СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.51

СИНТЕЗ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В МНОГОАГЕНТНЫХ СЕТЯХ*

Н.Е. Зубов[1,2], **Е.А. Микрин**[1,2], **В.Н. Рябченко**[1,2]

[1]ОАО "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва",
Королёв, Московская обл., Российская Федерация
e-mail: Nikolay.Zubov@rsce.ru

[2]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: nezubov@bmstu.ru

Построены ленточные матрицы динамической модели информационного управления многоагентной сети, представляющей собой ориентированный граф, в котором имеется множество вершин (агентов) и множество дуг, отражающих связи между агентами. Установлена взаимосвязь между управляемостью этой модели и устойчивостью поведения. Разработан метод синтеза динамической модели информационного управления многоагентной сетью, обеспечивающий заданный спектр при управлении по состоянию. В основу синтеза положена многоуровневая декомпозиция дискретной линейной модели информационного обеспечения. Получены законы управления, гарантирующие окончание переходного процесса не более чем за число тактов, равное размерности вектора состояния модели информационного обеспечения.

***Ключевые слова*:** многоагентная сеть, динамическая модель, информационное управление, ленточная матрица управляемости, устойчивость, спектр, декомпозиция, управление, обратная связь.

DYNAMIC MODELS SYNTHESYS OF INFORMATIONAL CONTROL IN MULTIAGENT NETWORKS

N.E. Zubov[1,2], **E.A. Mikrin**[1,2], **V.N. Ryabchenko**[1,2]

[1]OAO "S.P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energiya",
Korolev, Moscow region, Russian Federation
e-mail: Nikolay.Zubov@rsce.ru

[2]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: nezubov@bmstu.ru

The authors have built the band matrixes of the dynamic model of information control for multiagent network, which is the oriented graph with the set of vertexes (agents) and the set of arcs, representing connections between agents. The relationship between the controllability of this model and stabile behavior is defined. The method of synthesis for a dynamic model of information control is devised for multiagent

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-11-00046).

network, providing the specified spectra that is controlled by the state. The multilevel decomposition of discrete linear model of information ensuring is assumed as a basis of synthesis. The authors have been obtained the control laws, guaranteeing the end of the transition process for not more than the number of ticks equal to the vector length of the state for the model of information ensuring.

***Keywords*:** multiagent network, dynamic model, information control, band matrix controllability, stability, spectra, decomposition, control, feedback.

Введение и постановка задачи. В последнее время проблематика динамических задач информационного управления в многоагентных или в более широком смысле социальных сетях приобрела популярность в научных кругах [1]. Под *социальной сетью* понимается социальная структура, состоящая из множества *агентов* (субъектов — индивидуальных или коллективных членов сети, например, индивидов, семей, групп, организаций) и определенного на нем множества отношений (совокупности связей между агентами, например, знакомства, дружбы, сотрудничества, коммуникации) [1].

Формально социальная сеть представляет собой ориентированный граф $\boldsymbol{G}(N, E)$, в котором есть множество вершин N (агентов) и множество дуг E, отражающих связи между агентами [1].

При моделировании социальных сетей возникает необходимость учета взаимного влияния их членов, динамики их мнений [2]. Целенаправленное влияние членов социальной сети (или субъектов, не входящих в сеть, но использующих ее в качестве инструмента информационного воздействия) является частным случаем информационного управления, заключающегося в формировании (как правило, путем сообщения соответствующей информации) у управляемых субъектов такой информированности [3], при которой принимаемые ими решения были наиболее выгодны для управляющего субъекта [4].

