

УДК 62.50

М.З. Згуровский, В.Д. Романенко, Ю.Л. Милявский

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ
УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМИ
ПРОЦЕССАМИ В КОГНИТИВНЫХ
КАРТАХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ. Часть 2

Введение

Настоящая публикация является продолжением первой части работы [1], в которой рассмотрено шесть принципов управления импульсными процессами в когнитивных картах (КК).

Первый принцип — формирование внешнего вектора управления на основе варьирования координат вершин КК сложной системы.

Второй принцип — реализация замкнутой системы управления, включающей синтезированный на основе методов теории автоматического управления многомерный дискретный регулятор, формирующий вектор управлений, воздействующих непосредственно на вершины КК как на выходные управляемые координаты сложной системы.

Третий принцип — использование возможности варьирования весовых коэффициентов матрицы смежности КК при реализации управляющих воздействий в замкнутой системе управления.

Четвертый принцип — декомпозиция исходной КК на две части: первая часть КК составляется для измеряемых координат вершин исходной КК, а во вторую часть входят неизмеряемые координаты вершин.

Пятый принцип — разнотемповая дискретизация координат вершин КК для случая, когда измерение всех координат с одним периодом дискретизации T_0 невозможно. Сформулировано два утверждения, описывающие взаимосвязь одно-темповой и разнотемповой моделей процесса.

Шестой принцип — адаптивное оценивание весовых коэффициентов матрицы смежности КК, которые не могут быть известны точно.

В данной работе рассматриваются методы управления импульсными процессами КК, разработанные на основании этих принципов, а также практический пример управления IT-компанией с помощью предложенных методов.

**Методы стабилизации и адаптивного управления
неустойчивыми импульсными процессами в КК**

Динамика свободного движения импульсного процесса КК в [1] представлена разностным уравнением

$$\Delta \bar{Y}(k+1) = W \Delta \bar{Y}(k), \quad (1)$$

где W — весовая матрица смежности, а $\Delta Y_i(k) = Y_i(k) - Y_i(k-1)$ — вектор левой разности координат вершин КК при $i = 1, 2, \dots, n$, $k > 0$. В работе [2] уравнение (1) преобразовано к виду

$$A(q^{-1})\Delta\bar{Y}(k) = 0, \quad (2)$$

где матричный полином $A(q^{-1})$ относительно оператора обратного сдвига q^{-1} имеет вид

$$A(q^{-1}) = I - A_1q^{-1} = \begin{pmatrix} 1 - a_{11}q^{-1} & -a_{12}q^{-1} & \dots & -a_{1n}q^{-1} \\ -a_{21}q^{-1} & 1 - a_{22}q^{-1} & \dots & -a_{2n}q^{-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{n1}q^{-1} & -a_{n2}q^{-1} & \dots & 1 - a_{nn}q^{-1} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Если корни уравнения $\det A(q^{-1}) = 0$ по модулю больше единицы, динамика импульсного процесса КК (2) неустойчивая. Для стабилизации неустойчивой системы вводится внешний вектор управления, который согласно первому принципу воздействует непосредственно на координаты вершин КК. Тогда модель вынужденного движения КК типа «вход–выход» имеет вид

$$(I - A_1q^{-1})\Delta\bar{Y}(k) = B_1q^{-1}\Delta\bar{u}(k), \quad (4)$$

где B_1 — диагональная матрица, которую можно выбирать в виде $B_1 = I$.

Сформулируем закон управления импульсным процессом (2):

$$\Delta\bar{u}(k) = D_0(I + F_1q^{-1})^{-1}(\Delta G(k) - \Delta\bar{Y}(k)). \quad (5)$$

Характеристический полином дискретной передаточной функции замкнутой системы, сформированной на основе (4), (5), приравнивается к эталонной модели

$$(I - A_1q^{-1})(I + F_1q^{-1}) + q^{-1}B_1D_0 = I + A_{M1}q^{-1} + A_{M2}q^{-2}, \quad (6)$$

причем корни $\det(I + A_{M1}q^{-1} + A_{M2}q^{-2}) = 0$ выбираются по модулю меньше единицы. На основе (6) определяются параметры закона управления (5): $F_1 = -A_1^{-1}A_{M2}$, $D_0 = B_1^{-1}(A_1 + A_1^{-1}A_{M2} + A_{M1})$. При $\Delta\bar{G}(k) = 0$ обеспечивается $\lim_{k \rightarrow \infty} \Delta\bar{Y}(k) = 0$.

