

## **МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ МОДУЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

**В.И. Павлов, Ю.И. Коток**

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В.А. Погонин*

**Ключевые слова и фразы:** аномальные измерения; измерение контролируемых параметров; информационно-измерительная система; неинформативные измерения.

**Аннотация:** На примере информационно-измерительной системы модульной котельной установки разработаны модели аномальных и неинформативных измерений. Модели измерений разработаны в классе систем со случайно изменяющейся структурой.

Для организации автоматического режима функционирования модульной котельной установки (МКУ) в качестве устройств промышленной автоматики применяются микроконтроллеры. Каждая МКУ разрабатывается для обслуживания конкретного объекта, что обуславливает необходимость «персонального» программирования микроконтроллеров для обеспечения адекватности протекающим в МКУ процессам.

Модульные котельные установки обладают высокой энергоэффективностью, оперативностью реализации желаемых режимов поставки теплоносителя потребителям и другими преимуществами, обеспечивающими наилучшие показатели качество/цена по сравнению со стационарными котельными, применяемыми в теплоэнергетике. Надежность функционирования МКУ, являющейся установкой полной заводской готовности, обеспечивается системой автоматики и позволяет эксплуатировать МКУ в автоматическом режиме с реализацией диспетчерского контроля и управления.

Информационно-измерительная система (ИИС) МКУ является частью управляющей системы МКУ и обеспечивает функции релейной защиты и автоматики, сбор данных с функциями телеуправления, сигнализации, измерений и регистрации аварийных событий в режиме реального времени.

---

Павлов Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: vpavl@mail.ru; Коток Юрий Иванович – аспирант кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ТамбГТУ, г. Тамбов.

Модель ИИС МКУ включает в себя большое число взаимосвязанных элементов и относится к классу сложных систем. Исходя из задач, возлагаемых на ИИС МКУ, успешное решение которых во многом зависит от беспрерывности и точности функционирования, функциональное назначение ИИС заключается в достоверном оценивании компонент вектора  $Y(t)$  фазовых координат МКУ. В качестве компонент вектора фазовых координат МКУ могут выступать следующие параметры: окружающей среды (температура, влажность, скорость ветра); поступающей для подогрева в МКУ рабочей среды (температура, давление, секундный расход); рабочей среды в котле (температура, давление); рабочей среды, подающейся в теплосеть (температура, давление, секундный расход); пульсации температуры и давления в элементах энергооборудования; напряжения в элементах энергооборудования от пульсаций температуры и давления; характеризующие процесс сжигания топлива (температура и объем факела); характеризующие безопасность МКУ. Многие компоненты вектора  $Y(t)$  фазовых координат МКУ могут находиться в сложной функциональной взаимосвязи.

В упрощенном виде модель изменения фазовых координат МКУ, рассмотренная в [1, 2], представлена системой уравнений для циркуляционного контура, включающей уравнения: дифференциальное материального баланса (уравнение сплошности); дифференциальное теплового баланса (уравнение энергии); расхода рабочей среды (уравнение движения); теплового баланса газозвоздушного тракта и температуры газов на выходе из топки, записанные в алгебраической форме.

*Уравнение материального баланса:*

$$\lambda_{\text{эк}} - \lambda_1 = T_1 \dot{\varphi}_{p1} + T_2 \dot{\varphi}_h - T_3 \dot{\lambda}_1, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{эк}} = \Delta D_{\text{эк}} / D_0$  – расход воды на выходе из экономайзера;  $\lambda_1 = \Delta D_1 / D_{10}$  – расход рабочей среды на выходе из циркуляционного контура;  $\varphi_{p1} = \Delta p_1 / p_{10}$  – давление в конце циркуляционного контура;  $\varphi_h = \Delta h / h_0$  – уровень воды в барабане;  $T_1, T_2, T_3$  – коэффициенты.

