УДК 519.714

МЕТОД СЕТЕВОГО ОПЕРАТОРА В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ СО СЛУЧАЙНЫМИ НАЧАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ*

А.И. Дивеев[1], Е.А. Софронова[2],
Фам Суан Фанг[3]

[1]Вычислительный центр им. А.А. Дородницына
Российской академии наук
ул. Вавилова, 40, Москва, Россия, 119333

[2]Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

[3]Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
ул. 2-я Бауманская, 5, Москва, Россия, 105005

Рассмотрена общая задача синтеза системы управления для объекта со случайными начальными значениями. Предложено для решения задачи использовать метод сетевого оператора. Приведен пример решения задачи синтеза системы управления для летательного аппарата на этапе посадки.

Ключевые слова: синтез управления, метод сетевого оператора.

Задача синтеза системы управления с технической точки зрения состоит в построении блока управления, который на основе сигналов датчиков определяет состояние объекта и вырабатывает управляющие воздействия для реализации цели управления с учетом всех требований и особенностей функционирования. Синтезирующая функция, получаемая в результате решения задачи синтеза, практически описывает алгоритм работы блока управления.

Общая задача синтеза управления заключается в том, чтобы найти одну синтезирующую функцию для множества начальных значений. Такая функция при ее реализации на бортовом компьютере позволит достичь цели управления, несмотря на неточное знание текущего состояние объекта управления.

Одна из проблем постановки общей задачи синтеза управления заключается в формировании критерия качества, поскольку для разных начальных состояний объекта управления можно получать различные значения критерия. Формирование общего критерия качества позволяет использовать для решения задачи синтеза численные методы поиска оптимальной синтезирующей функции.

В настоящей работе рассматривается общая задача синтеза управления с учетом вероятностей начальных состояний. Знание вероятностей позволяет построить общий критерий качества для синтеза управления в виде суммы частных критериев с коэффициентами, равными вероятностям начальных состояний.

Рассмотрим общую задачу синтеза управления

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x},\mathbf{u}), \tag{1}$$

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}^0,$$

где $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{u} \in \mathrm{U} \subseteq \mathbb{R}^m$, U — ограниченное замкнутое множество.

* Работа выполнена по гранту РФФИ № 11-08-00532-а.

Задано терминальное многообразие

$$\varphi_i\left(\mathbf{x}\left(t_f\right)\right)=0,\ \ i=\overline{1,l}, \tag{3}$$

где t_f — время окончания процесса управления.

Задан критерий качества управления

$$J=\int_0^{t_f} f_0\left(\mathbf{x}(t),\mathbf{u}(t)\right)dt\to\min. \tag{4}$$

Необходимо найти управление в виде

$$\mathbf{u}=\mathbf{h}(\mathbf{x}), \tag{5}$$

где $\mathbf{h}(\mathbf{x}):\ \mathbb{R}^n\to\mathbb{R}^m,$ которое обеспечивает выполнение терминальных условий (3), удовлетворяет ограничениям на управление $\forall t\in\left[0,t_f\right],\ \ \mathbf{h}\left(\mathbf{x}(t)\right)\in \mathrm{U}$ и минимизирует функционал (4).

Пусть в задаче (1)—(5) начальные условия известны не точно

$$\mathbf{x}\left(0\right)=\mathbf{x}^0+\xi^0, \tag{6}$$

где ξ^0 — случайный вектор с известной функцией плотности распределения $p\left(\xi\right)$.

Значение функционала (4) и вид синтезирующей функции (5) зависят от начальных условий (6). Задача в постановке (1), (6), (3)—(5) не корректна.

Изменим формулировку задачи синтеза. Пусть

$$\mathbf{x}\left(0\right)\in \mathrm{X}_0\subset\mathbb{R}^n, \tag{7}$$

где X_0 — область начальных значений.