Экспериментальное исследование этой системы выполнено в [2] для неустойчивой КК коммерческого банка, количество вершин которой равно семи.

В [3] разработан метод управления соотношениями координат КК сложной системы при неустойчивом импульсном процессе. Для этого уравнение свободного движения координат КК (2), (3) можно записать в полных значениях координат вершин (вместо приращений):

$$[I - (I + A_1)q^{-1} + A_1q^{-2}]\bar{Y}(k) = 0. \quad (7)$$

Динамика вынужденного движения координат при воздействии внешних управлений представлена с помощью модели

$$[I - (I + A_1)q^{-1} + A_1q^{-2}]\bar{Y}(k) = B_1q^{-1}\bar{u}(k). \quad (8)$$

Закон управления системы стабилизации по отклонению сформулирован в виде

$$\bar{u}(k) = (P_1 + P_2 q^{-1})[\bar{G} - \bar{Y}(k)], \quad (9)$$

где \bar{G} — вектор задающих воздействий.

При подстановке (9) в (8) получено уравнение замкнутой системы управления по каналу « $\bar{G} \rightarrow \bar{Y}$ »:

$$[I + (B_1 P_1 - I - A_1) q^{-1} + (A_1 + B P_2) q^{-2}] \bar{Y}(k) = B_1 (P_1 q^{-1} + P_2 q^{-2}) \bar{G}. \quad (10)$$

Путем приравнивания характеристического полинома к выбранной устойчивой эталонной модели

$$I + (B_1 P_1 - I - A_1) q^{-1} + (A_1 + B P_2) q^{-2} = I + A_{M_1} q^{-1} + A_{M_2} q^{-2}$$

определяются параметры закона управления (9): $P_1 = B_1^{-1}(I + A_1 + A_{M_1})$; $P_2 = B_1^{-1}(A_{M_2} - A_1)$.

Соотношение координат вершин КК в течение импульсного процесса устанавливается и регулируется на основе равенства

$$R \bar{G} = \bar{b}, \quad (11)$$

где R — заданная матрица соотношений ($n \times n$), а \bar{b} — заданный вектор ($n \times 1$).

Тогда необходимое соотношение между координатами КК выполняется путем установки вектора задающих воздействий в замкнутой системе управления (10) на уровне

$$\bar{G} = R^{-1} \bar{b}. \quad (12)$$

Адаптивная идентификация весовых коэффициентов КК (матрицы A_1) выполняется на основе алгоритма РМНК (23)–(25) [1].

Приведенные методы стабилизации неустойчивых импульсных процессов имеют общий недостаток, который заключается в $\dim \bar{u}(k) = \dim \bar{Y}(k)$, что не всегда можно выполнить. В [4] для стабилизации неустойчивых импульсных процессов КК синтезирован модальный регулятор состояния. При этом приращения $\Delta Y_i(k)$ в модели (4) [1] рассматриваются как переменные состояния $x_i(k)$, а матрица смежности W в уравнении свободного движения (3) [1] является матрицей состояния A . Тогда с учетом формирования внешнего вектора управления динамика вынужденного движения (4) [1] представлена в стандартной форме уравнения состояния в дискретном времени $\bar{X}(k+1) = A \bar{X}(k) + B \bar{u}(k)$, где обычно $B = I$. Тогда закон управления имеет вид $\bar{u}(k) = -K \bar{X}(k)$. В отличие от методов стабилизации импульсных процессов КК, основанных на моделях типа «вход–выход», при использовании модального регулятора количество управляющих воздействий $\dim \bar{u}(k)$ может быть меньше, чем количество вершин КК $\dim \bar{X}(k)$.

