

УДК 658.589:681.533.5

А.С. Кулик, В.В. Нарожный, А.Н. Таран

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского, Харьков

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НЕРАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ КАМЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛЬНО- ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

В статье рассмотрен подход к диагностированию технического состояния системы управления температурной камерой для обеспечения ее отказоустойчивости

температурная камера, отказоустойчивость, диагностирование, модель

Введение

Температурные климатические камеры находят широкое применение во многих отраслях промыш-

ленности. Температурным испытаниям подвергаются железобетонные конструкции, строительные материалы для возведения автодорог, продукция кабельных заводов и предприятий-изготовителей

электроники, узлы и детали авиа, авто и космической техники, диагностическая аппаратура в метеорологии и геологии. Длительность испытаний при этом составляет для большинства изделий в среднем 180-480 часов. Обеспечение отказоустойчивости систем автоматического управления (САУ) таким оборудованием играет важную роль, так как выход из строя САУ приводит к дорогостоящему простоям в производственном или технологическом процессе, а также потере партии изделий.

Состояния вопроса. Одним из наиболее перспективных подходов к обеспечению отказоустойчивости САУ является системный подход, который включает в себя два основных этапа: диагностирование технического состояния системы и гибкое восстановление работоспособности имеющимися избыточностями. Таким образом, обеспечение глубокого диагностирования является неотъемлемой частью процесса создания отказоустойчивых САУ.

Анализ известных методов диагностирования динамических объектов, применяемых для определения технического состояния САУ, позволил выделить три основных подхода: сигнальный, параметрический, сигнально-параметрический [1, 2].

Формирование оценки состояния или выхода динамической системы по сигналам вход-выход и определение отклонения текущего состояния или выхода относительно оценочного лежит в основе сигнального подхода. В отклонениях содержится информация о техническом состоянии объекта. Для параметрического подхода характерной особенностью является получение оценочных значений коэффициентов динамического объекта на основании измерения его входных и выходных сигналов и применение параметрической идентификации динамического объекта. Сигнально-параметрический подход базируется на принципе оценки параметров диагностических моделей (ДМ), соответствующих текущему состоянию процесса. ДМ – это новый класс математических моделей, которые позволяют связать прямые и косвенные признаки видов отказов, т.е. первичные характеристики и соответствующее изменение выходной контролируемой величины.

При математическом описании теплотехнических объектов широко используются передаточные функции и дифференциальные уравнения. При этом объект управления моделируется в зависимости от необходимой точности аperiodическим звеном первого или второго порядка, коэффициенты которого получают исходя из экспериментальных данных [3, 4]. При моделировании сложных многоканальных динамических систем с несколькими входами и выходами и существенными перекрестными связями между каналами, наиболее подходящей является векторно-матричная модель в пространстве состояний. Такую математическую модель (ММ) можно получить исходя из дифференциальных уравнений элементов системы, и проанализировать методами

матричной алгебры и современных пакетов численного моделирования, таких как Matlab и Matcad.

Постановка задачи. Предполагается рассмотреть сигнально-параметрический подход к диагностированию работоспособности САУ климатической камерой для последующего обеспечения ее свойством активной отказоустойчивости.

Материалы исследований

Целью диагностирования является определение технического состояния объекта. Разработка диагностического обеспечения в соответствии с сигнально-параметрическим подходом производится в три этапа:

1) построение математических моделей (ММ) работоспособного состояния объекта, изучение аномального поведения объекта, формирование множества видов отказов, построение ДМ на основании анализа ММ работоспособного и неработоспособного состояний объекта;

2) анализ структуры полученных ДМ и выбор совокупностей необходимых и достаточных диагностических признаков;

3) обнаружение отказа в объекте, поиск места возникновения отказа, установление класса вида отказа, определение вида отказа.

Таким образом, конструкция объекта должна быть при необходимости модифицирована с применением различных видов избыточностей для решения задач диагностирования. Полученная в результате диагностирования информация используется для решения задач восстановления работоспособности объекта.

Обобщенная схема типичной температурной камеры представлена на рис. 1.