Разобьем область X_0 на конечное число N подобластей

$$\mathrm{X}_0=\bigcup_{i=1}^{N}\mathrm{X}_{0,\,i},\ \ \bigcap_{i=1}^{N}\mathrm{X}_{0,\,i}=\varnothing. \tag{8}$$

Вычислим вероятность $P_i\left(\xi\in \mathrm{X}_{0,i}\right)$

$$P_i=\int\limits_{\mathrm{X}_{0,\,i}}\!\!\ldots\!\int p\left(\xi\right)d\xi_1\ldots d\xi_n. \tag{9}$$

Определим начальные условия для каждой подобласти

$$\mathbf{x}^{0,i}=\mathbf{x}^0+\overline{\xi}^i,\ \ i=\overline{1,N}, \tag{10}$$

где $\overline{\xi}^{0,i}$ — математическое ожидание случайного вектора ξ^0 для подобласти $\mathrm{X}_{0,\,i}$

$$\overline{\xi}_j^{0,i}=\int\limits_{\mathrm{X}_{0,i}}\!\!\ldots\!\int \xi_j p\left(\xi\right)d\xi_1\ldots d\xi_n,\ \ i=\overline{1,N}, \tag{11}$$

где $\overline{\xi}_j^{0,i}$ — компонента вектора $\overline{\xi}^{0,i}=\left[\overline{\xi}_1^{0,i}\ \ \ldots\ \ \overline{\xi}_n^{0,i}\right]^T,\ \ i=\overline{1,N}.$

Заменим функционал (4) соотношением

$$J_1 = \sum_{i=1}^{N} P_i \left(\int_0^{t_f} f_0\left(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}\right) dt \right)_{\mathbf{x}^{0,i}} \to \min, \qquad (12)$$

где $(\ldots)_\alpha$ означает вычисление соотношения в скобках для решения системы (1) при начальных условиях $\mathbf{x}(0) = \boldsymbol{\alpha}$.

Функционал (12) определяет сумму функционалов (4) с весами (9) при начальных значениях (10) для каждой подобласти $\mathrm{X}_{0,i}$, $i = \overline{1, N}$.

В результате имеем общую задачу синтеза управления, в которой необходимо найти одну синтезирующую функцию (5) для минимизации функционала (12), учитывающего вероятности начальных значений.

Для решения задачи используем метод сетевого оператора [1—8]. Метод позволяет организовать машинный поиск математического выражения.

Согласно методу сетевого оператора в математическом выражении выделяем множества: переменных $\mathrm{X} = (x_1, ..., x_n)$, $x_i \in \mathbb{R}$, $i = \overline{1, n}$; параметров $\mathrm{Q} = (q_1, ..., q_r)$, $q_i \in \mathbb{R}$, $i = \overline{1, R}$; унарных операций $\mathrm{O}_1 = \left(\rho_1(z) = z, \rho_2(z), ..., \rho_W(z)\right)$ и бинарных операций $\mathrm{O}_2 = \left(\chi_0(z', z''), ..., \chi_{V-1}(z', z'')\right)$.

Среди унарных операций обязательно должна присутствовать тождественная операция $\rho_1(z) = z$. Бинарные операции должны быть коммутативны $\chi_i(z', z'') = \chi_i(z'', z')$, ассоциативны $\chi_i\left(z', \chi_i(z'', z''')\right) = \chi_i\left(\chi_i(z', z''), z'''\right)$, и иметь единичный элемент $\forall \chi_i(z', z'') \in \mathrm{O}_2 \;\; \exists e_i \to \chi_i(e_i, z) = z$, $i = \overline{0, V-1}$.

Множества унарных и бинарных операций приведены в табл. 1 и 2 соответственно. В операциях исключены точки разрыва с помощью замены ∞ величиной ε^{-1}, где ε малая положительная величина.

