

УДК 681.51

Т.А. Мотиенко**СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Рассмотрена процедура синергетического синтеза астатического регулятора на основе методов синергетической теории управления. Использование синергетического подхода позволяет разработать принципиально новый класс нелинейных регуляторов, обеспечивающих асимптотическую устойчивость движения летательных аппаратов, а также инвариантность к внешним возмущениям. В основе этого подхода лежит базовый принцип асимптотического перехода от одного инвариантного многообразия к другому с последовательным понижением размерности многообразий.

Астатический регулятор; синергетика.

Т.А. Motienko**SYNERGETIC SYNTHESIS OF CONTROL LAWS FOR THE MOVEMENT
OF THE AIRCRAFT**

In this article the procedure synergistic synthesis astatic regulator based on the methods of synergetic control theory was considered. The use of a synergetic approach allow to development of fundamentally new class of nonlinear astatic regulators to ensure the asymptotic of motion of the aircraft, as well as invariance to external perturbations. At the heart of this approach the base principle of asymptotic transition from one invariant diversity to another with consecutive reduction of dimensions of a quantity of diversities lays.

Astatic regulator; synergetic.

Системы автоматического управления полетом занимают важное место на современных летательных аппаратах (ЛА). Без этих систем невозможно эффективное применение авиации. Современный этап развития систем управления характеризуется широким внедрением принципов адаптации, применением бортовых цифровых устройств для формирования алгоритмов управления и контроля, применением систем встроенного контроля состояния самолета в полете, повышением надежности средств получения и переработки информации и исполнения команд управления. При синтезе системы управления необходимо учитывать динамические свойства ЛА, описываемые их математическими моделями, и возмущения, действующие на ЛА в полете.

На динамические объекты в реальных условиях эксплуатации со стороны технологической и природной среды действует целый комплекс внешних факторов, сказывающихся в конечном итоге на их надежности, способности выполнять возложенные на них функции и т.д. Так, например, могут меняться значения параметров; некоторые переменные, которые нужно оценивать, физически не измеряемы; на объект могут действовать различные внешние возмущения. В этой связи возникает необходимость построение таких законов управления, которые бы могли предсказать и компенсировать указанные нежелательные эффекты.

Синергетическая теория позволяет эффективно решать задачи адаптивного управления [1]. При этом структура управления не задается, а получается естественным путем, как результат совместного решения задачи управления и идентификации в соответствии с процедурой метода АКАР – нелинейная адаптация на многообразиях.

Построение астатического регулятора состоит в применении синергетического принципа расширения пространства состояния за счет учета динамики внешних возмущений.

Математическая модель синтеза описывается следующими уравнениями [2, 3, 4]:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= \frac{u_1 - m \cdot g \cdot \sin(x_2) - C_x(u_2) \cdot \frac{\rho \cdot x_1^2}{2} \cdot S}{m}; \\ \dot{x}_2(t) &= \frac{C_y(u_2) \cdot \frac{\rho \cdot x_1^2}{2} \cdot S - m \cdot g \cdot \cos(x_2) + m_0}{m \cdot x_1}; \\ \dot{x}_3(t) &= x_1 \cdot \cos(x_2); \\ \dot{x}_4(t) &= x_1 \cdot \sin(x_2), \\ \dot{x}_5(t) &= k(x_2 - x_2^*),\end{aligned}\tag{1}$$

где u_1 – сила тяги, u_2 – угол атаки, x_1 – земная скорость, x_2 – угол наклона траектории, x_3 – координата, x_4 – высота полета, x_5 – оценка возмущения, выполняемая регулятором, m – масса ЛА, ρ – плотность воздуха, g – ускорение свободного падения, $C_x(\alpha)$ и $C_y(\alpha)$ – коэффициенты аэродинамических сил, аппроксимированные следующими функциями угла атаки: $C_x(\alpha) = a_0 + a_1 \cdot \alpha$, $C_y(\alpha) = b_0 + b_1 \cdot \alpha$.

