УДК 044.451.5

С.Г. СЕМЕНОВ, к.т.н., доц. НТУ "ХПИ", г. Харьков,
В.В. ДАВЫДОВ, аспирант НТУ "ХПИ", г. Харьков

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НАБЛЮДАЕМОГО СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ПОРТРЕТА

В статье разработана динамическая модель информационной системы, учитывающая апостериорные данные о ее структурных изменениях в условиях внешних воздействий. Предложен подход к оценке структурных особенностей информационной системы на основе наблюдаемого структурно-информационного портрета. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: информационная система, структурно-информационный портрет, динамическая модель.

Постановка проблеми. Проведенный структурно-функциональный анализ информационных систем [1] дает возможность утверждать, что как объект управления такая система характеризуется наличием различного рода неопределенностей. К ним относятся неопределенности математических моделей, неконтролируемые изменения параметров внутренних подсистем, действие на систему случайных внешних факторов и др. Именно поэтому ряд авторов при решении задач управления в информационных системах предпочитают использовать средства моделирования нечетких данных и знаний, нечеткого логического выделения, методы теории адаптивных систем.

Из [2 – 6] известно, что одно из центральных мест в решении задач синтеза математических моделей занимает теория идентификации.

Анализ литературы [3 – 7] показал, что при решении задач идентификации объектов управления в информационных системах в настоящее время используется целый ряд подходов, наиболее результативные из которых базируются на использовании параметрических динамических моделей систем. Так в некоторых подсистемах управления с медленно меняющимися и неизменными параметрами (подсистемах управления, программного и математического обеспечения) [1] чаще всего используются безынерционные динамические модели (например, модель тренда или регрессионная модель), а в подсистемах с быстроизменяемыми параметрами (подсистемах информационного и технического обеспечения) – инерционные динамические, а так же окрестностные модели.

Проведенные исследования [3, 6] показали, что в случае использования безынерционных моделей их структура задается в виде передаточных функций $F(A,t)$ (модель тренда) или $F(A,U,t)$ (регрессионная модель), известных с точностью до вектора параметров $A(t)$ и вектора входа $U(t)$, а так же множеств χ и ξ переменных возмущений (помех) $\chi(t) \in \chi \subset R^q$ и $\xi(t) \in \xi \subset R^n$ соответственно, где R^q, R^n – пространства структурных и функциональных параметров. Это в целом несколько упрощает процесс моделирования, но ограничивает круг решаемых задач до систем управления статическими или квазистатическими объектами.

Целью статьи является разработка динамической модели информационной системы на основе наблюдаемого структурно-информационного портрета.

Основная часть. В настоящее время при моделировании сложных технических систем разработчики все чаще обращаются к методам построения инерционных динамических моделей, которые позволяют решить задачи адаптивной идентификации. Это особенно важно в условиях априорной неопределенности, характерной для информационной системы. В таких моделях причинно-следственные связи в структурно-функциональном пространстве R исследуемого объекта на множестве апостериорных данных $I_{an} = \{Y(t), U(t), \chi(t), \xi(t), t \in R^t\}$ можно описать с помощью выражений

$$S(t) = F_1(S, A_1, U, \chi, \xi, t, \tau), \qquad (1)$$

$$Y(t) = F(S, A, U, \chi, \xi, t), \qquad (2)$$

а множество динамических процессов в объектах управления можно описать с помощью дифференциального уравнения с одним входом и выходом [3]

$$a_0 y^{(m)} + a_1 y^{(m-1)} + \ldots + a_m y = b_0 u^{(k)} + b_1 u^{(k-1)} + \ldots + b_k u + \xi + \chi, \qquad (3)$$

где $S(t) \in R^s$ – вектор внутреннего состояния объекта управления; F_1, F – внутренние нелинейные операторы, структура которых известна с точностью до векторов искомых параметров $A_1(t)$, $A(t)$, принадлежащих ограниченной, но априори неизвестной области $G_A \subseteq R^v$; $Y(t)$ – вектор выходных параметров системы; $\tau \in \Im$ – некоторый интервал времени (временная задержка).