Метод управления импульсными процессами когнитивной карты с разнотемповой дискретизацией координат сложной системы

На основе пятого принципа [1] предположим, что первая часть координат вершин КК \bar{Y}_1 измеряется в дискретные моменты времени с периодом дискретизации T_0 , а остальная часть \bar{Y}_2 — с периодом $h = m T_0$, где m — целое число,

большее единицы. Тогда динамическая модель импульсного процесса КК была представлена выражением (13) [1]. Для управления импульсным процессом вводятся векторы управляющих воздействий \bar{u}_1, \bar{u}_2 , которые непосредственно воздействуют на вершины \bar{Y}_1 и \bar{Y}_2 . В этом случае управляемая модель импульсного процесса КК будет иметь вид

$$\begin{aligned} \Delta \bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l+1)T_0 \right] &= W_{11} \Delta \bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right] + \\ &+ W_{12} \Delta \tilde{Y}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] + B_{11} \Delta \bar{u}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right], \\ \Delta \bar{Y}_2 \left[\left(\left[\frac{k}{m} \right] + 1 \right) h \right] &= W_{21} \Delta \tilde{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right] + \\ &+ W_{22} \Delta \bar{Y}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] + B_{22} \Delta \bar{u}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right], \end{aligned} \quad (13)$$

где $l = 0, 1, \dots, m-1$, $\left[\frac{k}{m} \right]$ — целая часть от деления k на m , B_{11}, B_{22} — диагональные матрицы, которые выбираются разработчиком системы автоматизации. На основе модели (13) представим динамику векторов $\bar{Y}_1(k)$ и $\bar{Y}_2(k)$ соответственно в полных значениях переменных:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l+1)T_0 \right] &= (I_{11} + W_{11} - W_{11}q_1^{-1}) \bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right] + \\ &+ B_{11} \Delta \bar{u}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right] + W_{12} \Delta \tilde{Y}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right]; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \bar{Y}_2 \left[\left(\left[\frac{k}{m} \right] + 1 \right) h \right] &= (I_{22} + W_{22} - W_{22}q_2^{-1}) \bar{Y}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] + \\ &+ B_{22} \Delta \bar{u}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] + W_{21} \Delta \tilde{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right], \end{aligned} \quad (15)$$

где q_1, q_2 — операторы обратного сдвига соответственно на периоды дискретизации T_0 и $h = mT_0$.

В уравнениях (14), (15) соответственно члены

$$W_{12} \Delta \tilde{Y}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] \text{ и } W_{21} \Delta \tilde{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right]$$

являются возмущениями.

Для синтеза первого вектора управления $\Delta \bar{u}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right]$, который реализуется с периодом дискретизации T_0 , сформулируем критерий оптимальности

$$\begin{aligned} J_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l+1)T_0 \right] &= E \left\{ \left[\bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l+1)T_0 \right] - \bar{G}_1 \right]^T \times \right. \\ &\times \left. \left[\bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l+1)T_0 \right] - \bar{G}_1 \right] + \Delta \bar{u}_1^T \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right] R_1 \Delta \bar{u}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + lT_0 \right] \right\}, \end{aligned} \quad (16)$$

где \bar{G}_1 — вектор задающих воздействий для управления координатами вершин КК \bar{Y}_1 . На основе минимизации данного критерия по вектору управления $\Delta\bar{u}_1$ с учетом (14) получаем уравнение первого регулятора:

$$\frac{\partial J_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + (l+1)T_0 \right]}{\partial \Delta\bar{u}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right]} = 2B_{11}^T \left\{ (I_{11} + W_{11} - W_{11}q_1^{-1}) \bar{Y}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] + \right. \\ \left. + B_{11} \Delta\bar{u}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] + W_{12} \Delta\bar{Y}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] - \bar{G}_1 \right\} + 2R_1 \Delta\bar{u}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] = 0.$$

Отсюда определяется закон управления первого регулятора в приращениях переменных:

$$\Delta\bar{u}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] = -(B_{11}^T B_{11} + R_1)^{-1} B_{11}^T \left\{ (I_{11} + W_{11} - W_{11}q_1^{-1}) \bar{Y}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] + \right. \\ \left. + W_{12} \Delta\bar{Y}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] - \bar{G}_1 \right\}, \quad l = 0, 1, \dots, m-1, \quad (17)$$

который на основе раскрытия разности $\Delta\bar{u}_1$ может быть записан

$$\bar{u}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] = \bar{u}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + (l-1)T_0 \right] - (B_{11}^T B_{11} + R_1)^{-1} B_{11}^T \times \\ \times \left\{ (I_{11} + W_{11} - W_{11}q_1^{-1}) \bar{Y}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] + W_{12} \Delta\bar{Y}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] - \bar{G}_1 \right\}. \quad (18)$$