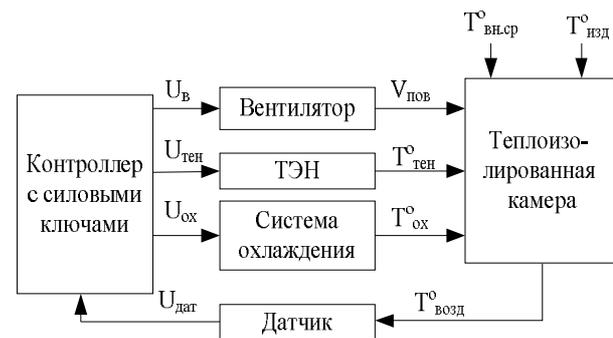


Рис. 1. Схема типичной температурной камеры

Основным источником тепла в теплоизолированной камере является термоэлектрический нагревательный элемент (ТЭН), находящегося в потоке воздуха, циркуляция которого обеспечивается вентилятором. Для охлаждения камеры обычно используется компрессорная система охлаждения. Циркулирующий воздух отдает тепло змеевикам охлаждения, находящимся в потоке, а также изделиям и стенкам камеры. Одновременно часть энергии тратится за счет теплопередачи через стенки камеры.

Точное математическое описание теплотехнических процессов является довольно сложной задачей, так как большое количество коэффициентов, входящих в дифференциальные уравнения не являются постоянными и зависят от большого количества параметров. Однако при моделировании систем стабилизации температуры, когда параметры объекта существенно не меняются, многими из этих факторов можно пренебречь, а уравнения линеаризовать.

В качестве примера рассмотрим построение ММ канала повышения температуры САУ температурной климатической камеры. Структурная схема диагностирования рассматриваемого канала представлена на рис. 2.

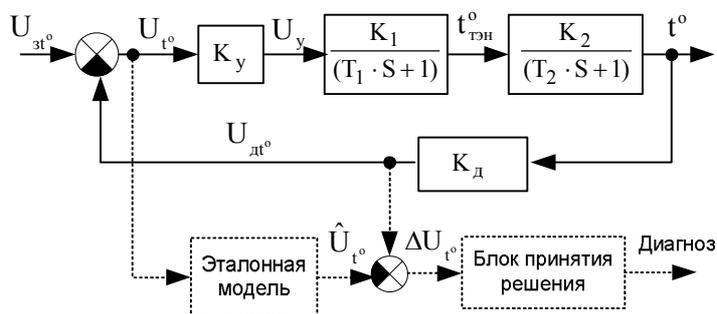


Рис. 2. Структурная схема диагностирования канала повышения температуры

В соответствии с вышеперечисленными действиями построим математическую модель канала повышения температуры в номинальном режиме функционирования.

Поведение рассматриваемого канала в номинальном режиме относительно управляющего сигнала с сумматора $U_{т^0}$ описывается передаточной функцией вида:

$$W(S) = \frac{T^0(S)}{U_{т^0}(S)} = \frac{K_{т^0}}{(T_1 \cdot S + 1) \cdot (T_2 \cdot S + 1)}, \quad (1)$$

где $K_{т^0} = K_y \cdot K_1 \cdot K_2$.

Применив к уравнению (1) обратное преобразование Лапласа, получаем описание канала во временной области при нулевых начальных условиях в виде дифференциального уравнения:

$$T_1 \cdot T_2 \cdot t''(t) + (T_1 + T_2) \cdot t'(t) + t^0(t) = K_{т^0} \cdot u_{т^0}(t). \quad (2)$$

Введем переменные состояния

$$\begin{aligned} x_1(t) &= t^0(t), \\ x_2(t) &= x_1'(t) \end{aligned}$$

и используя метод Эйлера для получения численного значения производной, произведем переход к описанию номинального функционирования канала в пространстве состояния в дискретной форме (T_0 – период квантования, n – шаг квантования):

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1(n+1) \\ x_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_0 \\ -\frac{T_0}{T_1 \cdot T_2} & 1 - T_0 \cdot \frac{T_1 + T_2}{T_1 \cdot T_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{т^0} \cdot T_0 \end{bmatrix} \cdot U_{т^0}(n), \\ U_{дт^0}(n) = [K_д \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix}. \end{cases} \quad (3)$$

Для построения ММ функционирования температурной камеры в неработоспособном состоянии исходя из опыта эксплуатации подобных функциональных элементов, мнений экспертов и натуральных испытаний необходимо сформировать множество физических видов отказов для каждого функционального элемента [1, 2].

Обычно используется ряд гипотез, которые сформированы в результате анализа реального потока видов отказов: виды отказов появляются независимо друг от друга; характеристики видов отказов существенно не изменяются на интервале диагностирования; в период диагностирования другие отказы не происходят [1].