В работе [5] показано, что в предположении аддитивности влияния центра (управления) на мнения агентов в социальной сети *динамическая модель управления* в этой сети представляет собой дискретную систему

$$\mathbf{x}_{k+1} = \boldsymbol{A}\mathbf{x}_k + \boldsymbol{A}\mathbf{b}u_k, \quad y_{k+1} = \boldsymbol{C}\mathbf{x}_k, \tag{1}$$

или в “приведенном” виде

$$\mathbf{x}_{k+1} = \boldsymbol{A}\left(\mathbf{x}_k + \mathbf{b}u_k\right), \quad y_{k+1} = \boldsymbol{C}\mathbf{x}_k. \tag{2}$$

Здесь $\mathbf{x}_k \in \mathbb{R}^n$ — вектор состояния агентов социальной сети; $u_k \in \mathbb{R}^1$ — скалярное управление центра; $y_k \in \mathbb{R}^1$ — скалярный выход наблюдателя социальной сети; $\mathbb{R}$ — множество действительных чисел.

В общем виде вместо модели (1) или (2) можно записать дискретную MIMO-систему (Multi Inputs Multi Outputs System): $\mathbf{x}_{k+1} = \boldsymbol{A}\mathbf{x}_k + \boldsymbol{A}\boldsymbol{B}\mathbf{u}_k$, $\boldsymbol{y}_{k+1} = \boldsymbol{C}\mathbf{x}_k$; $\mathbf{x}_{k+1} = \boldsymbol{A}\left(\mathbf{x}_k + \boldsymbol{B}\mathbf{u}_k\right)$, $\boldsymbol{y}_{k+1} = \boldsymbol{C}\mathbf{x}_k$, где $\mathbf{u}_k \in \mathbb{R}^r$ — векторное управление центра; $\mathbf{y}_k \in \mathbb{R}^m$ — векторный выход наблюдателя социальной сети.

Требуется:

1) построить ленточные матрицы динамической модели информационного управления социальной сети, устанавливающие взаимосвязь управляемости этой модели и устойчивости поведения;

2) разработать метод синтеза динамической модели информационного управления социальной сетью.

Ленточные матрицы динамических моделей информационного управления в социальных сетях. Рассмотрим *характеристический полином* матрицы $\boldsymbol{A}$ из модели (1):

$$\det(\lambda \boldsymbol{I}_n - \boldsymbol{A}) = \lambda^n + \alpha_{n-1}\lambda^{n-1} + \cdots + \alpha_1\lambda + \alpha_0, \tag{3}$$

где $\boldsymbol{I}_n$ — единичная матрица размером $n \times n$; $\lambda \in \mathbb{C}$; $\mathbb{C}$ — множество комплексных чисел.

Обозначим через $\mathbf{0}_{1\times n}$ нулевую строку размером $1 \times n$, тогда *ленточная матрица управляемости* системы (1), (2) при обратимой матрице $\boldsymbol{A}$ примет вид [6–8]

$$\left(\begin{array}{c|c|c|c|c} -\mathbf{b}_L^{\perp} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \hline \mathbf{b}_L^{\perp}\boldsymbol{A}^{-1} & -\mathbf{b}_L^{\perp} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \hline \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & -\mathbf{b}_L^{\perp} \\ \hline \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{b}_L^{\perp}\boldsymbol{A}^{-1} \end{array}\right) =$$

$$= \left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n}\right) \otimes \left(\mathbf{b}_L^{\perp}\boldsymbol{A}^{-1}\right) - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}}\right) \otimes \mathbf{b}_L^{\perp}. \tag{4}$$

Здесь $\otimes$ — символ операции *кронекерова произведения*; $\mathbf{b}_i^{\perp} \in \mathbb{R}^{(n-1)\times n}$ — символ, обозначающий матрицу, — *левый делитель нуля* (*аннулятор*) ранга $n-1$ [8, 9]: $\mathbf{b}_L^{\perp}\mathbf{b} = \mathbf{0}_{(n-1)\times 1}$.