Для синтеза второго вектора управления $\Delta\bar{u}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right]$, который реализуется с периодом $h = mT_0$, сформулируем второй критерий оптимальности:

$$J_2 \left[\left(\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} + 1 \right) h \right] = E \left\{ \left[\bar{Y}_2 \left[\left(\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} + 1 \right) h \right] - \bar{G}_2 \right]^T \left[\bar{Y}_2 \left[\left(\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} + 1 \right) h \right] - \bar{G}_2 \right] + \right. \\ \left. + \Delta\bar{u}_2^T \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] R_2 \Delta\bar{u}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] \right\}, \quad (19)$$

где \bar{G}_2 — вектор задающих воздействий для управления координат вершин КК \bar{Y}_2 . На основе минимизации критерия (19) по вектору управления $\Delta\bar{u}_2$ с учетом (15) синтезируем уравнение второго регулятора:

$$\frac{\partial J_2 \left[\left(\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} + 1 \right) h \right]}{\partial \Delta\bar{u}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right]} = 2B_{22}^T \left\{ (I_{22} + W_{22} - W_{22}q_2^{-1}) \bar{Y}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] + B_{22} \Delta\bar{u}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] + \right. \\ \left. + W_{21} \Delta\bar{Y}_1 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h + lT_0 \right] - \bar{G}_2 \right\} + 2R_2 \Delta\bar{u}_2 \left[\begin{bmatrix} k \\ m \end{bmatrix} h \right] = 0.$$

Отсюда определяется закон управления второго регулятора:

$$\begin{aligned} \bar{u}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] = & \bar{u}_2 \left[\left(\left[\frac{k}{m} \right] - 1 \right) h \right] - (B_{22}^T B_{22} + R_2)^{-1} B_{22}^T \left\{ (I_{22} + W_{22} - W_{22} q_2^{-1}) \bar{Y}_2 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] + \right. \\ & \left. + W_{21} \Delta \tilde{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + l T_0 \right] - \bar{G}_2 \right\}. \end{aligned} \quad (20)$$

В модели импульсного процесса (15), в которой вектор \bar{Y}_2 измеряется в дискретные моменты времени, кратные h , часто измеряемые координаты $\Delta \tilde{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + l T_0 \right]$ необходимо учитывать на основе утверждения 1 согласно (14) [1]:

$$\Delta \tilde{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + l T_0 \right] = \bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (m-1) T_0 \right] - \bar{Y}_1 \left[\left[\frac{k}{m} \right] h - T_0 \right].$$

Коэффициенты матрицы смежности W_{11} , W_{12} , W_{21} , W_{22} управляемой модели импульсного процесса КК (13) с разнотемповой дискретизацией изменяются со временем, и их необходимо оценивать в режиме реального времени. Решение этой задачи выполняется на основе шестого принципа управления импульсными процессами КК (21)–(25) [1]. Для этого управляемую модель (13) необходимо записать для каждой измеряемой координаты КК с разнотемповой дискретизацией на основе (11), (12) [1] с обратным сдвигом соответственно на T_0 и h :

$$\begin{aligned} \Delta Y_i \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + l T_0 \right] = & \sum_{j=1}^p a_{ij} \Delta Y_j \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l-1) T_0 \right] + \\ + \sum_{\gamma=1}^{n-p} \beta_{i\gamma} \Delta \tilde{Y}_{p+\gamma} \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] + & b_i \Delta u_{1i} \left[\left[\frac{k}{m} \right] h + (l-1) T_0 \right], \quad i = 1, 2, \dots, p, \quad l = 1, \dots, m; \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \Delta Y_\eta \left[\left[\frac{k}{m} \right] h \right] = & \sum_{j=1}^p a_{\eta j} \Delta \tilde{Y}_j \left[\left(\left[\frac{k}{m} \right] - 1 \right) h + l T_0 \right] + \\ + \sum_{\varphi=1}^{n-p} \beta_{\eta\varphi} \Delta Y_{p+\varphi} \left[\left(\left[\frac{k}{m} \right] - 1 \right) h \right] + & b_\eta \Delta u_{2\eta} \left[\left(\left[\frac{k}{m} \right] - 1 \right) h \right], \end{aligned} \quad (22)$$

$$\eta = p+1, \dots, n, \quad l = 0, 1, \dots, m-1.$$

Процедура рекуррентного метода наименьших квадратов (22)–(25) [1] для оценивания неизвестных коэффициентов выполняется для модели (21) с периодом дискретизации T_0 , а для модели (22) — с периодом $h = m T_0$.

