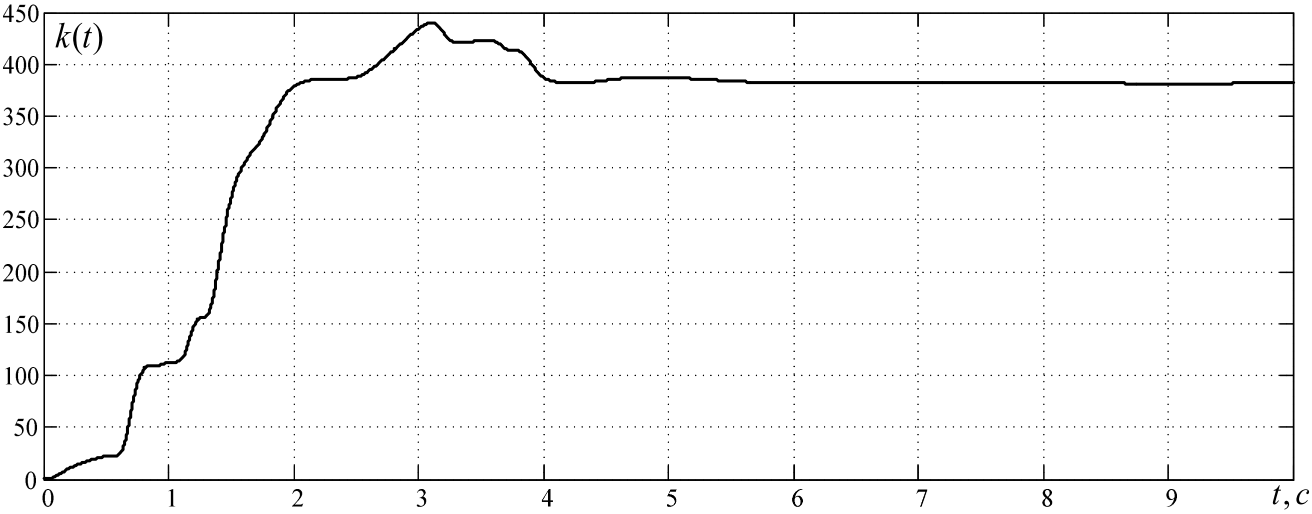

Рис. 3. Процесс настройки параметра *k*(*t*).

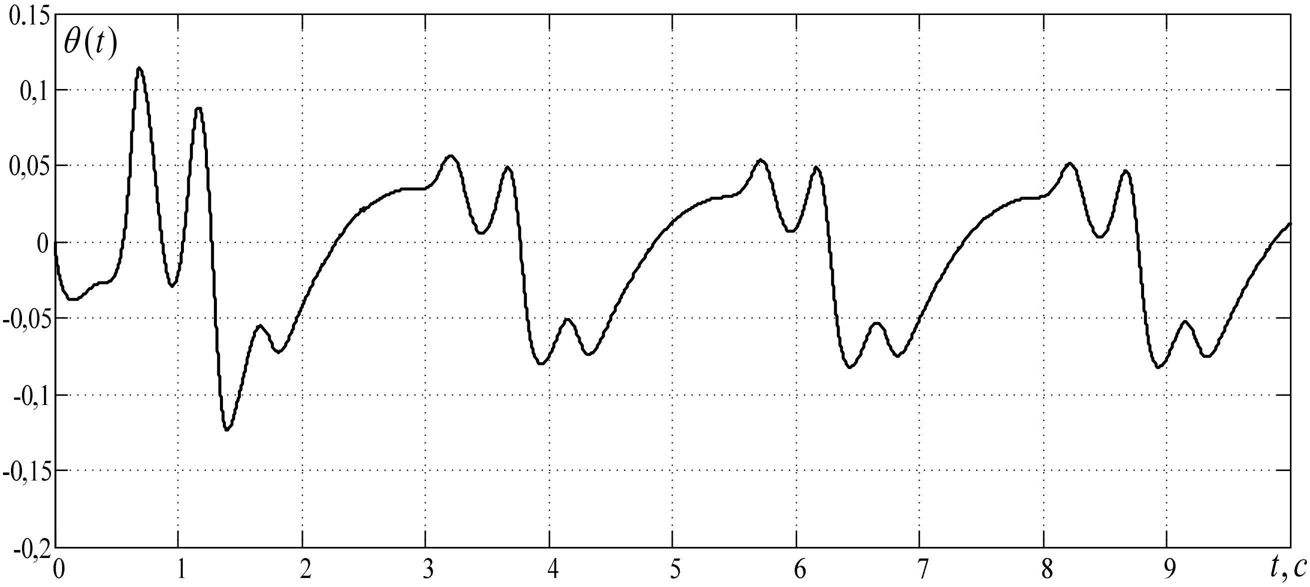

Рис. 4. Выход генератора периодических сигналов.