Согласно синергетической теории управления, введем первую совокупность инвариантных многообразий следующим образом:

$$\begin{aligned}\psi_1 &= x_1 - x_1^*; \\ \psi_2 &= x_1^* \cdot \sin(x_2) - \varphi_1.\end{aligned}\tag{2}$$

Потребуем, чтобы совокупность макропеременных (2) удовлетворяла решению системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}T_1 \frac{d\psi_1}{dt} + \psi_1 &= 0; \\ T_2 \frac{d\psi_2}{dt} + \psi_2 &= 0.\end{aligned}\tag{3}$$

Декомпозированная система на пересечении многообразий примет следующий вид:

$$\begin{aligned}\dot{x}_3(t) &= x_1^* \cdot \sqrt{1 - \frac{\varphi_1}{x_1^{*2}}}; \\ \dot{x}_4(t) &= \varphi_1; \\ \dot{x}_5(t) &= k \cdot (\arcsin(\varphi_1/x_1^*) - x_1^*).\end{aligned}\tag{3}$$

Здесь φ_1 рассматривается как внутреннее управляющее воздействие.

Введем еще одно инвариантное многообразие в виде

$$\psi_3 = x_4 - \beta \cdot x_3 = 0. \quad (4)$$

Решим функциональное уравнение

$$T_3 \cdot \dot{\psi}_3 + \psi_3 = 0. \quad (5)$$

Откуда

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \frac{\beta(-2\beta^2 x_3 + 2\beta x_4 + 2\sqrt{T_3^2 \beta^2 x_1^* + x_1^* T_3^2 + 2x_4 \beta x_3 - \beta^2 x_3^2 - x_4^2})}{\beta^2 + 1} - (x_4 + \beta x_3) / T_3. \quad (6)$$

Для нахождения управляющих воздействий u_1 и u_2 решаем следующие функциональные уравнения, подставляя полученное φ_1 :

$$T_1 \frac{d\psi_1}{dt} + \psi_1 = 0; \quad (7)$$

$$T_2 \frac{d\psi_2}{dt} + \psi_2 = 0.$$

Подставив полученные выражения в расширенную модель объекта, установив постоянные параметры регулятора и задав инварианты, получим замкнутую систему.

Модель замкнутой системы с учетом параметров системы имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= \frac{u_1 - mg \sin(x_2) - \frac{1}{2}(0.026 + 0.072u_2)\rho x_1^2 S}{m}; \\ \dot{x}_2(t) &= \frac{\frac{1}{2}(0.1009 + 0.0897u_2)\rho x_1^2 S - mg \cos(x_2) + m_0}{mx_1}; \\ \dot{x}_3(t) &= x_1 \cos(x_2); \\ \dot{x}_4(t) &= x_1 \sin(x_2); \\ \dot{x}_5(t) &= k(x_2 - x_2^*), \end{aligned} \quad (8)$$

где $m = 1500 \text{ кг}$; $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$; $S = 17 \text{ м}^2$; $g = 9,8 \text{ м/с}$; $a_0 = 0,026$; $a_1 = 0,0072$; $b_0 = 0,1009$; $b_1 = 0,0897$.

При моделировании вместо оценки возмущения x_5 в правую часть уравнения управляемой переменной вводим кусочно-постоянное возмущение $m_0 = 5$, коэффициент $k = 2$.

Исходные данные для моделирования: инварианты: $x_1^* = 80 \text{ м/с}$; $x_4 = kx_3$; параметры регулятора: $T_1 = 5$; $T_2 = 5$; $T_3 = 5$; $\beta = 2$.

Начальные условия при моделировании: $x_1(0) = 50 \text{ м/с}$; $x_2(0) = 0^\circ$; $x_3(0) = 0 \text{ м}$; $x_4(0) = 50 \text{ м}$.