В общем случае при необратимой матрице $\boldsymbol{A}$ *ленточная матрица управляемости* системы (1), (2) имеет вид

$$\left(\begin{array}{c|c|c|c|c} -(\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp}\boldsymbol{A} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \hline (\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp} & -(\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp}\boldsymbol{A} & \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{0} \\ \hline \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & -(\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp}\boldsymbol{A} \\ \hline \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \cdots & (\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp} \end{array}\right) = \tag{5}$$

$$= \left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n}\right) \otimes (\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp} - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}}\right) \otimes (\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp}\boldsymbol{A},$$

где $(\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp}$ — левый делитель нуля ранга $n-1$ произведения $\boldsymbol{A}\mathbf{b}$.

Для полностью управляемой динамической системы (1), (2) между коэффициентами α_i характеристического полинома (3) и ленточными матрицами управляемости (4) и (5) $\left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n}\right) \otimes \mathbf{b}_i^{\perp} - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}}\right) \otimes \left(\mathbf{b}_i^{\perp}\boldsymbol{A}_i\right)$

имеется соответствующая однозначная взаимосвязь

$$\begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \hline \alpha_1 \\ \hline \vdots \\ \hline \alpha_{n-2} \\ \hline \alpha_{n-1} \\ \hline 1 \end{pmatrix} = \left(\left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n} \right) \otimes \mathbf{b}^{+} \boldsymbol{A}^{-1} - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}} \right) \otimes \mathbf{b}^{+} \right) \begin{pmatrix} \boldsymbol{\Upsilon}_1^{(1)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_2^{(1)} \\ \hline \vdots \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_{n-1}^{(1)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_n^{(1)} \end{pmatrix}.$$

Здесь нормированный правый делитель нуля ленточной матрицы

$$\left(\left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n} \right) \otimes \left(\mathbf{b}_L^{\perp} \boldsymbol{A}^{-1} \right) - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}} \right) \otimes \mathbf{b}_L^{\perp} \right)_R^{\perp} =$$

$$= \begin{pmatrix} \boldsymbol{\Upsilon}_1^{(1)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_2^{(1)} \\ \hline \vdots \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_{n-1}^{(1)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_n^{(1)} \end{pmatrix}, \ \boldsymbol{\Upsilon}_j^{(1)} \in \mathbb{R}^n, \ \mathbf{b}_i^{+} \boldsymbol{\Upsilon}_n^{(1)} = 1,$$

или в эквивалентном виде

$$\begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \hline \alpha_1 \\ \hline \vdots \\ \hline \alpha_{n-2} \\ \hline \alpha_{n-1} \\ \hline 1 \end{pmatrix} = \left(\left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n} \right) \otimes (\boldsymbol{A}\mathbf{b})^{+} - \right.$$

$$\left. - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}} \right) \otimes \left((\boldsymbol{A}\mathbf{b})^{+} \boldsymbol{A} \right) \right) \begin{pmatrix} \boldsymbol{\Upsilon}_1^{(2)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_2^{(2)} \\ \hline \vdots \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_{n-1}^{(2)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_n^{(2)} \end{pmatrix},$$

где нормированный правый делитель нуля ленточной матрицы

$$\left(\left(\frac{\mathbf{0}_{1\times n}}{\boldsymbol{I}_n} \right) \otimes (\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp} - \left(\frac{\boldsymbol{I}_n}{\mathbf{0}_{1\times n}} \right) \otimes (\boldsymbol{A}\mathbf{b})_L^{\perp} \boldsymbol{A} \right)_R^{\perp} =$$

$$= \begin{pmatrix} \boldsymbol{\Upsilon}_1^{(2)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_2^{(2)} \\ \hline \vdots \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_{n-1}^{(2)} \\ \hline \boldsymbol{\Upsilon}_n^{(2)} \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\Upsilon}_j^{(2)} \in \mathbb{R}^n, \quad \mathbf{b}_i^{+} \boldsymbol{\Upsilon}_n^{(2)} = 1.$$

Метод синтеза динамической модели информационного управления социальной сетью с заданным спектром. Введем следующую *многоуровневую декомпозицию* [10–12] динамической модели информационного управления социальной сетью, заданной парами матриц $(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{A}\mathrm{b})$ или $(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{AB})$, где $\boldsymbol{A} \in \mathbb{R}^{n\times n}$, $\boldsymbol{A}\mathrm{b} \in \mathbb{R}^{n\times 1}$, $\boldsymbol{B} \in \mathbb{R}^{n\times r}$.