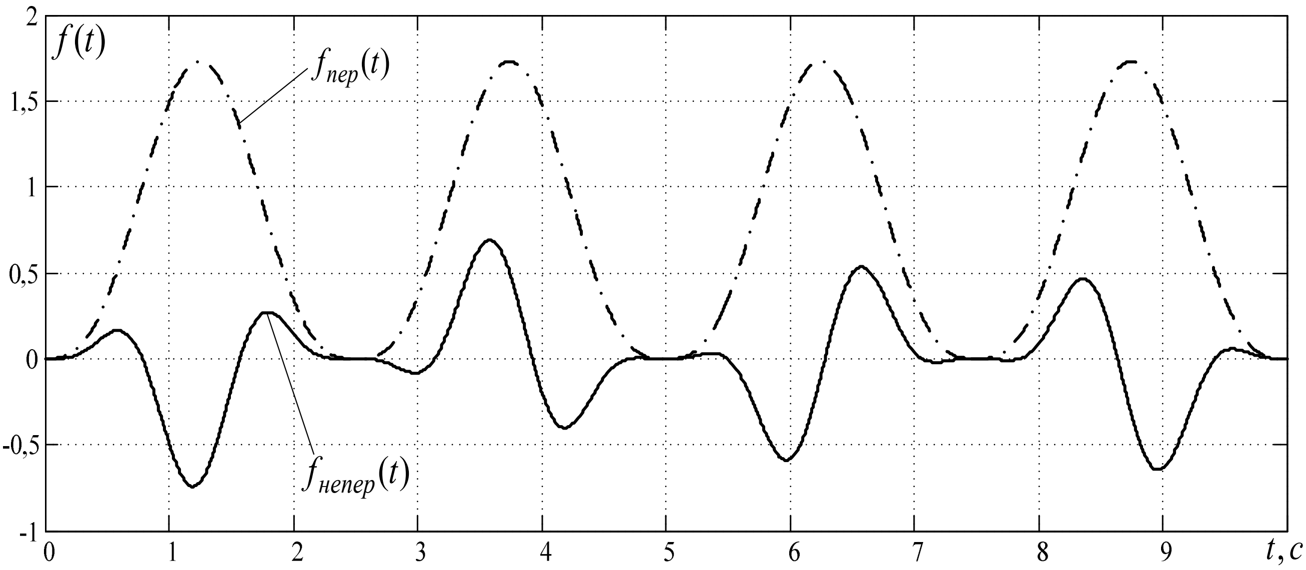

Рис. 5. Сигналы внешних возмущений.

Представленные результаты имитационного моделирования свидетельствуют о хорошем качестве работы системы с предложенным комбинированным регулятором. Синтезированные алгоритмы (18), (19) с постоянными коэффициентами (22) при действии на объект ограниченных возмущений (рис. 5) позволяют:

добиться малой величины ошибки регулирования, которая после второго цикла работы системы (в установившемся режиме) является практически нулевой;

выполнить поставленные целевые условия (8), касающиеся параметров регулятора $k(t)$ и $\theta(t)$ (см. рис. 3 и 4 соответственно).

Заключение

Решена задача синтеза периодической системы управления скалярными нелинейными априорно неопределенными динамическими объектами, подверженными действию внешних помех. Использование интегрального алгоритма самонастройки коэффициента генератора периодических сигналов $k(t)$ позволяет обеспечить более тонкую настройку параметров регулятора (в сравнении, например, с [10]) и, как следствие, добиться высокого качества динамических характеристик системы управления.

Предложенный контур управления также может быть использован при управлении другими сложными объектами. Например, с недоступными переменными состояния, запаздываниями и нестационарными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Закс В.С.* Об одной возможности повышения точности регулирования в следящих системах циклического действия // Автоматика и телемеханика. – 1981. – №1. – С.170-174.
2. *Repetitive* Control System: A New Type Servo System for Periodic Exogenous Signals / Shinji Hara, Yutaka Yamamoto, Tohru Omara, Micho Nakato // IEEE Transactions on automatic control. – 1988. – Vol. 33, №7. – P. 659-668.

3. *Generating* Self-Excited Oscillations via Two-Relay Controller / Luis T. Aguilar, Igor Boiko, Leonid Fridman, Rafael Iriarte // IEEE Transactions on automatic control. – 2009. – Vol. 54, №2. – P.416-420.
4. *Zhen Zhang, Andrea Serrani.* Adaptive Robust Output Regulation of Uncertain Linear Periodic Systems // IEEE Transactions on automatic control. – 2009. – Vol. 54, №2. – P.266-278.
5. *Quan Quan, Kai-Yan Cai.* A Survey of Repetitive Control for Nonlinear Systems // Science Foundation in China. – 2010. – Vol. 18, №2. – P. 45-53.
6. *Еремин Е.Л.* Нелинейные преобразования алгоритмов прямого адаптивного управления непрерывными объектами: Автореф. дис. …д-ра техн. наук. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 1994.
7. *Еремин Е.Л.* Новый тип алгоритмов параметрической настройки адаптивных регуляторов для систем управления нестационарными *T*-периодическими объектами // Информатика и системы управления. – 2003. – № 2(06). – С.100-110.
8. *Еремин Е.Л., Капитонова М.С.* Адаптивная система управления *T*-периодическими нелинейными объектами // Проблемы управления. –2007. – №1. – С.2-7.
9. *Капитонова М.С.* Адаптивное управление периодическим движением однозвенного робота-манипулятора // Информатика и системы управления. – 2007. – №1(13). – С.161-170.
10. *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.
11. *Лелянов 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.
12. *Еремин Е.Л., Теличенко Д.А., Шеленок Е.А.* Циклический режим в системе робастного управления манипулятором Барретта // Вестник Тихоокеанского государственного университета – 2010. – №3(18). – С.23-32.
13. *Шеленок Е.А.* Гибридная система управления нелинейным скалярным объектом в циклических режимах // Информатика и системы управления. – 2010. – №3(25). – С.147-156.
14. *Еремин Е.Л., Теличенко Д.А., Шеленок Е.А.* Периодические режимы в схемах децентрализованного адаптивного и робастного управления // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2011. – №1. Вып. 35. – С. 57-66.
15. *Галаган Т.А., Еремин Е.Л., Семичевская Н.П.* Нелинейное робастное управление нестационарными объектами. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2006.
11. *Еремин Е.Л., Чепак Л.В.* Адаптивная периодическая система управления электроприводом подачи токарных станков // Информатика и системы управления. – 2010. – №3(25). – С. 137-146.

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

E-mail:
Шеленок Евгений Анатольевич – cidshell@mail.ru