В соответствии с выражением (3) можно получить операторное представление объекта через передаточную функцию и перейти к ее конечно-разностному представлению [3].

Пусть $t = n\Delta t$, где $n = 0, 1, ..;$ Δt – интервал мониторинга данных, а $\wp$ – оператор сдвига назад:

$$\wp y(n) = y(n-1).$$

Тогда

$$D_y(\wp)y(n) = D_u(\wp)u(n) + \xi(n) + \chi(n), \tag{4}$$

где $D_y(\wp) = a_0\wp^m + a_1\wp^{m-1} + ... + a_m$, $D_u(\wp) = b_0\wp^k + b_1\wp^{k-1} + ... + b_m$.

Если $\xi(n)$, $\chi(n)$ случайные последовательности, то выражение (4) представляет собой уравнение авторегрессии – скользящего среднего, а при $D_u(\wp) = 1$ – модель скользящего среднего. Тогда уравнение (4) с динамической спецификацией для $\xi(n), \chi(n)$ можно представить в виде [3]:

$$Y(t) = F(A, Y(\tau_1), U(\tau_2), \xi(\tau_3), \chi(\tau_3), \tau_i \in [t_{\tau_i}, t], i = \overline{1,3}),$$

где $t_{\tau_i} > t$.

Исследования [2 – 5] показали, что в настоящее время в связи с использованием в системах управления средств вычислительной техники уравнения (3) – (4) целесообразно представлять в матричной форме. В этом случае для линейного стационарного объекта управления уравнение в пространстве состояний имеет вид:

$$\overline{X} = AX + BU + \xi + \chi, \tag{5}$$

$$Y = CX + DU + \zeta, \tag{6}$$

где $\overline{X}$ – измеряемый вектор состояния объекта; $A \in R^{m\times m}$ – матрица состояния; $X \in R^m$ – вектор состояния; $U \in R^k$ – вектор входа; $\xi \in R^m$, $\chi \in R^m$ – вектора помех; $B \in R^{m\times k}$; $C \in R^{n\times m}$; $D \in R^{n\times k}$; $\zeta \in R^n$ – ненаблюдаемый вектор ошибок измерения; $Y \in R^n$ – вектор выхода.

Если матрицы *A*, *B*, *C*, *D* параметризованы с точностью до некоторых векторов A_A, A_B, A_C, A_D, то выражение (5) представляет собой уравнение состояния, а выражение (6) – уравнение измерения (наблюдения). Аналогичные модели состояния могут быть получены для нестационарных, нелинейных и дискретных объектов. Если $\xi(n)$, $\chi(n)$ являются белым шумом, то уравнение (5) можно рассматривать как стохастическое дифференциальное уравнение в форме Ито [8].

Реализация моделей в пространстве состояний связана с необходимостью оценки ненаблюдаемых компонентов вектора $X(t)$ на множестве I_{an}. Однако, как показали исследования, в условиях априорной неопределенности данная задача не всегда выполнима с заданной точностью. Решение указанной проблемы большинство современных авторов [2 – 4] связывают с разработками моделей с обобщенным входом. В этом случае уравнения (5), (6) приводятся к форме, позволяющей использовать информацию о входе и выходе объекта. Для объекта с одним входом $u(t)$ и выходом $y(t)$ модель с обобщенным входом записывается в виде:

$$\dot{y} = A^T P,$$
$$\dot{P}_1 = [\Lambda \dot{+} \Lambda] P_1 + \left[M_1^T \; y \; \mathrm{M}_2^T \; u \right]^T, \tag{7}$$

