

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А. В. ДЕМИН, С. П. ДМИТРИЕВА

Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: job_8@mail.ru

Представлена аналитическая модель оценивания состояния многопараметрической технической системы, позволяющая на основе апостериорной информации контролировать выполнение целевых функций системы в ходе эксплуатации. При построении модели необходимо выделить основные свойства системы и ее характерные особенности, а также представленные на структурном уровне ограничения в виде совокупности доменов, что позволяет корректировать параметры системы, обеспечивая их инвариантность к действию возмущений. Аналитическая модель рассматривается применительно к распределенной иерархической сложной многоагентной динамической измерительной системе в рамках проекта по построению метеокомплекса.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, аналитическая модель, прогноз, алгоритм, оценка, энергетический домен, иерархическая многоагентная динамическая измерительная система.

Проектирование технических систем ведется в условиях жестких ограничений на материальные, энергетические и временные ресурсы. Одной из важных проблем при обеспечении правильного функционирования системы является возможность прогнозирования ее функционально-параметрических показателей на определенный период эксплуатации [1—3]. Иными словами, помимо текущего контроля параметров необходимо создание модели прогнозирования состояния системы или ее подсистем в реальном масштабе времени. Построение модели прогнозирования поведения многопараметрической технической системы, работающей в автономном режиме, и особенно создание алгоритма моделирования [4] актуально, прежде всего, для систем, работающих в автономном автоматическом режиме [5].

В настоящей статье предложен алгоритм построения аналитической модели ($M_{ИУС}(g_k)$) прогнозирования состояния информационно-измерительной и управляющей системы (ИУС(g_k)), являющейся многоагентной технической системой, функционирующей в неопределенной относительно внешних возмущений обстановке.

Для построения модели воспользуемся теорией прогнозирующих моделей (Model Predictive Control — MPC) [6—9], которая позволяет на основе данных о ИУС(g_k) в определенный момент времени создавать модель с высокими адаптивными свойствами; в результате выполняется следующее условие:

$$\{M_{ИУС}(g_k)\}_1^n \cap \{ИУС(g_k)\}_1^n = \max. \quad (1)$$

Возможная схема ИУС(g_k) с использованием аналитической модели ($M_{ИУС}(g_k)$) представлена на рис. 1.

Как видно из приведенной схемы, процесс построения аналитической модели состоит из двух этапов:

1) по входным параметрам системы в текущий момент времени t_i строится аппроксимирующая функция $M_{ИУС}(g_k(t_i))$;

2) задается период прогнозирования T_Δ состояния системы, и функция $M_{ИУС}(g_k(t_i))$ экстраполируется по времени прогноза $(t_i + T_\Delta)$, по результатам экстраполяции строится аналитическая модель прогнозирования состояния информационно-измерительной и управляющей системы — $M_{ИУС}(g_k(t_i + T_\Delta))$, которая далее по определенным критериям проверяется на соответствие начальным условиям:

$$\{M_{ИУС}(g_k)\}_1^n \cap \{ИУС(g_k)\}_1^n \in (> \text{ or } \leq)\Delta. \tag{2}$$

Согласно формуле (2), можно предположить наличие некоторого периода функционирования системы. Исходя из условий работы самой системы, допускается, что она обладает периодом функционирования, тогда можно результаты моделирования апробировать при работе реальной системы, предварительно проверив их на корректность по заданным критериям.