*Уравнение теплового баланса:*

$$T_4 \dot{\varphi}_{p1} + T_5 \dot{\varphi}_h - T_6 \dot{\lambda}_1 = a_1 \lambda_{\text{эк}} - \lambda_1 + a_2 \varphi_{p1} + a_3 \varphi_{\Theta 1} + a_4 \psi_1, \quad (2)$$

где  $\varphi_{\Theta 1} = \Delta \Theta_1 / \Theta_{10}$  – температура рабочей среды циркуляционного контура;  $\psi_1 = \Delta \Theta / \Theta_{10}$  – тепловосприятие циркуляционного контура.

*Уравнение расхода:*

$$\lambda_1 = b_1 \varphi_{p1} + b_2 \varphi_{p2} + b_3 \varphi_{\Theta 2}, \quad (3)$$

где  $\varphi_{p2} = \Delta p_2 / p_{20}$  – давление в контуре второго участка;  $\varphi_{\Theta 2} = \Delta \Theta_2 / \Theta_{20}$  – температура рабочей среды в конце второго контура.

*Уравнение теплового баланса газозвоздушного тракта:*

$$\psi_1 = D_1^0 \mu_B + D_1 \mu_L + D_1^3 \varphi_{\Theta L}, \quad (4)$$

где  $\mu_B = \Delta B / B_0$  – расход топлива в топке котла;  $\mu_L = \Delta L / L_0$  – расход воздуха в топке котла;  $\varphi_{\Theta L} = \Delta \Theta_B / \Theta_{B_0}$  – температура горячего воздуха, поступающего в топку.

*Уравнение температуры газов на выходе из топки:*

$$\varphi_{\Theta T} = C_1 \mu_B + C_2 \mu_L + C_3 \varphi_{\Theta L}, \quad (5)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  – коэффициенты.

Коэффициенты в уравнениях (1) – (5) определяются по методике, предложенной, например, в работе [3].

Данные уравнения позволяют получить характеристики изменения контролируемых параметров в различных состояниях МКУ: при пуске, выходе на режим, смене режима, отключении. Для исследования процессов МКУ целесообразно представить в виде системы с изменением детерминированных структур в случайные моменты времени. В общем случае, математическая модель МКУ как нелинейной стохастической системы со случайной структурой имеет вид

$$Y(t + \Delta t) = Y(t) + A^{(s)}(Y, t) + B^{(s)}(Y, t)U(t) + F^{(s)}(Y, t)\xi(t), \\ s = \overline{1, n}, Y(0) = Y_0, \quad (6)$$

где  $Y(t)$  – вектор фазовых координат МКУ;  $A, B, F$  – матрицы, характеризующие состояние МКУ, коэффициенты усиления управляющих воздействий и флуктуаций фазовых координат соответственно;  $A, B$  и  $F$  определяются из уравнений (1) – (5);  $U(t)$  – вектор управлений;  $\xi(t)$  – вектор центрированного дискретного гауссовского белого шума с матрицей корреляционных функций  $K_{\xi}(t, t + \delta) = G(t)\delta$ ,  $\delta(t - t_1)$  – функция Дирака;  $s(k)$  – дискретная последовательность – цепь.

Важное значение для обеспечения надежности имеет организация измерений компонент вектора фазовых координат МКУ в ИИС. При организации измерений в ИИС возможно, что не все компоненты вектора  $Y(t)$  в (6) можно измерить. Тогда на интервале  $(t_0, t)$  фактически измеряется не весь вектор  $Y(t)$ , а только часть его компонент. Это обстоятельство учитывается произведением  $C(t)Y(t)$ , где  $C(t)$  – матрица измерений, в которой неизмеряемые составляющие – нулевые. Уравнение измерения записывается в виде  $m$ -мерного вектора  $Z(m \leq n)$  с учетом вектора помехи  $N(t)$

$$Z(t) = C(t)Y(t) + N(t), \quad (7)$$

где  $N(t)$  –  $m$ -мерный вектор центрированного гауссова белого шума с корреляционной функцией  $K_N(t, t_1) = Q(t)\delta(t - t_1)$ ;  $Q(t)$  – матрица интенсивностей шума измерений.