где $A \in R^{2m}$ – вектор параметров; $P = \left[y \; P_1^T \; u \right]^T$ – вектор обобщенного входа; $P_1(t) = P_1(t, u, y)$; $\Lambda \in R^{(m-1)\times(m-1)}$ – диагональная устойчивая матрица; $M_i \in R^{m-1}$ $(i = 1, 2)$ – вектор с постоянными параметрами, выбираемый так, чтобы пара (Λ, M_i) была наблюдаемой; $\dot{+}$ – знак прямой суммы матриц [3]. Следует заметить, что при моделировании отдельных подсистем информационной системы в качестве обобщенных входных параметров могут выступать коэффициенты, характеризующие структурное состояние подсистем, например коэффициент структурности $k = \dfrac{y(t)}{u(t)}$. В общем виде система уравнений (7) может содержать вектор обратной связи, зависящий от $P(t)$. В этом случае можно получить каноническое идентификационное представление в пространстве состояний.

Проведенный анализ инерционных динамических моделей (выражения (5) – (7)) объектов управления показал, что в настоящее время выбор их структуры является эвристическим процессом, и практически не поддается формализации. В то же время решение о структуре модели исследуемой системы должно приниматься, исходя из принципа информационной полноты анализируемых (используемых при моделировании) данных. Особенно это важно в условиях априорной неопределенности, характерной для функционирования информационных систем.

Исходя из этого, в разработанной модели информационной системы объем и наполняемость множества I, является ограничением, определяющим цель моделирования системы, эффективность ее функционирования и качество получаемого решения.

Используем приведенные выше предложения при моделировании информационной системы. Для этого рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= F(X,U,A,t),\\ Y &= F_Y(X,U,A_1,t),\end{aligned} \tag{8}$$

где $U \in \Omega_U \subset \widehat{U} \subseteq R^m$ – входной вектор системы; Ω_U – множество входных векторов системы; $Y \in \widehat{Y} \subset R^n$ – выход системы; $X \in \widehat{X} \subseteq R^q$ – вектор состояния; $\widehat{U}, \widehat{Y}, \widehat{X}$ – множества входных и выходных сигналов, а так же состояний системы соответственно, $\widehat{Y} \subseteq \widehat{X} \subseteq R^n$, $A \in R^{q\times p}$; $A_1 \in R^{n\times q}$ – матрицы параметров; $F : R^q \times R^m \times J \to R^q$ – гладкая непрерывно дифференцируемая по $\widehat{X}$ и по A вектор-функция; $t \in J$; $F_Y : R^q \times R^m \times J \to R^n$ – функция, задающая способ формирования выходного вектора системы.

В состав множества I_{an} входят не сами векторы U и Y, а их наблюдаемые (измеряемые) аналоги (векторы $\widetilde{U}(t)$, $\widetilde{Y}(t)$), которые получаются в результате мониторинга информационной системы и применения операторов f_U, f_Y в пространствах $\aleph$, $\Re$ входных и выходных векторов соответственно, а так же временном пространстве J :

$$f_U : \aleph \times J \to R^m, \; f_Y : \Re \times J \to R^n. \tag{9}$$

Следует заметить, что указанные в (8) операторы отражают так же ошибки измерения.

Операторы $f_U \in N_U$, $f_Y \in N_Y$ определены на множествах N_U, N_Y, характеризующих неопределенность процесса измерения. В зависимости от доступности процесса наблюдения множества N_U и N_Y могут иметь как нечеткую (гиперобъемную – гиперкуб, гиперцилиндр) природу, так и статистическую [3, 4].