Моделирование сценариев развития сложных систем на основе управления импульсными процессами когнитивных карт

Моделирование сценариев развития сложных систем реализуется на основе переходных процессов координат вершин КК при изменении задающих воздействий в замкнутой системе управления КК. Для реализации системы управления импульсным процессом необходимо точно измерять координаты вершин в реальном времени. Однако в сложных системах разной природы не все координаты измеряются. Для решения этой проблемы на основе четвертого принципа выполняется декомпозиция модели (3) [1] на две составляющие:

$$\Delta \bar{Y}_1(k+1) = A_{11} \Delta \bar{Y}_1(k) + A_{12} \Delta \bar{Y}_2(k), \quad (23)$$

$$\Delta \bar{Y}_2(k+1) = A_{21} \Delta \bar{Y}_1(k) + A_{22} \Delta \bar{Y}_2(k), \quad (24)$$

где \bar{Y}_1 , \bar{Y}_2 — соответственно измеряемый и неизмеряемый подвекторы координат вершин КК. Декомпозиция проводится согласно (5)–(8) [1]. Для управления используем модель (23), которая при формировании внешнего вектора управления принимает вид

$$\Delta \bar{Y}_1(k+1) = A_{11} \Delta \bar{Y}_1(k) + B \Delta \bar{u}(k) + A_{12} \Delta \bar{Y}_2(k). \quad (25)$$

Для синтеза системы управления представим модель динамики (25) в полных значениях координат:

$$\bar{Y}_1(k+1) = (1 + A_{11} - A_{11}q^{-1})\bar{Y}_1(k) + B(1 - q^{-1})\bar{u}(k) + A_{12}(1 - q^{-1})\bar{Y}_2(k), \quad (26)$$

где q^{-1} — оператор обратного сдвига, а вектор

$$A_{12}(1 - q^{-1})\bar{Y}_2(k) = \bar{\xi}(k) \quad (27)$$

рассматривается в качестве возмущения.

Уравнение (26) описывает динамику вынужденного движения сложной системы. При этом матрица управления B формируется проектировщиком системы управления и, как правило, выбирается в виде диагональной матрицы. Для внешнего возмущения (27) предполагается, что математическое ожидание $E\bar{\xi}(k) = 0$. Размерность вектора управления $\dim \bar{u} \leq \dim \bar{Y}_1$.

Для управления импульсными процессами КК необходимо выполнить синтез закона управления, который обеспечивает стабилизацию координат КК $\bar{Y}_1(k)$ на заданных уровнях \bar{G}_1 путем непосредственного воздействия управлений $\bar{u}(k)$ на вершины КК. Синтез закона управления реализуется на основе минимизации критерия оптимальности [5]:

$$J(k+1) = E\{(\bar{Y}_1(k+1) - \bar{G}_1)^T (\bar{Y}_1(k+1) - \bar{G}_1) + (\bar{u}(k) - \bar{u}(k-1))^T R(\bar{u}(k) - \bar{u}(k-1))\}, \quad (28)$$

который представляет собой обобщенную дисперсию невязки $\bar{Y}_1(k+1) - \bar{G}_1$ и приращений вектора $\bar{u}(k)$. В результате минимизации критерия (28) при неизмеряемых возмущениях (27) получаем уравнение

$$\frac{\partial J(k+1)}{\partial \Delta \bar{u}(k)} = 2B^T ((I + A_{11} - A_{11}q^{-1})\bar{Y}_1(k) + B\Delta \bar{u}(k) + \bar{\xi}(k) - \bar{G}_1) + 2R\Delta \bar{u}(k) = 0,$$

из которого определяется вектор управления

$$\bar{u}(k) = \bar{u}(k-1) - (B^T B + R)^{-1} B^T ((I + A_{11} - A_{11}q^{-1})\bar{Y}_1(k) - \bar{G}_1). \quad (29)$$

Моделирование сценариев развития сложных систем реализуется на основе варьирования составляющих вектора задающих воздействий \bar{G}_1 в замкнутой системе управления, ориентированной на стабилизацию координат вершин КК $\bar{Y}_1(k)$ на уровнях \bar{G}_1 .