Сформируем множество видов отказов $D_{кк \ t^0} = \{d_{i \ t^0}\}$ для рассматриваемого канала повышения температуры в камере:

$d_{1 \ t^0}$ – изменение коэффициента передачи K_y усилительно преобразовательного устройства;

$d_{2 \ t^0}$ – изменение коэффициента передачи нагревательного элемента K_1 , вследствие перегорания одного или нескольких нагревательных элементов;

$d_{3 \ t^0}$ – изменение коэффициента передачи камеры K_2 , вследствие ее разгерметизации;

$d_{4 \ t^0}$ – обрыв провода питания нагревательного элемента;

$d_{5 \ t^0}$ – дрейф датчика температуры;

$d_{6 \ t^0}, d_{7 \ t^0}$ – обрыв соответственно положительного/отрицательного провода питания датчика температуры;

$d_{8 \ t^0}$ – изменение времени переходного процесса в камере вследствие выхода из строя смешивающего вентилятора;

$d_{9 \ t^0}$ – изменение времени переходного процесса в камере вследствие ее разгерметизации.

Проведена параметризация видов отказов и сформировано множество классов отказов $A_{кк \ t^0} = \{a_{i \ t^0}\}$ для канала повышения температуры в камере:

$a_{1\ t^0}$ «изменение коэффициента передачи канала» – характеризуется изменением коэффициента передачи K_{t^0} ;

$a_{2\ t^0}$ «изменение инерционных свойств канала» – характеризуется изменением постоянной времени T_2 ;

$a_{3\ t^0}$ «обрыв силового провода питания» – характеризуется постоянным значением коэффициента передачи $K_{t^0} = K_1 = 0$;

$a_{4\ t^0}$ «обрыв провода питания датчика» – характеризуется постоянным значением выходного сигнала датчика $U_{д\ t^0} = -U_{пит}$ или

$$U_{д\ t^0} = +U_{пит};$$

$a_{5\ t^0}$ «дрейф датчика» - характеризуется смещением выходного значения $U_{д\ t^0}$ на постоянную величину.

Сформировав классы видов отказов, выполним переход от (3) к описанию канала в пространстве состояний в дискретной форме в неработоспособном состоянии:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} \tilde{x}_1(n+1) \\ \tilde{x}_2(n+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_0 \\ -\frac{T_0}{T_1 \cdot \tilde{T}_2} & 1 - T_0 \frac{T_1 + \tilde{T}_2}{T_1 \cdot \tilde{T}_2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{x}_1(n) \\ \tilde{x}_2(n) \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} 0 \\ \tilde{K}_y \cdot \tilde{K}_1 \cdot \tilde{K}_2 \cdot T_0 \end{bmatrix} \cdot U_{t^0}(n), \\ \tilde{U}_{д\ t^0}(n) = [K_d \quad 0] \cdot \begin{bmatrix} \tilde{x}_1(n) \\ \tilde{x}_2(n) \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (4)$$

где $\tilde{K}_y = K_y + \Delta K_y$, $\tilde{K}_1 = K_1 + \Delta K_1$, $\tilde{K}_2 = K_2 + \Delta K_2$, $\tilde{T}_2 = T_2 + \Delta T_2$, $\tilde{U}_{д\ t^0} = U_{д\ t^0} + \Delta U_{д\ t^0}$.

Выводы

Использован сигнально-параметрический подход к диагностированию САУ температурной камерой. На примере канала повышения температуры в камере рассмотрено построение ММ номинального и неработоспособного режимов функционирования, параметризацию видов и классов отказов с целью дальнейшего построения ДМ и алгоритмов активного восстановления в случае возникновения отказа.

Список литературы

1. Кулик А.С. Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления. – Х.: Гос. аэрокосмический ун-т «ХАИ»; Бизнес Информ, 2000. – 260 с.
2. Нарожный В.В. Обеспечение активной отказоустойчивости модифицированных бортовых измерительных устройств: Дис...канд. техн. наук: 05.13.03. – Х., 2000. – 140 с.
3. Моисеев А.А. Имитационные модели некоторых термодинамических процессов // Приборы и системы. Управление, контроль и диагностика.- 2005 - №11 – С. 20-24.
4. Теплотехника: Учебник для вузов / Под ред. Баскакова А.П. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.

Поступила в редколлегию 3.12.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю.Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.