Обозначим через $\Xi(t'; t' \ge t_0; X(t_0); U(\cdot) \in \Omega_U)$ множество достижимости системы (8), то есть совокупность траекторий наблюдаемого структурно-информационного портрета, реализованных к моменту времени $t' \in J$ из начального состояния $X(t_0)$ под воздействием входного вектора $U(\cdot) \in \Omega_U$. Множеству Ξ в пространстве выходных векторов (наблюдаемости) $Y \subseteq R^n$ соответствует некоторое подмножество достижимости $\Xi_Y \subseteq \Xi$, структура которого в силу наложения множеств N_U, N_Y и включения $Y \subseteq X$ может значительно отличаться от Ξ :

$$\Xi_Y = F_Y(\Xi) \times N_Y \subseteq \Xi.$$

В ряде источников [2 – 6] под информационным множеством системы понимается множество

$$I_{\Xi} = \Xi(t';t' \geq t_0; X(t_0); \overline{U}(\cdot) \in \Omega_U), \tag{10}$$

то есть совокупность всех траекторий структурно-информационного портрета системы (8) на множестве доступных для измерения входных векторов $\tilde{U}(\cdot) \in \Omega_U$.

Таким образом, $I_{\Xi} \subseteq \hat{X} \subset \Im$, где $\Im$ – пространство состояний системы.

Однако проведенный анализ показал неполноту наполнения информационного множества перечисленными в (10) априорными и экспериментальными данными, что может привести к неточностям структурной идентификации. В системах идентификации целесообразно использовать множество I_{an}. Используя операторы (9) получим множество наблюдений (наблюдаемое структурно-информационное множество)

$$\begin{gathered} I_{an} = I(\tilde{U},\tilde{Y}) = (\tilde{U} \in R^m,\ \tilde{Y} \in R^n \Big| \tilde{U}(t) = f_U(U,t), \\ \tilde{Y}(t) = f_Y(Y,t)\ \forall (t \in J)). \end{gathered} \tag{11}$$

Следует заметить, что множества I_{an} и $I(U,Y) = (U \in R^m, Y \in R^n \Big| U(t), Y(t)\ \forall (t \in J))$, имеют одинаковую мощность и определены в одном и том же пространстве $U \times Y$, но в силу наличия множеств неопределенности N_U, N_Y, которые преобразуют множество $I(U,Y)$ в I_{an}, имеют разную структуру

$$I_{an} = I(\tilde{U},\tilde{Y}) = I(U,Y) \times N_U \times N_Y. \tag{12}$$

Представим множество (11) в виде

$$I_{an} = I(\tilde{U},\tilde{Y}) = I(\tilde{U}) \cup I(\tilde{Y}), \quad \forall t \in J.$$

Определим бинарное отношение Z между множествами $\hat{U}$ и $\hat{Y}$ системы (8): $Z \subset \hat{U} \times \hat{Y}$. Назовем это множество портретом системы (8) в пространстве $\aleph \times \Re$. Множество Z является дополнением множества Ξ при проектировании его на $\hat{U} \times \hat{Y}$. Соответствующий фазовый портрет системы (8) представим в виде

$$Z_{ф} \subset \hat{X} \backslash \hat{U} \times \hat{Y} \quad \forall U(\cdot) \in \Omega_U. \tag{13}$$

Расширенным фазовым портретом системы будем называть отображение

$$Z_{ф} \subset \widehat{X} \times \widehat{U} \quad (\forall U(\cdot) \in \Omega_U) \& (\forall t \in J).$$

Аксиома. Для любого наблюдаемого структурно-информационного множества $I(\widetilde{U}, \widetilde{Y})$ (11) системы (8), определенного в пространстве $\aleph \times \Re$, наблюдаемыми структурно-информационными портретами называются бинарные отношения:

$$Z_i = Z_i(I_{an}) \subset I(\widetilde{U}) \times I(\widetilde{Y}), \tag{14}$$

$$Z_i = Z_i(I_{an}) \subset I(\widetilde{U}/\widetilde{Y}) \times I(\widetilde{Y}). \tag{15}$$

Из (14) следует, что $Z \subseteq Z_i$ и $dom(Z_{ф}) = rng(Z)$, то есть между ними существует структурное соответствие.