Пример

Рассмотрим моделирование сценариев развития ИТ-компании на основе принятия решений в режиме импульсных процессов КК [6]. В ИТ-компании для выполнения сложных процессов по разработке информационных технологий целесообразно исследовать различные сценарии для обеспечения высокого качества и конкурентоспособности проекта, минимизации продолжительности его выполнения и получения максимальной прибыли. Для решения этих сложных и противоречивых задач разработана КК (рис. 1), в состав которой входят следующие вершины:

- продолжительность выполнения проекта (вершина 1);
- расходы на инновации: внедрение новых идей, технологий (вершина 2);
- зарплата, премии, пособия, бонусы (вершина 3);
- общий бюджет выполнения проекта (вершина 4);
- прибыль, полученная от реализации проекта (вершина 5);
- расходы на функционирование группы менеджеров (вершина 6);
- расходы на маркетинг (вершина 7);
- продажа однотипных проектов (вершина 8);
- расходы на проведение аттестации и переаттестации кадров (вершина 9);
- расходы на повышение квалификации (вершина 10);
- технический контроль (вершина 11);
- интеллектуальные активы (вершина 12);
- качество проекта (вершина 13);
- конкурентоспособность (для внешних проектов) (вершина 14);
- удовлетворенность работой, энтузиазм, готовность творчески работать (вершина 15);
- база знаний, обмен опытом, информационное взаимодействие (вершина 16).

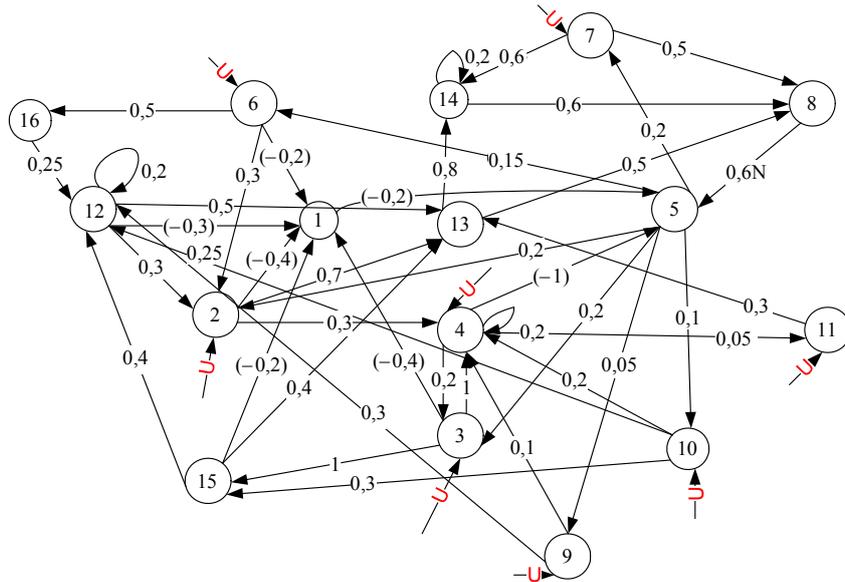


Рис. 1

Ребра КК между этими вершинами установлены на основе причинно-следственных связей, а весовые коэффициенты для каждого ребра определены экспертами согласно степени влияния одной вершины на другую.

К измеряемым координатам вершин КК $\bar{Y}_1(k)$ относятся первые одиннадцать вышеперечисленных вершин, к неизменяемым координатам $\bar{Y}_2(k)$ — интеллектуальные активы, качество проекта, конкурентоспособность, удовлетворенность работой и информационное взаимодействие. Согласно рис. 1 матрицы смежности A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} равны:

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 0 & -0,4 & -0,4 & 0 & 0 & -0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 1 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0,2 & 0 \\ -0,5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0,6N & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,05 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,05 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_{12} = \begin{pmatrix} -0,3 & 0 & 0 & -0,2 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$A_{21} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,3 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_{22} = \begin{pmatrix} 0,2 & 0 & 0 & 0,4 & 0,25 \\ 0,5 & 0 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0,8 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где N — количество однотипных проектов.

К управляемым координатам, динамика которых исследуется в процессе моделирования, относятся:

- продолжительность выполнения проекта (вершина 1);
- общий бюджет выполнения проекта (вершина 4);
- прибыль, полученная от реализации проекта (вершина 5);
- продажа однотипных проектов (вершина 8).