Таблица 1

$\rho_1(z) = z$	$\rho_{13}(z) = \mathrm{arctg}(z)$
$\rho_2(z) = \begin{cases} \varepsilon^{-1}, \text{ если } \lvert z\rvert > \sqrt{\varepsilon^{-1}} \\ z^2 \end{cases}$	$\rho_{14}(z) = \begin{cases} \mathrm{sgn}(z)\varepsilon, \text{ если } \lvert z\rvert > \sqrt[3]{\varepsilon^{-1}} \\ z^3, \text{ иначе} \end{cases}$
$\rho_3(z) = -z$	$\rho_{15}(z) = \begin{cases} \sqrt[3]{\varepsilon}, \text{ если } \lvert z\rvert < \varepsilon \\ \sqrt[3]{z}, \text{ иначе} \end{cases}$
$\rho_4(z) = \mathrm{sgn}(z)\sqrt{\lvert z\rvert}$	$\rho_{16}(z) = \begin{cases} z, \text{ если } \lvert z\rvert < 1 \\ \mathrm{sgn}(z), \text{ иначе} \end{cases}$
$\rho_5(z) = \begin{cases} \mathrm{sgn}(z)\varepsilon, \text{ если } \lvert z\rvert < \varepsilon \\ z^{-1}, \text{ иначе} \end{cases}$	$\rho_{17}(z) = \mathrm{sgn}(z)\ln(\lvert z\rvert + 1)$
$\rho_6(z) = \begin{cases} \varepsilon^{-1}, \text{ если } z > -\ln(\varepsilon) \\ e^z, \text{ иначе} \end{cases}$	$\rho_{18}(z) = \begin{cases} \mathrm{sgn}(z)\varepsilon, \text{ если } \lvert z\rvert > -\ln(\varepsilon) \\ \mathrm{sgn}(z)\left(e^{\lvert z\rvert} - 1\right), \text{ иначе} \end{cases}$
$\rho_7(z) = \begin{cases} \ln(\varepsilon), \text{ если } -\ln\lvert z\rvert > \varepsilon^{-1} \\ \ln\lvert z\rvert, \text{ иначе} \end{cases}$	$\rho_{19}(z) = \begin{cases} 0, \text{ если } \lvert z\rvert > -\ln(\varepsilon) \\ \mathrm{sgn}(z)e^{-\lvert z\rvert}, \text{ иначе} \end{cases}$

Окончание таблицы 1

$\rho_8(z)=\begin{cases}\mathrm{sgn}(z), \text{ если } \lvert z\rvert>-\ln(\varepsilon)\\ \dfrac{1-e^{-z}}{1+e^{-z}}, \text{ иначе}\end{cases}$	$\rho_{20}(z)=\begin{cases}1, \text{ если } z>\varepsilon\\ 0, \text{ если } z<0\\ 3z^2\varepsilon^{-2}-2z^3\varepsilon^{-3}, \text{ иначе}\end{cases}$
$\rho_9(z)=\begin{cases}1, \text{ если } z\ge 0\\ 0, \text{ иначе}\end{cases}$	$\rho_{21}(z)=\begin{cases}1, \text{ если } z>0{,}5\varepsilon\\ -1, \text{ если } z<-0{,}5\varepsilon\\ 3z\varepsilon^{-2}-4z^3\varepsilon^{-3}, \text{ иначе}\end{cases}$
$\rho_{10}(z)=\mathrm{sgn}(z)$	$\rho_{22}(z)=\begin{cases}0, \text{ if } \lvert z\rvert>-\ln(\varepsilon)\\ e^{-\lvert z\rvert}, \text{ иначе}\end{cases}$
$\rho_{11}(z)=\cos(\mathrm{z})$	$\rho_{23}(z)=\begin{cases}-\varepsilon^{-1}\mathrm{sgn}(z), \text{ если } \lvert z\rvert>\varepsilon^{-\frac{1}{3}}\\ z-z^3, \text{ иначе}\end{cases}$
$\rho_{12}(z)=\sin(z)$	$\rho_{24}(z)=\begin{cases}\dfrac{\varepsilon}{1+\varepsilon}, \text{ если } z>-\ln(\varepsilon)\\ \dfrac{1}{1+e^{-z}}, \text{ иначе}\end{cases}$