Измеритель описывается в соответствии с режимами [4]:

- нормальной работы (2);
- аномальных измерений при наличии отказов

$$Z(t) = C(t)Y(t) + K(t)N(t), \text{ где } K(t) \gg 1; \quad (8)$$

– неинформативных измерений (пропадание сигнала)

$$Z(t) = N(t). \quad (9)$$

В информационно-измерительной системе МКУ применяются каналы измерения с обратной связью, которая в данном случае позволяет выбирать конкретные компоненты вектора фазовых координат МКУ, подлежащие измерению в текущий момент времени, и задавать режим измерений, то есть начало и продолжительность очередного измерения. Уравнение, описывающее функционирование управляемого измерителя, имеет вид

$$Z(t) = C(t)Y(t) + D(t)G(t) + N(t), \quad (10)$$

где  $G(t)$  –  $r$ -мерный вектор управлений;  $D(t)$  – известная  $(m \times r)$ -мерная матрица.

При выполнении контура измерения в классе систем со случайной структурой для естественного согласования с измерением процессов типа (6) уравнение наблюдения будет иметь вид [5]

$$Z(t) = C^{(S)}(t)Y^{(S)}(t) + D^{(S)}(t)G^{(S)}(t) + N^{(S)}(t), \quad (11)$$

где  $C^{(S)}(t)$  –  $(m \times n)$ -мерная матрица с известными при фиксированном значении  $S = s$  элементами;  $S$  – скалярная марковская цепь с конечным числом состояний  $s(t) = \overline{1, S}$ ;  $Y^{(S)}(t)$  – измеряемый векторный процесс с изменяющейся в зависимости от  $s$ -структурой;  $G^{(S)}(t)$  –  $r$ -мерный вектор управлений измерениями в  $s$ -й структуре;  $D^{(S)}(t)$  –  $(m \times r)$ -мерная матрица с известными при фиксированном значении  $s$ -элементами;  $N^{(S)}(t)$  –  $m$ -мерный вектор центрированного гауссова белого шума. Дискретный аналог (11), предназначенный для реализации в ИИС МКУ на базе микроконтроллеров, имеет вид

$$Z_k = [C^{(S)}Y^{(S)} + D^{(S)}G^{(S)} + N^{(S)}]_k,$$

где индекс  $k$  соответствует значению величин в правой части (11) в  $k$ -й момент времени.

*Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.741.12.0150 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

#### *Список литературы*

1. Беднаржевский, В.С. Автоматический тепловой расчет котлоагрегата на ЭВМ / В.С. Беднаржевский // Изв. вузов. Энергетика. – 1995. – № 1-2. – С. 54–57.

2. Беднаржевский, В.С. Основные положения теплового расчета котлов на ЭВМ / В.С. Беднаржевский, Н.М. Оскорбин // Теплоэнергетика. – 2002. – № 7. – С. 10–14.

3. РТМ 108.031.101–84. Котлы барабанные. Расчет динамических характеристик. – Л. : НПО ЦКТИ, 1986. – 80 с.

4. Гришин, Ю.П. Динамические системы, устойчивые к отказам / Ю.П. Гришин, Ю.М. Казаринов. – М. : Радио и связь, 1985. – 176 с.

5. Казаков, И.Е. Анализ систем случайной структуры / И.Е. Казаков, В.М. Артемьев, В.А. Бухалев. – М. : Физматлит, 1993. – 272 с.

---

### **Models of Processes in Information-Measuring Systems of Modular Boiler Plant**

**V.I. Pavlov, Yu.I. Kotok**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** abnormal measurements; information-measuring system; measurement of controlled parameters; uninformative measurements.

**Abstract:** The paper presents the models of abnormal and uninformative measurements developed on the example of information-measuring system of modular boiler plant. The measurement models are designed in the class of systems with randomly changing structure.

---

© В.И. Павлов, Ю.И. Коток, 2011