В качестве составляющих вектора управления $\bar{u}(k)$ в (49), (53) выступают ресурсы, варьирование которых непосредственно воздействует на координаты:

- расходы на инновации: внедрение новых идей и технологий (вершина 2);
- зарплата, премии, пособия, бонусы (вершина 3);
- общий бюджет выполнения проекта (вершина 4);
- расходы на функционирование группы менеджеров (вершина 6);
- расходы на маркетинг (вершина 7);
- расходы на проведение аттестации и перееаттестации кадров (вершина 9);
- расходы на повышение квалификации (вершина 10);
- технический контроль (вершина 11).

Все составляющие $\bar{u}(k)$ относятся к финансовым показателям, кроме технического контроля, в который входят профессиональная, административная и финансовая составляющая.

На рис. 2 представлены графики переходных процессов (сценариев развития) четырех управляемых координат вершин КК при скачкообразном изменении соответствующих задающих воздействий. Все величины измеряются по условной 10-балльной шкале. На рис. 3 приведены графики изменения координат вершин КК, на которые непосредственно подаются управляющие воздействия на протяжении переходного процесса, т.е. которые выступают в качестве управлений.

На основе анализа результатов моделирования можно сделать вывод, что динамика выходных управляемых координат вершин КК стабилизируется на протяжении 7–12 периодов дискретизации, при этом координаты достигают величин, лучших для бизнеса ИТ-компании, чем исходные значения.