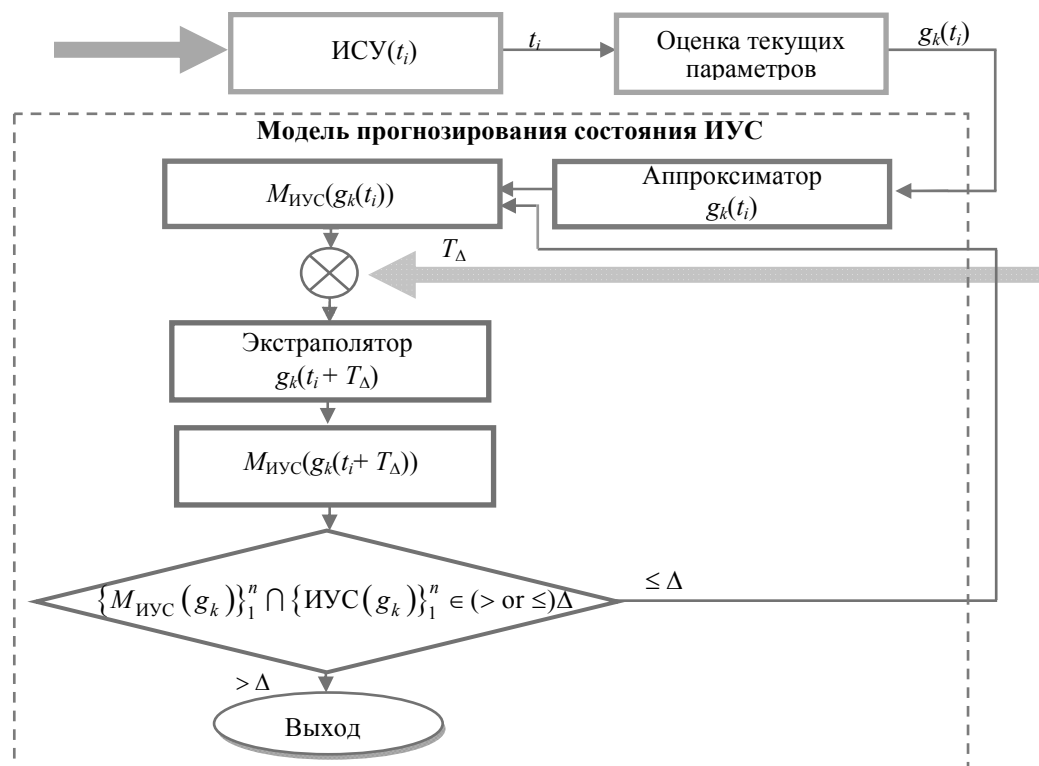


Рис. 1

Если на выходе пересечение модельных и реальных значений параметров ИУС больше, чем их разность, то построенную аналитическую модель можно считать моделью прогнозирования состояния системы с найденным периодом ее функционирования. В противном случае, если период функционирования системы нереализуем, то он задается „искусственно“ с оценкой разности результата, полученного по заданным параметрам системы, и результатов обработки модельных данных с „искусственным“ периодом.

Схема создания модели $M_{ИУС}(g_k)$ для $ИУС(g_k)$ (см. рис. 1) представлена применительно к мобильной многоагентной системе мониторинга окружающей среды, функционирующей в неопределенной относительно внешних возмущений обстановке. На рис. 2 приведена схема распределенной иерархической многоагентной сложной динамической технической измерительной системы, которая состоит из центра сбора и обработки информации и мобильных сенсоров (датчиков определения приземных метеорологических величин). Встроенный в метеостанцию радиомодем позволяет принимать и обрабатывать радиосигнал на частотах в диапазоне 28 МГц. В центр сбора и обработки информации введены система авторизации

для обеспечения защиты от несанкционированного доступа и система самотестирования; модуль отображения информации и клавиатура позволяют полноценно управлять работой удаленных станций (оптимальное количество которых не менее 10), т.е. формировать послышки для внешних систем и работать с принятыми данными.



Рис. 2

Мобильные сенсоры представляют собой одноблочную конструкцию (рис. 3), состоящую из датчиков определения приземных метеорологических величин, и предназначены для измерения приземных параметров атмосферы, сбора, обработки, хранения и передачи данных на радиомодем; сенсоры имеют два основных режима работы — автоматический и по запросу. Устройство формирования данных метеоизмерений обеспечивает непрерывный анализ данных, их преобразование в цифровые сигналы, хранение и передачу во внешние информационные системы посредством цифровой линии связи в кодированном виде. В качестве запоминающего устройства используется микросхема памяти ПЗУ с электрическим перепрограммированием Flash-типа, которая обеспечивает хранение метеорологической информации в течение 30 суток.

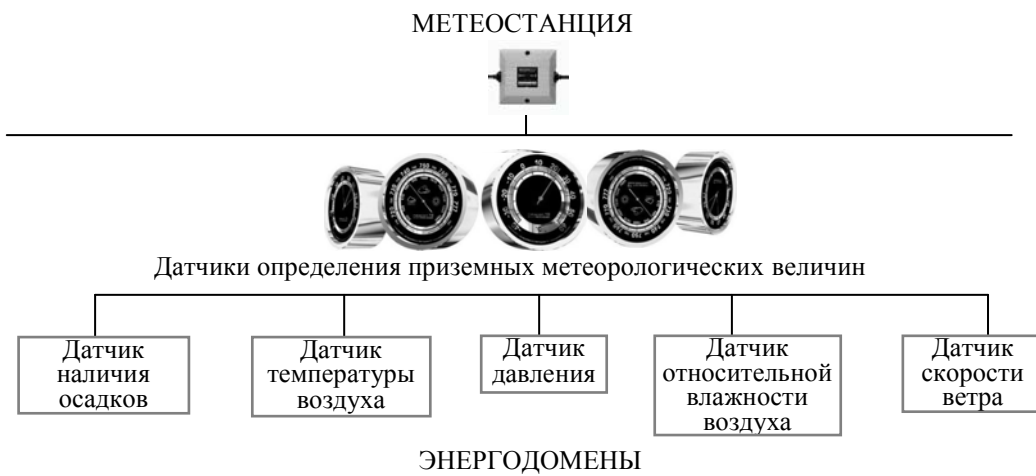


Рис. 3

Для данной системы, помимо вышеназванных, характерно выполнение следующих задач:

- создание модели оценивания состояния среды на текущий момент времени;
- создание модели прогнозирования;
- проверка и коррекция модели прогнозирования;
- прогнозирование состояния среды на последующий период.

Информационно-измерительная и управляющая система может быть представлена на структурном уровне как совокупность функциональных доменов $R^{(n)}$ со связями между ними $\{S_i\}_1^l$ и операторами действия $\{P^{(j)}\}_1^m$ [4, с. 22]:

$$M_{\text{стр}}^{(T)} = \langle\langle S_1, S_2, \dots, S_l; R^{(1)}, R^{(2)}, \dots, R^{(n)}; P^{(1)}, P^{(2)}, \dots, P^{(m)} \rangle\rangle. \quad (3)$$

Подобный подход справедлив для любой технической системы, к которым относится и ИУС.

Для построения алгоритма прогнозирования представим обобщенную структуру многопараметрической системы в виде множеств двух видов: M_i – множество субъектов системы; S_{ij} – множество связей между субъектами, характеризующих отношения между ними и процессы передачи информации (описание типа и протокола передачи информации — см. таблицу [4, с. 13]).

Структура	Описание элементов
M_1	Множество исследуемых объектов
M_2	Множество субъектов, воздействующих на множества M_1, M_3, M_4
M_3	Множество преобразователей, обрабатывающих входную информацию
M_4	Множество результатов преобразования информации (математический вид, электрический сигнал, оптический сигнал, видеоизображение, фото и т.д.)
M_5	Множество получателей информации из системы и принятых решений (визуальное восприятие человеком, электрический датчик, оптическая система управления, архив данных и т.д.)
S_{12}	Определение характера взаимодействия между множествами M_1 и M_2
S_{23}	Определение характера взаимодействия между множествами $M_1 \cup M_2$ и $M_3 \cup M_4$, т.е. описание процесса передачи информации от объектов исследования к входу системы
S_{34}	Описание характера процесса передачи данных с выхода множества M_3 на вход множества M_4
S_{45}	Связь: протокол обмена информацией — интерфейс

Не умаляя общности рассуждений и выводов, ограничимся определением системы как совокупности множеств M_3 и M_4 со связями S_{23} , S_{34} и S_{45} и по мере необходимости будем его расширять.

Элементы множеств M_i , описывающие непосредственно характеристики состояний доменов, будем считать абсолютными характеристиками, а элементы вида S_{ij} , описывающие характер отношений между вышеозначенными множествами, определим как относительные характеристики. В силу выбранного (см. рис. 1) временного графика прохождения сигнала по элементам системы (последовательное, параллельное, параллельно-последовательное) общая погрешность преобразования будет аддитивной величиной для одних параметров (ΔI_{\oplus}), мультипликативной — для других (ΔI_{\otimes}) и их сочетанием — для третьих (ΔI_{Σ}):

$$\Delta I_{\oplus} = \left\{ \sum_i \delta I_i \right\}; \Delta I_{\otimes} = \left\{ \prod_j \delta I_j \right\}; \Delta I_{\Sigma} = \left\{ \sum_i \delta I_i \right\} \cup \left\{ \prod_j \delta I_j \right\}.$$

При построении аналитической модели состояния системы соотнесем ее математическую структуру с известной на момент выполнения исследований: см. формулу (3).

Используемый для построения модели метод мультидоменного физического моделирования состоит в том, что модель любого технического устройства строится как совокупность функционально связанных и иерархически правильно расположенных доменов. Домены преобразуют по цепи информацию, применяя известную библиотеку элементов физических устройств, дополняя ее и расширяя, при этом каждый из элементов библиотеки характеризуется двумя физическими величинами первого и второго рода, а их произведение всегда есть „мощность“.

На рис. 4 представлен алгоритм построения рассмотренной аналитической модели прогнозирования состояния информационно-измерительной и управляющей системы.

