

УДК 629.7.036

В.И.Есин, М.Н.Буслаев, Ю.Т.Прядко

### ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Одним из важных условий повышения точности решения задач контроля и диагностирования состояния силовой установки при допусковом контроле установившихся режимов является применение обоснованных допусков на изменения контролируемых параметров. Допустимые значения параметров определяются областью работоспособности в пространстве состояний, внутри которой система сохраняет какое-то заданное качество. Предельные допустимые значения параметров образуют гиперповерхность области, могущей иметь, в общем случае, сложную форму, поэтому определение допусков на каждый параметр может быть произведено лишь приближенно, заменой области гиперпараллелепипедом с гранями, параллельными осям координат /1/. Существует значительное число расчетных и экспериментальных методов назначения однозначных допусков на контролируемые параметры /1, 2, 3/. Применение однозначных допусков просто, но приводит при контроле и диагностировании состояния системы к риску заказчика или изготовителя.

В работе /4/ показано, что из-за сложности и дороговизны силовых установок, ограниченности числа испытаний при отработке и т.д. создание эффективных систем функционального диагностирования (СФД) возможно лишь на основе имитационных методов, использующих математические модели объекта контроля и диагностирования.

В данной статье предлагается модификация одного из методов диагностирования, основанного на теории распознавания образов, при допусковом контроле установившихся режимов силовой установки. Суть метода в том, что неисправные состояния, объединенные в один класс, характеризуются совокупностью общих признаков, характерной именно для этого класса. Эта совокупность образует описание класса или его изображение и представляется чаще всего в виде эталонного вектора состояния /4, 5/

$$e_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in})^T, \quad (I)$$

где  $e_{ij}$  - диагностические признаки;  $i=1, \dots, m$  - число классов технических состояний;  $n$  - число признаков состояния (контролируемых параметров).

В качестве диагностических признаков или координат вектора (I) можно использовать измеренные значения параметров либо кодировать признаки по условию нахождения параметра  $y_j$  в допуске  $\Delta_j$ , например

$$e_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } |\delta y_j| \leq \Delta_j \\ -1 & \text{при } |\delta y_j| > \Delta_j \end{cases} \quad \text{или} \quad e_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } \delta y_j > \Delta_j \\ 0 & \text{при } -\Delta_j \leq \delta y_j \leq \Delta_j \\ -1 & \text{при } \delta y_j < -\Delta_j \end{cases}$$

Диагностирование заключается в преобразовании вектора измеренных значений параметров в вектор признаков текущего состояния, сравнении его с полученными заранее эталонными векторами разных классов состояний и формировании суждения о состоянии силовой установки.

Моделирование неисправных состояний с целью получения диагностической модели осуществляется с помощью математической модели силовой установки и моделей неисправностей. Под диагностической моделью понимается совокупность эталонных векторов признаков неисправных состояний.

Проведенные нами исследования показали, что построение диагностической модели сложной силовой установки с использованием логических моделей [6] невозможно из-за наличия большого количества обратных связей. Наличие таких связей параметров приводит к тому, что, в силу принципов логического моделирования, любая неисправность любого элемента внутри контура обратной связи неразличима и можно говорить о неисправности всего контура, но не о месте и виде этой неисправности.

Предлагаемая модификация метода диагностирования с помощью векторов признаков состояния заключается в новом способе построения диагностической модели силовой установки. Суть способа в том, что при кодировании признаков состояния (компонент вектора) используются не приближенные однозначные допуски на изменения контролируемых

параметров, а более точные граничные значения параметров, принадлежащие гиперповерхности области работоспособности.

Для нахождения граничных значений параметров существуют различные методы [1].

Встроенную область работоспособности можно аппроксимировать системами линейных или нелинейных неравенств [7]. Второе значительно упрощает процедуру построения векторов состояния, а следовательно, и методику контроля и диагностирования силовой установки. Нами рассматриваются особенности построения диагностической модели с использованием линейной аппроксимации области. Система линейных неравенств имеет вид

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_j - \sum_{i=1}^n c_{ij} x_j \leq 0, \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots, N$  — число граничных точек;  $N = p$ ;  $p$  — размерность пространства контролируемых параметров;  $c_{ij}$  — координаты точки, проверяемой на принадлежность области при ее аппроксимации.