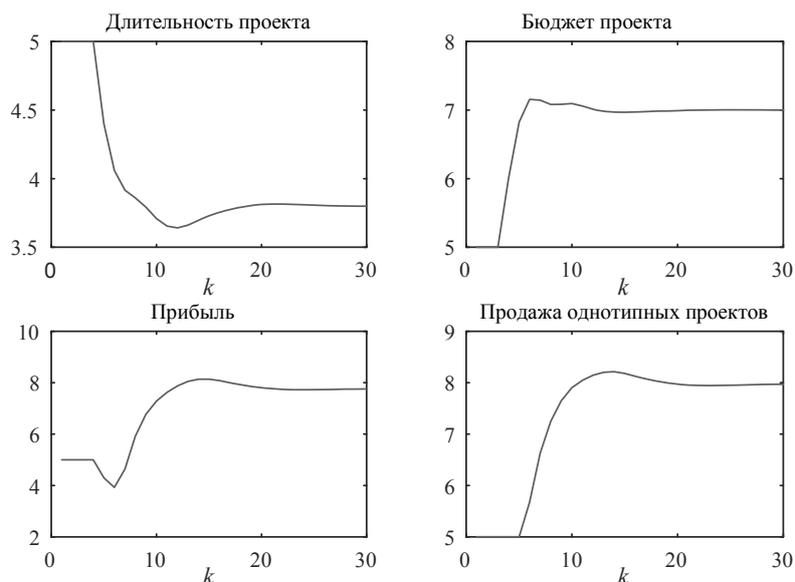


Рис. 2

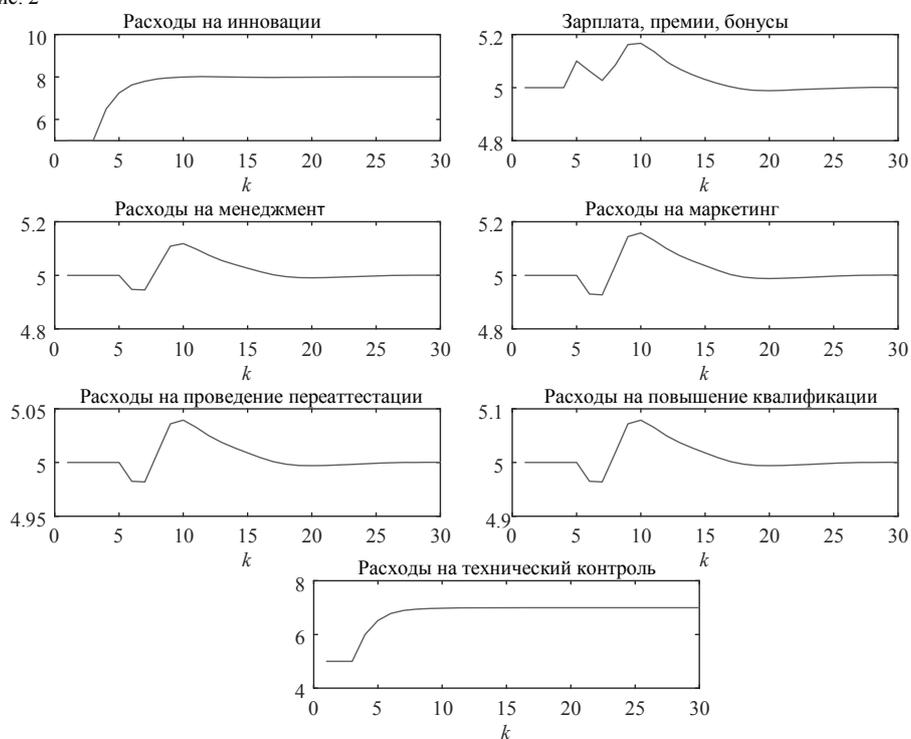


Рис. 3

Заключение

В настоящей работе выполнено теоретическое обобщение методов синтеза систем управления импульсными процессами в когнитивных картах сложных систем, а именно:

- рассмотрен метод стабилизации неустойчивого импульсного процесса КК на основе применения эталонной модели динамического режима многомерной замкнутой системы управления;
- рассмотрен метод управления соотношениями координат вершин КК сложной системы при неустойчивом импульсном процессе;
- исследована возможность применения метода модального управления для стабилизации импульсных процессов в когнитивных моделях;

— разработан метод управления импульсными процессами когнитивной карты сложной системы с разнотемповой дискретизацией координат вершин.

Выполнено моделирование сценариев развития IT-компании на основе четвертого принципа управления импульсным процессом разработанной когнитивной карты посредством декомпозиции модели импульсного процесса КК на две части. Первая часть модели составлена для описания динамики измеряемых координат вершин исходной КК, а во вторую часть входят неизмеряемые координаты вершин. Результаты моделирования подтвердили целесообразность и эффективность управления импульсными процессами когнитивных карт сложных систем на основе методов теории управления.

М.З. Згуровський, В.Д. Романенко, Ю.Л. Мілявський

ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ІМПУЛЬСНИМИ ПРОЦЕСАМИ В КОГНІТИВНИХ КАРТАХ СКЛАДНИХ СИСТЕМ. Частина 2

Виконано теоретичне узагальнення методів синтезу систем управління імпульсними процесами в КК складних систем з однотемповою та різнотемповою дискретизацією координат. Розглянуто задачі стабілізації та координації імпульсних процесів. Здійснено цифрове моделювання сценаріїв розвитку IT-компанії на основі управління імпульсними процесами розробленої КК.

M.Z. Zgurovsky, V.D. Romanenko, Yu.L. Milyavsky

PRINCIPLES AND METHODS OF IMPULSE PROCESSES CONTROL IN COGNITIVE MAPS OF COMPLEX SYSTEMS. Part II

Theoretical generalization is provided for methods of control systems synthesis of impulse processes of complex systems CM with unirate and multirate coordinates sampling. Stabilisation and coordination problems for impulse processes are considered. Digital simulation of IT-company's development scenarios was done based on control of impulse process in the proposed CM.

1. *Згуровський М.З., Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л.* Управление импульсными процессами на основе когнитивных карт сложных систем. Часть 1 // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2016. — № 2. — С. 21–29.
2. *Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л., Реутов А.А.* Метод адаптивного управления неустойчивыми импульсными процессами в когнитивных картах на основе эталонных моделей // Там же. — 2015. — № 2. — С. 35–45.
3. *Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л.* Управление соотношениями координат когнитивной модели сложной системы при неустойчивом импульсном процессе // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2015. — № 1. — С. 121–129.
4. *Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л.* Стабилизация импульсных процессов в когнитивных картах сложных систем на основе модальных регуляторов состояния // Кибернетика и вычислительная техника. — 2015. — Вып. 179. — С. 43–55.
5. *Изерман Р.* Цифровые системы управления. — М.: Мир, 1984. — 541 с.
6. *Исследование сценариев развития IT-компании на основе принятия решений в режиме управления импульсными процессами когнитивных карт / В.Д. Романенко, Ю.Л. Мілявський, М.В. Поляков, Ю.А. Лецер, Г.Я. Шевченко // Тез. докл. 1 Междунар. науч.-техн. форума «Наука и бизнес» (Днепропетровск, Noosphere, 29–30 июня 2015 г.). — Днепропетровск, 2015.*

Получено 21.12.2015