Следует заметить, что для некоторых технических систем в ряде руководящих документов уже заданы параметры, определяющие их структурность. Так, например, одна из подсистем информационной системы (информационного обеспечения) структурно характеризуются с помощью показателя (коэффициента) пачечности $K_n = \dfrac{V_{max}}{V_{cp}}$. Поэтому представляется целесообразным учет данного показателя при построении структурно-информационного портрета подсистемы информационного обеспечения и дальнейшем моделировании информационной системы.

Выводы. Таким образом**,** разработана инерционная динамическая модель информационной системы, отличающаяся от известных, учетом наблюдаемого структурно-информационного множества данных. Это позволит повысить точность структурной идентификации системы в условиях воздействия на нее различного рода помех.

Проведенное исследование позволило выявить ряд новых свойств системы, которые дополняют динамическое множество Ξ. В дальнейшем это позволит определить ряд новых характеристик информационной системы, полезных в процессе решения задачи структурной идентификации.

Список литературы: **1.** *Семенов С.Г.* Структурно-функциональный анализ современных информационных систем с разработкой комплексного показателя эффективности их функционирования / *С.Г. Семенов* // Зб. наукових праць. Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2011. – Вип. 2 (92). – С.1 45-150. **2.** *Городецкий А.Я.* Информационные системы. Вероятностные модели и статистические решения. Учебн. пособие / *А.Я. Городецкий.* – СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 326 с. **3.** *Карабутов Н.Н.* Структурная идентификация систем: анализ динамических структур / *Н.Н. Карабутов.* – М.: МГИУ, 2008. – 160 с. **4.** *Киричков В.Н.* Построение адаптивных моделей динамических объектов по данным эксперимента / *В.Н. Киричков, А.Н. Сильвестров.* – К.: Вища школа, 1985. – 68 с. **5.** *Кузнецов А.А.* Метод структурной идентификации информационных потоков в телекоммуникационных сетях на основе BDS-тестирования / *А.А. Кузнецов, С.Г. Семенов, С.Н. Симоненко, Е.В. Мелешко*

// Науково-технічний журнал "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". Випуск 2 (4). – Х.: ХУПС. – 2010. – С. 131-137. **6.** *Семенов С.Г.* Сравнительные исследования методов идентификации трафика в телекоммуникационной сети для повышения оперативности передачи данных / *С.Г. Семенов, Е.В. Мелешко* // Науково-технічний журнал "Прикладная радиоэлектроника". – 2003. – Т. 9. – № 3. – Х.: ХНУРЕ. – 2010. – С. 444-448. **7.** *Semenov S.* The method of processing and identification of telecommunication traffic based on BDS-tests / *S. Semenov, A. Smirnov,* E. Meleshko // The book of materials International Conference "Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)". – Kiev, Ukraine, National Aviation University "NAU-Druk" Publishing House, 2010. – C. 166-168. **8.** *Кузнецов Д.Ф.* Численное моделирование стохастических дифференциальных уравнений и стохастических интегралов / Д.Ф. Кузнецов. – СПб.: Наука. – 1999. – 463 с.

Статья представлена д.т.н. проф. Удовенко С.Г. проф. кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники.

УДК 044.451.5

Динамічна модель інформаційної системи на основі структурно-інформаційного портрету, що спостережується / Семенов С.Г., Давидов В.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 36. – С. 156 – 163.

В статті розроблена динамічна модель інформаційної системи, яка враховує апостеріорні дані про її структурні зміни в умовах зовнішніх впливів. Запропоновано підхід до оцінки структурних особливостей інформаційної системи на основі структурно-інформаційного портрету, що спостережується. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: інформаційна система, динамічна модель, структурно-інформаційний портрет.

UDC 044.451.5

Dynamic model of information system based on observed structural-information portrait. / Semenov S.G., Davydov V. V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 156 – 163.

Dynamic model of information system, which consider a prior data about its structural changes in conditionals of external influences is developed in the article. Approach of assessing structural features of information systems based on observed structural-information portrait was proposed in the article. Refs: 8 titles.

Keywords: information system, dynamic model, structural-information portrait

Поступила в редакцию 12.07.2011