Нулевой (исходный) уровень $\boldsymbol{A}_0 = \boldsymbol{A}$; $\tilde{\boldsymbol{B}}_0 = \boldsymbol{AB}$, первый уровень $\boldsymbol{A}_1 = (\boldsymbol{AB})^{\perp} \boldsymbol{A} (\boldsymbol{AB})^{\perp\mathrm{T}} = \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp} \boldsymbol{A} \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp\mathrm{T}}$; $\tilde{\boldsymbol{B}}_1 = (\boldsymbol{AB})^{\perp} \boldsymbol{A}^2 \boldsymbol{B} = \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp} \boldsymbol{A}^2 \boldsymbol{B}$, k-й (промежуточный) уровень $\boldsymbol{A}_k = \tilde{\boldsymbol{B}}_{k-1}^{\perp} \boldsymbol{A}_{k-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{k-1}^{\perp\mathrm{T}}$; $\boldsymbol{B}_k = \tilde{\boldsymbol{B}}_{k-1}^{\perp} \boldsymbol{A}_{k-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{k-1}$, L-й (конечный) уровень ($L = \mathrm{ceil}\,(n/r) - 1$) $\boldsymbol{A}_L = \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp} \boldsymbol{A}_{L-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp\mathrm{T}}$; $\tilde{\boldsymbol{B}}_L = \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp} \boldsymbol{A}_{L-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}$. Здесь $\mathrm{ceil}\,(*)$ — операция округления числа в сторону большего значения, например, $\mathrm{ceil}\,(0{,}1) = 1$, $\mathrm{ceil}\,(1{,}6) = 2$, $\mathrm{ceil}\,(2{,}01) = 3$ и т.д.

Теорема 1. *Если динамическая модель информационного управления социальной сети с парой матриц* $(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{AB})$ *полностью управляемая, то полностью управляемы все пары матриц* $(\boldsymbol{A}_i, \tilde{\boldsymbol{B}}_i)$.

Примем, что все матрицы $\tilde{\boldsymbol{B}}_i$ — матрицы полного ранга по столбцам. Тогда справедливо утверждение.

Теорема 2. *Пусть динамическая модель информационного управления социальной сети с парой матриц* $(\boldsymbol{A}, \boldsymbol{AB})$ *полностью управляемая и матрица* $\boldsymbol{F} \in \mathbb{R}^{r\times m}$ *удовлетворяет формулам*

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_0 = \Phi_0 \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} \boldsymbol{A}_0, \quad \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} = \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{+} - \boldsymbol{F}_1 \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp}; \tag{6}$$

$$\boldsymbol{F}_1 = \Phi_1 \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{-} \boldsymbol{A}_1, \quad \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{-} = \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{+} - \boldsymbol{F}_2 \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{\perp}; \tag{7}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\boldsymbol{F}_k = \Phi_k \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{-} \boldsymbol{A}_k, \quad \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{-} = \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{+} - \boldsymbol{F}_{k+1} \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{\perp}; \tag{8}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\boldsymbol{F}_L = \Phi_L \tilde{\boldsymbol{B}}_L^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_L^{-} \boldsymbol{A}_L, \tag{9}$$

тогда

$$\mathrm{eig}\,(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{ABF}) = \bigcup_{i=1}^{L+1} \mathrm{eig}(\Phi_{i-1}). \tag{10}$$

Другими словами, при выполнении условий (6)–(9) динамической модели информационного управления социальной сетью обеспечивается заданный спектр (заданные собственные значения) внутри единичного круга на комплексной плоскости $\mathbb{C}$.