Таблица 2

Операции	Единичный элемент
$\chi_0(z',z'')=z'+z''$	0
$\chi_1(z',z'')=z'z''$	1
$\chi_2(z',z'')=\max\{z',z''\}$	$-\varepsilon^{-1}$
$\chi_3(z',z'')=\min\{z',z''\}$	ε^{-1}
$\chi_4(z',z'')=z'+z''-z'z''$	0
$\chi_5(z',z'')=\mathrm{sgn}(z'+z'')\sqrt{(z')^2+(z'')^2}$	0
$\chi_6(z',z'')=\mathrm{sgn}(z'+z'')(\lvert z'\rvert+\lvert z''\rvert)$	0
$\chi_7(z',z'')=\mathrm{sgn}(z'+z'')\max\{\lvert z'\rvert,\lvert z''\rvert\}$	0

Сетевой оператор — это ориентированный граф с двумя функциями и двумя множествами значений функций

$$G=\left(\mathrm{V},\mathrm{E},\mu(i),\varphi(i,j),\mathrm{A},\mathrm{B}\right),$$

где $\mathrm{V}=(1,...,L)$ — множество узлов; $\mathrm{E}=\{(i_1,j_1),...,(i_M,j_M)\}$ — множество дуг; i_k, $j_k\in\mathrm{V}$, $k=\overline{1,M}$, $\mu(i)$ — функция на множестве узлов $i\in\mathbf{V}$; $\varphi(i,j)$ — функция на множестве дуг $(i,j)\in\mathrm{E}$; $\mathrm{A}=\{k_1,...,k_S\}$, $\forall k_i\in\mathrm{A}$, $\rho_{k_i}(z)\in\mathrm{O}_1$; $i=\overline{1,S}$; $\mathrm{B}=\{l_1,\cdots,l_D\}$; $\forall l_i\in\mathrm{B}$; $\chi_{l_i}(z',z'')\in\mathrm{O}_2$; $i=\overline{1,D}$.

Пусть I_0 множество узлов-источников, I_1 — множество узлов-стоков, I_0, $\mathrm{I}_1\subset\mathrm{V}$, $\mathrm{P}(i_1,i_k)=(i_1,...,i_k)$ — путь от узла i_1 до узла i_k, если $\left(i_j,i_{j-1}\right)\in\mathrm{E}$, $j=\overline{2,k}$, $\Omega(\mathrm{E})$ — множество всех путей графа.

Граф сетевого оператора обладает следующими свойствами:

а) в графе отсутствуют циклы $\forall \mathrm{P}(i,j) \in \Omega(\mathrm{E}),\ \mathrm{P}(j,i) \notin \Omega(\mathrm{E})$;

б) $\forall i \notin \mathrm{I}_0,\ \exists j \in \mathrm{I}_0 \to \exists \mathrm{P}(j,i) \in \Omega(\mathrm{E})$;

в) $\forall i \notin \mathrm{I}_1,\ \exists j \in \mathrm{I}_1 \to \exists \mathrm{P}(i,j) \in \Omega(\mathrm{E})$;

г) $\forall i \in \mathrm{I}_0,\ \mu(i) = \alpha$, где $\alpha = (x_k \in \mathrm{X}) \vee (q_l \in \mathrm{Q})$;

д) $\forall i \in \mathrm{V} - \mathrm{I}_0,\ \mu(i) = k,\ \chi_k(z', z'') \in \mathrm{O}_2$;

е) $\forall (i,j) \in \mathrm{E},\ \varphi(i,j) = k,\ \rho_k(z) \in \mathrm{O}_1$;

ж) $\varphi(i,j) = 0$, если $(i,j) \notin \mathrm{E}$.