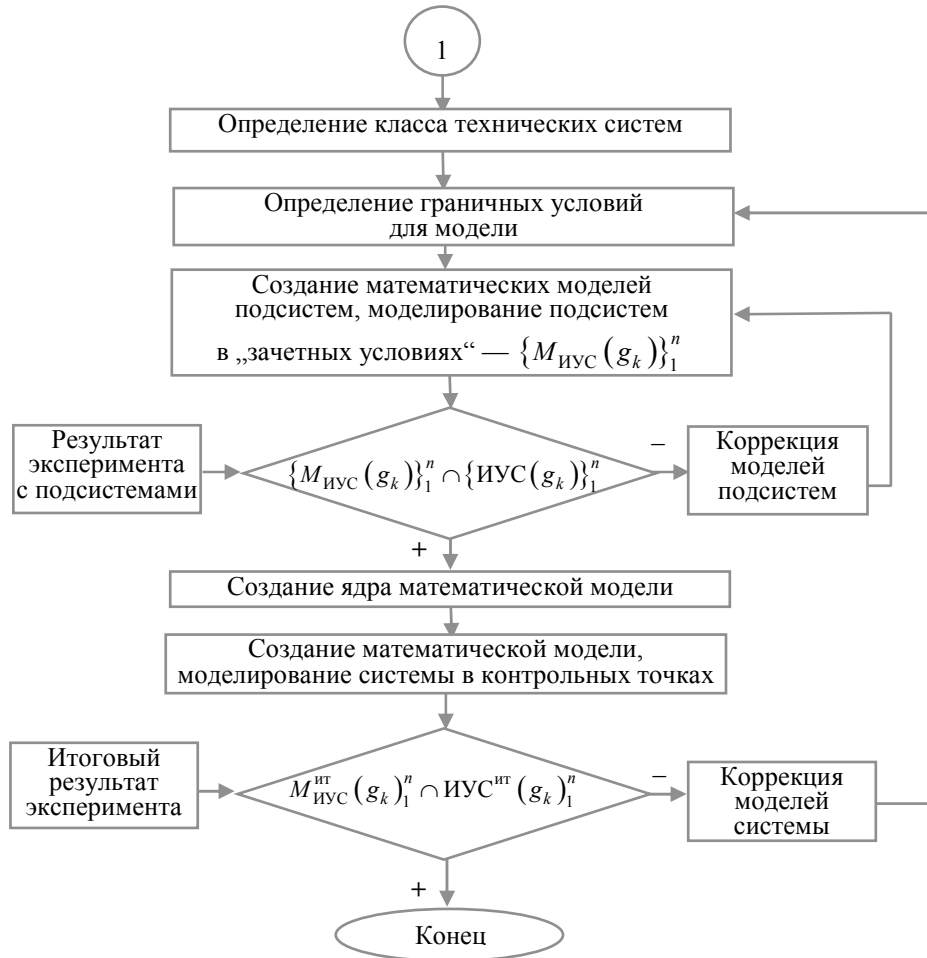


Рис. 4

Таким образом, в результате моделирования посредством прогнозирования и оценивания состояния системы проверена гипотеза о правильности схмотехнических и параметрических решений по ее построению, т.е. о необходимости вмешательства в структуру исследуемой системы и ее коррекции [10—15].

Показано, что для построения аналитической модели необходимо в первую очередь определить текущие значения параметров системы, построить по ним аппроксимирующую функцию ее состояния на данный момент времени и далее, расширив аналитическую модель и выявив период функционирования системы, проверить ее на соответствие реальным данным по заданным критериям.

Авторами настоящей статьи проводятся аналитические исследования в целях создания единых редуцированных функций оценки состояния многопараметрической технической системы и апробация результатов на практике. В ходе исследований создан алгоритм обработки экспериментальных данных и произведен их сравнительный анализ с теоретическими расчетами. Результаты работы использованы компанией ООО „ЛОМО Метео“ (Санкт-Петербург) и внедрены в учебный процесс в НИУ ИТМО [13—15].