Доказательство теорем 1 и 2 строится по аналогии с тем, как это сделано в работах [11, 12].

Из теоремы 2 вытекает следующий *алгоритм синтеза* регулятора динамической модели информационного управления социальной сети, обеспечивающего заданный спектр матрицы $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{ABF}$:

1) задать матрицы $\boldsymbol{A}_0 = \boldsymbol{A}$, $\tilde{\boldsymbol{B}}_0 = \boldsymbol{AB}$;
2) вычислить $L = \mathrm{ceil}\,(n/r) - 1$;
3) задать матрицы $\Phi = \Phi_0, \Phi_1, \ldots, \Phi_L$ такие, что $\bigcup\limits_{i=1}^{L+1} \mathrm{eig}(\Phi_{i-1})$ — желаемый спектр замкнутой системы;
4) вычислить ортогональный аннулятор $\tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp} = (\boldsymbol{AB})^{\perp}$, а затем матрицы $\boldsymbol{A}_1 = \tilde{\boldsymbol{B}}^{\perp} \boldsymbol{A} \tilde{\boldsymbol{B}}^{\perp\mathrm{T}}$, $\tilde{\boldsymbol{B}}_1 = \tilde{\boldsymbol{B}}^{\perp} \boldsymbol{A}^2 \boldsymbol{B} \ldots$;
5) определить ортогональный аннулятор $\tilde{\boldsymbol{B}}_k^{\perp}$, а затем матрицы $\boldsymbol{A}_{k+1} = \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{\perp} \boldsymbol{A}_k \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{\perp\mathrm{T}}$, $\tilde{\boldsymbol{B}}_{k+1} = \tilde{\boldsymbol{B}}_k^{\perp} \boldsymbol{A}_k \tilde{\boldsymbol{B}}_k \ldots$;
6) вычислить ортогональный аннулятор $\tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp}$, а затем матрицы $\boldsymbol{A}_L = \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp} \boldsymbol{A}_{L-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp\mathrm{T}}$, $\tilde{\boldsymbol{B}}_L = \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp} \boldsymbol{A}_{L-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}$;
7) последовательно вычислить матрицы $\boldsymbol{F}_L = \Phi_L \tilde{\boldsymbol{B}}_L^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_L^{-} \boldsymbol{A}_L$; $\tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{-} = \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{+} - \boldsymbol{F}_L \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp}$; $\boldsymbol{F}_{L-1} = \Phi_{L-1} \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{-} \boldsymbol{A}_{L-1}, \ldots$; $\tilde{\boldsymbol{B}}_1^{-} = \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{+} - \boldsymbol{F}_2 \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{\perp}$; $\boldsymbol{F}_1 = \Phi_1 \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{-} \boldsymbol{A}_1$; $\tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} = \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{+} - \boldsymbol{F}_1 \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp}$; $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_0 = \Phi_0 \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} \boldsymbol{A}_0$.

Регулятор с матрицей

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_0 = \Phi_0 \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} - \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{-} \boldsymbol{A}_0 \tag{11}$$

обеспечивает выполнение условия (10).

Для *максимального быстродействия* динамической модели информационного управления социальной сетью достаточно в формулах (6)–(9) принять $\Phi_0 = \Phi_1 = \ldots = \Phi_L = 0$. В этом случае закон управления с матрицами $\boldsymbol{F}_L = -\tilde{\boldsymbol{B}}_L^{-} \boldsymbol{A}_L$, $\boldsymbol{F}_{L-1} = -\left(\tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{+} - \boldsymbol{F}_L \tilde{\boldsymbol{B}}_{L-1}^{\perp}\right) \boldsymbol{A}_{L-1}, \ldots$, $\boldsymbol{F}_1 = -\left(\tilde{\boldsymbol{B}}_1^{+} - \boldsymbol{F}_2 \tilde{\boldsymbol{B}}_1^{\perp}\right) \boldsymbol{A}_1$, $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_0 = -\left(\tilde{\boldsymbol{B}}_0^{+} - \boldsymbol{F}_1 \tilde{\boldsymbol{B}}_0^{\perp}\right) \boldsymbol{A}_0$, или $\boldsymbol{F} = -(\boldsymbol{AB})^{+} \boldsymbol{A} - \boldsymbol{F}_1 (\boldsymbol{AB})^{\perp} \boldsymbol{A}$, обеспечит окончание переходного процесса не более чем за n тактов.