Для представления графа сетевого оператора в памяти компьютера используем целочисленную матрицу размерности $L \times L$

$$\mathbf{\Psi} = \left[\psi_{i,j}\right],\ \psi_{i,j} = \begin{cases} \varphi(i,j), & \text{если } i \neq j \\ \mu(i) & \text{— иначе} \end{cases},\ i,j = \overline{1,L}.$$

Граф сетевого оператора не содержит циклов, поэтому его узлы всегда можно пронумеровать так, чтобы номер узла, в который дуга входит, был больше номера узла, откуда дуга выходит, $\forall (i,j) \in \mathrm{E},\ i < j$, что упрощает вычисления по сетевому оператору. Просматриваем по строкам элементы матрицы $\mathbf{\Psi}$ над главной диагональю и выполняем вычисления только для ненулевых элементов.

Алгоритм включает два шага. Первоначально инициализируем вектор узлов

$$z_i = \begin{cases} \psi_{i,i}, & \text{если } i \in \mathrm{I}_0 \\ e_{\mu(i)} & \text{— иначе} \end{cases},\ i = \overline{1,L}.$$

Затем выполняем вычисления, если $\psi_{i,j} \neq 0,\ i = \overline{1, L-1},\ j = \overline{i+1, L}$

$$z_j = \chi_{\psi_{i,i}}\left(z_j, \rho_{\psi_{i,j}}(z_i)\right).$$

Рассмотрим в качестве примера синтез системы управления летательным аппаратом на этапе посадки. В задаче летательному аппарату необходимо выйти на прямолинейную траекторию со своего начального состояния, определение которого может быть неточным.

Модель плоского движения летательного аппарата описывается следующими уравнениями:

$$\dot{V} = (\beta T / m)\cos(\alpha + \delta) - X/m - g\sin\theta,$$

$$\dot{\theta} = (\beta T / mV)\sin(\alpha + \delta) + Y/mV - (g/V)\cos\theta,$$

$$\dot{L} = V\cos\theta,$$

$$\dot{H} = V\sin\theta,$$

$$\dot{\alpha} = -\frac{1}{T_\alpha}\alpha + u_1,$$

$$\dot{\beta} = -\frac{1}{T_\beta}\beta + u_2,$$

где V — воздушная скорость; θ — угол наклона траектории; L — продольная дальность; H — высота; α — угол атаки; β — коэффициент силы тяги; X, Y — проекции силы аэродинамического сопротивления на оси скоростной системы координат

$$X = 0.5C_X\rho SV^2,\ \ Y = 0.5C_Y\rho SV^2,$$

$$C_X = B_0 + B_1\alpha + B_2\alpha^2,$$

$$C_Y = \begin{cases} C_0 + C_1\alpha, \text{ если } \alpha \le \alpha_{**} \\ C_0 + C_1\alpha + C_2\left(\alpha - \alpha_{**}\right)^2, \text{ если } \alpha_{**} \le \alpha < \alpha_* \end{cases},$$

ρ = 1.20064 кг/м^3; S = 140.4 м^2; m = 67 500 кг; A_0 = 196 710 Н; A_1 = –352.87 Нс/м; A_2 = = 0.7073 Нс^2/м^2; C_0 = 0.71; C_1 = 6.231 рад$^{-1}$; C_2 = –21.65 рад$^{-2}$; B_0 = 0.16; B_1 = 0.0862 рад$^{-1}$; B_2 = 3.0 рад$^{-2}$; $\delta = 0.034907$ рад; $T_\alpha = 10$ с; $T_\beta = 1$ с; $\alpha_* = 0.3002$ рад.

Управление ограничено

$$0 \le u_1 \le 0.3,\ \ 0.2 \le u_2 \le 1.$$

Задано терминальное многообразие в виде пространственной прямолинейной траектории

$$H = K^* L + H_0^*,\ \ \mathrm{tg}\theta - K^* = 0,$$

где $K^* = -0.0545,\ H_0^* = 300$ м.