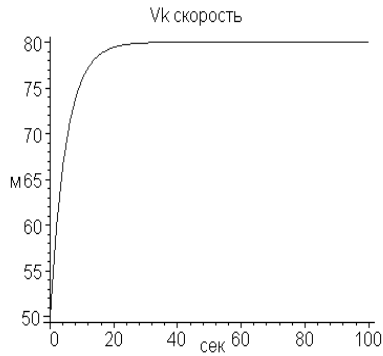


Рис. 1. Изменение скорости полета по времени

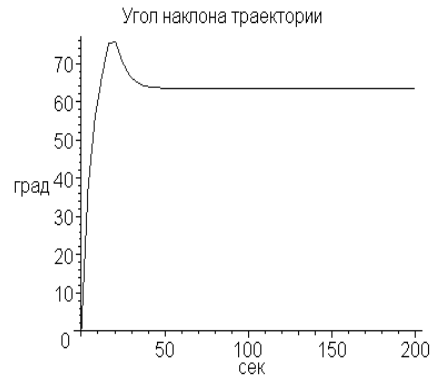


Рис. 2. Изменение угла наклона траектории θ по времени

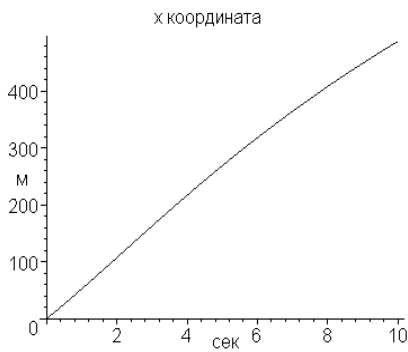


Рис. 3. Изменение x координаты полета

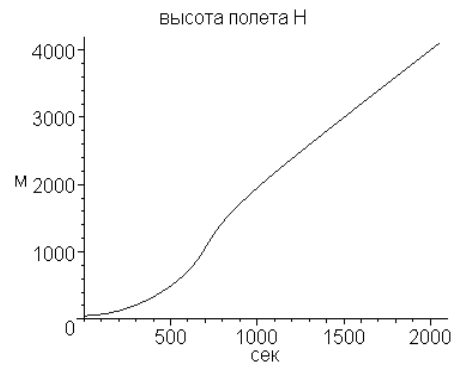


Рис. 4. Изменение высоты по времени полета

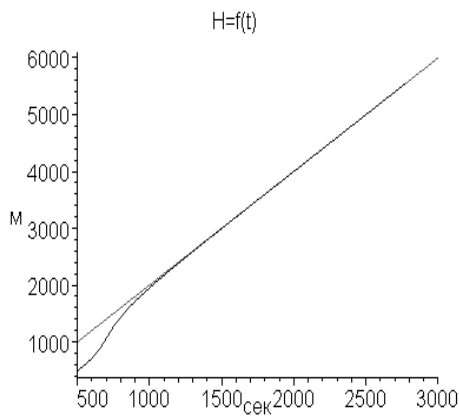


Рис. 5. Изменение высоты полета H от x

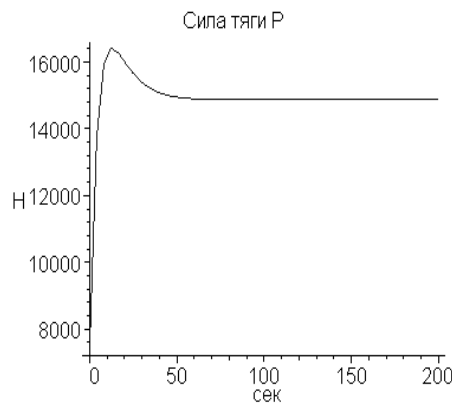


Рис. 6. Изменение силы тяги по времени полета

Таким образом, использование синергетического подхода позволило разработать принципиально новый астатический нелинейный регулятор, обеспечивающий асимптотическую устойчивость движения ЛА, а также инвариантность к внешним

возмущениям [5]. Это объясняется тем, что в основе синергетического подхода лежит базовый принцип асимптотического перехода от одного инвариантного многообразия к другому с последовательным понижением размерности многообразий. При этом не возникает необходимости строгого соответствия параметров реального объекта параметрам модели, заложенной в регулятор, необходимо лишь, чтобы замкнутая система попадала в область притяжения инвариантных многообразий, на которых обязательно поддерживается требуемое конечное состояние.

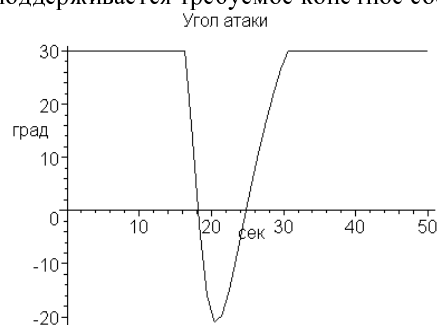


Рис. 7. Изменение угла атаки α по времени полета

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников А.А. и др. Современная прикладная теория управления. Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч. II.
2. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика самолета. Динамика продольного и бокового движения. – М.: Машиностроение, 1979.
3. Попов А.Н. Математические модели летательных аппаратов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2008.
4. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета: траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969.
5. Колесников А.А. Синергетические методы управления авиационными объектами и системами // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – № 8.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Тютиков.

Мотиенко Татьяна Александровна

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: tatyana@motienko.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634318090.

Motienko Tatyana Aleksandrovna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: tatyana@motienko.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634318090.