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01) и поддержке Министерства образования и науки РФ (проект 14.Z50.31.0031).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahrens C. D. Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere. Cengage Learning, 2011. 506 p.
2. Söffker D., Xingguang Fu, Hasselberg A., Langer M. Modeling of complex human-process interaction as framework for assistance and supervisory control of technical processes // Intern. Journal of Information Technology and Web Engineering. 2012. Vol. 7. 121 p.
3. Livingstone D. A. Practical Guide to Scientific Data Analysis. John Wiley & Sons, 2010. 358 p.
4. Демин А. В., Копорский Н. С. Имитационное моделирование информационно-измерительных и управляющих систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 138 с.
5. Arteta J., Marécal V., Rivière E.D. Regional modelling of tracer transport by tropical convection. Part 1: Sensitivity to convection parameterization // Atmospheric Chemistry and Physics. 2009. Vol. N 9 (18). P. 7081—7100.
6. Eusgeld I., Kröger W. Comparative evaluation of modeling and simulation techniques for interdependent critical infrastructures // Proc. of the 9th Intern. Conf. on Probabilistic Safety Assessment and Management. 2008. Vol. 1. P. 484—491.
7. Vidal D., Zou X., Uesaka T. Modeling coating structure development using a Monte Carlo deposition method. Part 1: Modeling methodology // Tappi Journal. 2003. Vol. 2 (4). P. 3—8.
8. Jiang Z., Liu S., Dougal R. A. Virtual-prototyping satellite electrical power systems using the virtual test bed // Proc. of the IEEE SOUTHEASTCON Conf. 2002. P. 113—120.
9. Raysin K., Rice J., Dorman E., Matheny S. Telesonar network modeling and simulation // Oceans Conf. Record (IEEE). 1999. Vol. 2 P. 747—752.
10. Meliopoulos A. P., Cokkinides G., Beker B., Dougal R. New tool for visualization and animation of power component and system operation // Proc. of the 33rd Annual Hawaii Intern. Conf. on System Sciences. 2000. P. 95.
11. Fu Z. J., Zhou X. D., Chen Y. Q., Gong J. H., Peng F., Yan Z. D., Zhang T. L., Yang L. Z. The influence of random slowdown process and lock-step effect on the fundamental diagram of the nonlinear pedestrian dynamics: An estimating-correction cellular automaton // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2015. Vol. 20 (3). P. 832—845.
12. Bonilla J., Dormido S., Cellier F. E. Switching moving boundary models for two-phase flow evaporators and condensers // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. 2015. Vol. 20 (3). P. 743—768.
13. Демин А. В., Дмитриева С. П. Разработка алгоритмов построения прогнозных многопараметрических моделей физических явлений // Тр. III Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям „IS&IT 14“. М.: Физматлит, 2014. Т. 3. С. 289—294.
14. Dmitrieva S. P. Development of scientific forecasting // Proc. of the IV Intern. Sci. Conf. “Science, Technology and Higher Education”. 2014. Vol. 2. P. 302—307 [Электронный ресурс]: <<http://science-canada.com/>>.
15. Dmitrieva S. P. Development of scientific forecasting: building predictive models // Proc. of the V Intern. Sci. Conf. “Science and Education”. 2014. Vol. 2. P. 180—185 [Электронный ресурс]: <<http://www.euscience.de/>>.

Сведения об авторах

- Анатолий Владимирович Демин** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; кафедра оптико-цифровых систем и технологий; E-mail: dav_60@mail.ru
- Светлана Петровна Дмитриева** — Университет ИТМО; кафедра оптико-цифровых систем и технологий; инженер-исследователь; E-mail: job_8@mail.ru

Рекомендована кафедрой
оптико-цифровых систем и технологий

Поступила в редакцию
31.08.15 г.

Ссылка для цитирования: Демин А. В., Дмитриева С. П. Модель прогнозирования состояния многопараметрической технической системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 11. С. 920—926.

FORECASTING MODEL FOR MULTI-PARAMETER TECHNICAL SYSTEM STATE

A. V. Demin, S. P. Dmitrieva

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

E-mail: job_8@mail.ru

An analytical model is developed for multi-parameter technical system state assessment. The model allows monitoring of the system objective functions during its operation on the base of a posteriori information. The model construction calls for identification of the system basic features and characteristic peculiarities, as well as limitations presented at the structural level as a set of domains; the requirements make it possible correct the system parameters ensuring their invariance with respect to disturbances. Application of the analytical model to assessment of the state of a multi-parameter technical system considered in relation to complex hierarchical distributed multi-agent dynamic measuring systems to be designed in the framework of the project on construction of weather station complex.

Keywords: computer modeling, analytical model, prediction, algorithm, evaluation, energy domain, complex hierarchical multi-agent dynamic measuring system.

Data on authors

- | | | |
|------------------------------|---|--|
| Anatoly V. Demin | — | Dr. Sci., Professor; ITMO University, Department of Optical and Digital Systems and Technologies; E-mail: dav_60@mail.ru |
| Svetlana P. Dmitrieva | — | ITMO University, Department of Optical and Digital Systems and Technologies; Research Engineer; E-mail: job_8@mail.ru |

For citation: Demin A. V., Dmitrieva S. P. Forecasting model for multi-parameter technical system state // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 11. P. 920—926 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-11-920-926