Заключение. Таким образом, в настоящей работе удалось построить ленточные матрицы динамической модели информационного управления многоагентной (социальной) сети. При этом была установлена взаимосвязь между управляемостью этой модели и устойчивостью поведения. Разработан метод синтеза динамической модели информационного управления социальной сетью, обеспечивающий заданный спектр. В качестве частного случая получены законы управления, гарантирующие окончание переходного процесса не более чем за число тактов, равное размерности вектора состояния модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.* Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях // Пробл. управления. 2009. № 5. С. 28–35.

2. *Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.* Модели влияния в социальных сетях (обзор) // Управление большими системами. 2009. № 27. С. 205–281.
3. *Чхартишвили А.Г.* Теоретико-игровые модели информационного управления. М.: ПМСОФТ, 2005.
4. *Новиков Д.А.* Теория управления организационными системами. М.: Физматлит, 2007.
5. *Барабанов И.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г.* Динамические модели информационного управления в социальных сетях // Автоматика и телемеханика. 2010. № 11. С. 172–182.
6. *Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Анализ и синтез линейных динамических систем на основе ленточных формул // Вестник ИГЭУ. 2005. Вып. 5. С. 243–248.
7. *Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Ленточная формула решения задачи А.Н. Крылова // Автоматика и телемеханика. 2007. № 12. С. 53–69.
8. *Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Ленточные формулы анализа и синтеза управляемых динамических MIMO-систем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2014. № 3 (96). С. 3–15.
9. *Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Алгебраические и матричные методы в теории линейных MIMO-систем // Вестник ИГЭУ. 2005. Вып. 5. С. 196–240.
10. *Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Размещение полюсов в больших динамических системах с многими входами и выходами // ДАН. 2011. Т. 439. № 4. С. 464–466.
11. *Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Размещение полюсов при управлении большой энергетической системой // Автоматика и телемеханика. 2011. № 10. С. 129–153.
12. *Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н.* Синтез развязывающих законов стабилизации орбитальной ориентации космического аппарата // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2012. № 1. С. 92–108.

REFERENCES

[1] Gubanov D.A., Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. Informational influence and information control models in social networks. *Problemy upravleniya* [Control sciences], 2009, no. 5, pp. 28–35 (in Russ.).

[2] Gubanov D.A., Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. Models of influence in social networks. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large-scale Systems Control], 2009, no. 27, pp. 205–281 (in Russ.).

[3] Chkhartishvili A.G. Teoretiko-igrovye modeli informatsionnogo upravleniya [Game theoretic model of information control]. Moscow, PMSOFT Publ., 2004. 227 p.

[4] Novikov D.A. Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami [Control theory of organizational systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 584 p.

[5] Barabanov I.N., Korgin N.A., Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. Dynamic models of informational control in social networks. *Avtomat. i Telemekh.* [Automation and Remote Control, vol. 71, no. 11, pp. 2417–2426], 2010, no. 11, pp. 172–182 (in Russ.).

[6] Misrikhanov M.Sh., Ryabchenko V.N. Analysis and synthesis of linear dynamic systems based on banded formulas. *Vestn. Ivanovskiy Gos. Energ. Univ.* [Herald of the Ivanovo State Power Eng. Un.], 2005, iss. 5, pp. 243–248 (in Russ.).