Необходимо найти управление, которое минимизирует функционалы

$$J_1 = \sqrt{\omega^2\left(K^* L\left(t_f\right) + H_0^* - H\left(t_f\right)\right)^2 + \left(\mathrm{tg}\left(\theta\left(t_f\right)\right) - K^*\right)^2} \to \min,$$

$$J_2 = t_f \to \min,$$

где $\omega = 10^{-4}$, t_f — время окончания процесса управления

$$t_f = \begin{cases} t, \text{ если } \sqrt{\omega^2\left(K^* L(t) + H_0^* - H(t)\right)^2 + \left(\mathrm{tg}\left(\theta(t)\right) - K^*\right)^2} < \varepsilon, \\ t^+ \text{ — иначе,} \end{cases}$$

$$t^+ = 24 \text{ с.},\ \varepsilon = 10^{-5}.$$

Для системы заданы начальные значения: $V(0) = 71.91$ м/с, $\theta(0) = -0.04 \pm$ ± 0.01,, $L(0) = 0$, $H(0) = 300 \pm 50$, $\alpha(0) = 0.12612$, $\beta(0) = 0.34627$.

Начальные значения по высоте и углу наклона траектории заданы не точно. Согласно предложенному методу синтеза выбраны четыре различных начальных значения с величинами вероятностей:

1) $P\left(H(0) = 250, \theta(0) = -0.041\right) = 0.125$;

2) $P\left(H(0) = 350, \theta(0) = -0.041\right) = 0.25$;

3) $P\big(H(0)=250, \theta(0)=-0.039\big)=0.25;$

4) $P\big(H(0)=350, \theta(0)=-0.039\big)=0.375.$

В результате применения численного метода сетевого оператора было получено следующее управление:

$$\tilde{u}_1=\begin{cases}0,\ \text{если}\ u_1\le 0,\\ u_1,\ \text{если}\ 0<u_1\le 0.3,\\ 0.3,\ \text{если}\ u_1>0.\end{cases}\quad \tilde{u}_2=\begin{cases}0.2,\ \text{если}\ u_2\le 0.2,\\ u_2,\ \text{если}\ 0.2<u_2\le 1,\\ 1,\ \text{если}\ u_2>0.\end{cases}$$

где

$$u_1=2z_{14}+z_{11}^3+\left(z_{14}+z_{11}^3\right)^3+\frac{1-e^{-z_{17}}}{1+e^{-z_{17}}}+\sqrt[3]{q_1y_1}+\operatorname{sgn}(z_{17})\left(e^{|z_{17}|}-1\right)+$$

$$+\operatorname{sgn}(z_{11})\left(e^{|z_{11}|}-1\right)+\rho_{16}\left(q_1y_1q_2y_2+q_1^2y_1^2+y_1^2\right),$$

$$u_2=e^{u_1}+u_1+\rho_9\left(2z_{14}+z_{11}^3+\left(z_{14}+z_{11}^3\right)^3\right)+$$

$$+\rho_{16}\left(2z_{14}+z_{11}^3+\left(z_{14}+z_{11}^3\right)^3+\frac{1-e^{-z_{17}}}{1+e^{-z_{17}}}+\sqrt[3]{q_1y_1}\right),$$

$$z_{11}=q_1y_1q_2y_2+q_1^2y_1^2+y_1^2+\frac{1-e^{-q_1q_2y_1y_2}}{1+e^{-q_1q_2y_1y_2}},$$

$$z_{14}=z_{11}+\sqrt[3]{q_1x_1}+q_2x_2-q_2^3x_2^3,$$

$$z_{17}=2z_{14}+z_{11}^3+\left(z_{14}+z_{11}^3\right)^3,$$

$$q_1=3.69238,\ \ q_2=3.49023,\ \ y_1=\omega\left(K^*L+H_0^*-H\right),\ \ y_2=K^*-\operatorname{tg}\theta.$$

Результаты моделирования системы управления с полученной синтезирующей функцией приведены на рис. 1—8.

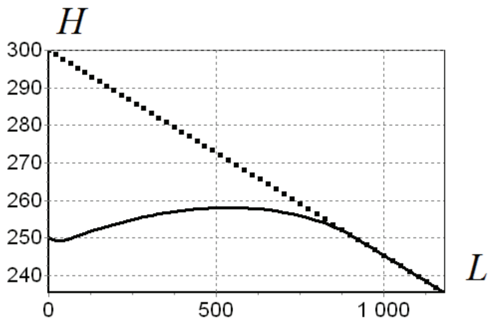

Рис. 1

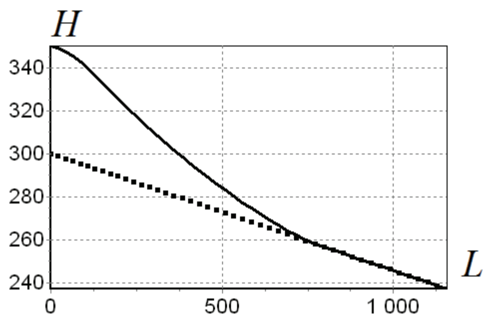

Рис. 2

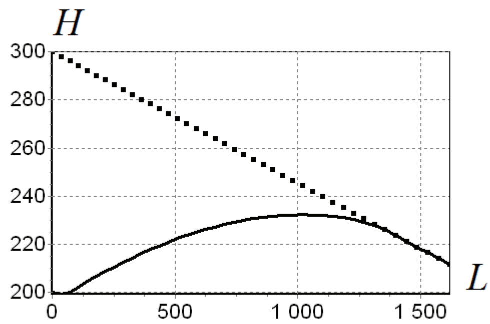

Рис. 3

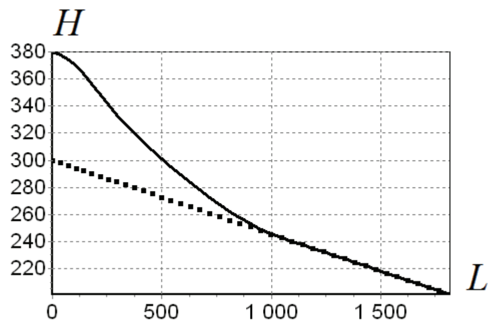

Рис. 4

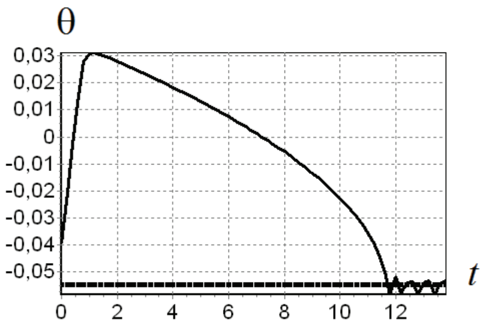

Рис. 5

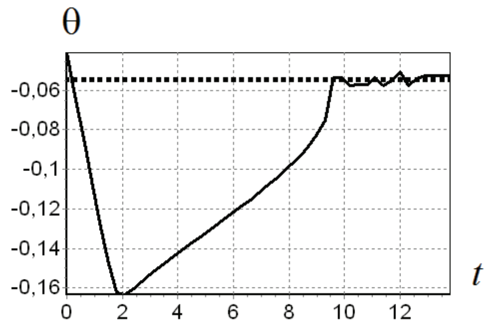

Рис. 6

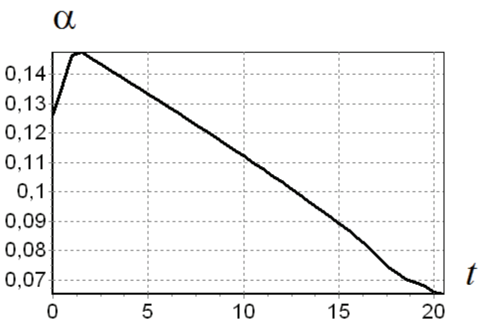

Рис. 7

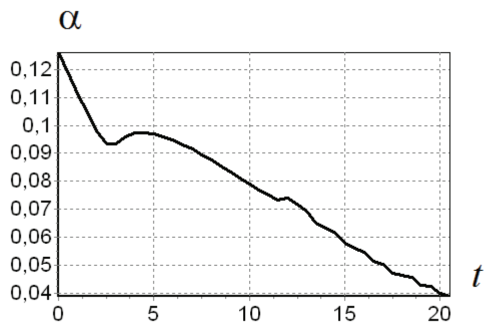

Рис. 8

На рис. 1—6 приведены также терминальные многообразия. На рис. 7, 8 приведено изменение угла атаки для начальных высот $H(0)=200$ м и 380 м соответственно. Как видно из рисунков, система управления обеспечивает достижение терминальных многообразий не только для учитываемых начальных значений, но и для значений, выходящих за пределы, $H(0)=200$ м и $H(0)=380$ м.

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Дивеев А.И., Пупков К.А., Софронова Е.А.* Синтез системы управления — задача тысячелетия // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2011. — № 2. — С. 113—125.

[2] *Дивеев А.И.* Метод сетевого оператора. — М.: Изд-во ВЦ РАН, 2010.
[3] *Дивеев А.И., Пупков К.А., Софонова Е.А.* Повышение качества систем управления на основе многокритериального синтеза методом сетевого оператора // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2009. — № 4. — С. 5—12.
[4] *Дивеев А.И., Софронова Е.А.* Синтез системы управления при неопределенных фазовых ограничениях на основе метода сетевого оператора // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем / Под ред. чл.-корр. РАН Ю.С. Попкова. — М.: ИСА РАН, ЛКИ. 2008. — Т. 32(3). — С. 32—40.