[7] Misrikhanov M.Sh., Ryabchenko V.N. The band formula for solution of A.N. Krylov's problem. *Avtom. i Telemekh.* [Automation and Remote Control, vol. 68, no. 12, pp. 2142–2157], 2007, no. 12, pp. 53–69 (in Russ.).

[8] Zubov N.E., Mikrin E.A., Misriknanov M.Sh., Ryabchenko V.N. Band formulas for analysis and synthesis of controlled dynamic MIMO-systems. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2014, no. 3, pp. 3–15 (in Russ.).

[9] Misrikhanov M.Sh., Ryabchenko V.N. Algebraic and matrix methods in the theory of linear MIMO-systems. *Vestn. Ivanovskiy Gos. Energ. Univ. (IGEU)* [Herald of the Ivanovo State Power Eng. Un.], 2005, vol. 5, pp. 196–240 (in Russ.).

[10] Misrikhanov M.Sh., Ryabchenko V.N. Pole placement in large dynamical systems with many inputs and outputs. *Dokl. Akad. Nauk* [Dokl. Math., vol. 84, no. 1, pp. 591–593], 2011, vol. 439, no. 4, pp. 464–466 (in Russ.).

[11] Misrikhanov M.Sh., Ryabchenko V.N. Pole placement for controlling a large scale power system. *Avtom. i Telemekh.* [Automation and Remote Control, vol. 72, no. 110, pp. 2123–2146], 2011, no. 10, pp. 129–153 (in Russ.).

[12] Zubov N.E., Mikrin E.A., Misriknanov M.Sh., Ryabchenko V.N. Synthesis of decoupling laws for attitude stabilization of a spacecraft. *Izv. RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [J. Computer and Systems Sciences International, vol. 51, pp. 80–96], 2012, no. 1, pp. 92–108 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 16.10.2014

Зубов Николай Евгеньевич — д-р техн. наук, заместитель руководителя по науке НТЦ ОАО “РКК “Энергия” им. С.П. Королёва”, профессор кафедры “Системы автоматического управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 90 научных работ в области проблем управления космических аппаратов.
ОАО “Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королёва”, Российская Федерация, 141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, д. 4а.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Zubov N.E. — Dr. Sci. (Eng.), deputy director of the Research and Development Centre of the OAO “S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energiya”, professor of “Automatic Control System” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 90 publications in the field of problems of spacecraft control.
OAO “S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energiya”, ul. Lenina 4-a, Korolev, Moscow region, 141070 Russian Federation.
Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Микрин Евгений Анатольевич — д-р техн. наук, академик РАН, первый заместитель генерального конструктора ОАО “РКК “Энергия” им. С.П. Королёва”, заведующий кафедрой “Системы автоматического управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ в области систем управления космических аппаратов.
ОАО “Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королёва”, Российская Федерация, 141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, д. 4а.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Mikrin E.A. — Dr. Sci. (Eng.), member of the Russian Academy of Sciences, first deputy general designer of the OAO “S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energiya”, head of “Automatic Control System” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 150 publications in the field of spacecraft dynamical systems control.
OAO “S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energiya”, ul. Lenina 4-a, Korolev, Moscow region, 141070 Russian Federation.
Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Рябченко Владимир Николаевич — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник НТЦ ОАО “РКК “Энергия” им. С.П. Королёва”, профессор кафедры “Системы автоматического управления” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области проблем управления.
ОАО “Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королёва”, Российская Федерация, 141070, Московская обл., Королёв, ул. Ленина, д. 4а.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ryabchenko V.N. — Dr. Sci. (Eng.), lead researcher of the Research and Development Centre of the OAO “S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energiya”, professor of “Automatic Control System” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of dynamical systems control.
OAO “S.P. Korolev Rocket and Space Corporation “Energiya”, ul. Lenina 4-a, Korolev, Moscow region, 141070 Russian Federation.
Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.