[5] *Дивеев А.И., Крылова М.В., Софронова Е.А.* Метод генетического программирования для многокритериального структурно-параметрического синтеза систем автоматического управления: Сб. статей «Вопросы теории безопасности и устойчивости систем». — М.: ВЦ РАН, 2008. — Вып. 10. — С. 93—100.
[6] *Дивеев А.И., Софронова Е.А.* Метод сетевого оператора в задачах управления // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». — 2007. — № 4. — С. 107—118.
[7] *Diveyev A.I., Sofronova E.A.* Application of network operator method for synthesis of optimal structure and parameters of automatic control system // Proceedings of 17-th IFAC World Congress, Seoul, 2008, 05.07.2008—12.07.2008. — P. 6106—6113.
[8] *Diveev A.I., Sofronova E.A.* Numerical method of network operator for multi-objective synthesis of optimal control system // Proceedings of Seventh International Conference on Control and Automation (ICCA'09) Christchurch, New Zealand, December 9—11, 2009. — P. 701—708.

THE NETWORK OPERATOR METHOD IN A PROBLEM OF SYNTHESIS FOR CONTROL SYSTEM OF DYNAMIC OBJECT WITH RANDOM INITIAL VALUES

A.I. Diveev[1], E.A. Sofronova[2], Pham Xuan Phang[3]

[1]Computer Center. A.A. Dorodnitsyn the Russian Academy of Sciences
Vavilov str., 40, Moscow, Russia, 119333

[2]Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

[3]Moscow State Technical University. N.E. Bauman
2nd Bauman str., 5, Moscow, Russia, 105005

A general problem synthesis of control system for object with random initial values is considered. To solve the problem it's proposed to use the network operator method. An example of decision of a control system synthesis problem for an aircraft on a stage of descent is presented.

Key words: synthesis of control, the network operator method.