При такой аппроксимации гиперповерхность области работоспособности заменяется выпуклой системой гиперплоскостей, каждая из которых проходит, как минимум, через одну найденную граничную точку. Однако такие граничные точки остаются по одну сторону от каждой такой гиперплоскости.

Перейдем к собственно задаче построения диагностической модели в виде векторов признаков технического состояния. При возникновении какой-либо неисправности точка состояния выходит за границы области работоспособности. Величина отклонения точки от границы области нормальных состояний зависит от степени развития неисправности. Знаки отклонений соответствующих координат этой точки от координат граничной точки в месте выхода из области зависят от того, в какую из подобластей пространства, ограниченную соседними координатными плоскостями (квадранты в двухмерном пространстве) перемещается точка. На определении знаков отклонений параметров при выходе из области нормальных состояний и основан предлагаемый способ построения эталонных векторов признаков состояния.

Для определения степени развития неисправности и знаков отклонений параметров при выходе точки состояния из области работоспособности необходимо знать значения параметров на границе в точке выхо-

да. При линейной постановке задачи и принятой гипотезе одиночных неисправностей точка состояния системы при развитии неисправности движется по прямой, соединяющей начальную (номинальную) точку с точкой определяемого состояния. В  $n$ -мерном пространстве контролируемых параметров эта прямая представляется в параметрическом виде

$$C_x = C_{xk} + t(C_{ок} - C_{xk}); \quad k = \overline{1, n}, \quad (3)$$

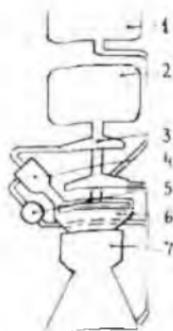
где  $C_{xk}$  - координаты точки определяемого состояния;  $C_{ок}$  - координаты начальной (номинальной) точки внутри области.

Поиск граничной точки  $C_{2p}$  выхода из области осложнен тем, что отрезок прямой, соединяющей точки  $C_x$  и  $C_o$ , пересекает несколько взаимопересекающихся ограничивающих гиперплоскостей. Граничная точка ищется следующим образом.

Проверкой системы неравенств (2) для измеренной точки состояния находятся  $p$  невыполняющихся неравенств и  $p$  соответствующих гиперплоскостей из (2). Совместным решением уравнений найденных  $p$  гиперплоскостей и уравнения прямой (3) находятся  $p$  точек пересечения. Из этих точек удовлетворяет системе неравенств (2) единственная, которая является искомой. По знаку отклонения каждого параметра точки  $C_x$  определяемого состояния от соответствующего параметра точки  $C_o$  определяется значение координаты вектора признаков данного состояния. Признак равен "1", если отклонение положительно, "-1", если отклонение отрицательно и "0", если отклонения нет. Эта процедура поиска точки выхода и кодирования компонент вектора (I) легко автоматизируется.

Известно, что число подобластей, в которых векторы, исходящие из начала координат, различаются знаками координат, для  $n$ -мерного пространства равно  $2^n$ . Следовательно, в общем случае при использовании данного способа построения диагностической модели максимальное число различных неисправных состояний может достигать  $2^n$ . Но на самом деле большое число неисправностей приводит к отклонениям параметров в одинаковых подобластях и такие неисправности неразличимы между собой.

К повышению разрешающей способности такой диагностической модели может привести дополнительный учет углового положения прямой, соединяющей точки определяемого и начального состояний, как дополнительных признаков неисправного состояния.



$n$	$\delta G_{O_1}$	$\delta G_{T_1}$	$\delta G_{T_2}$	$\delta P_{O_1}$	$\delta P_{T_1}$	$\delta P_{O_2}$	$\delta \eta$
1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
3	1	1	1	1	1	-1	1
4	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
5	-1	1	1	-1	-1	-1	-1
6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
8	-1	1	1	-1	-1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	1	-1	1	-1	1	-1	-1

Р и с. Схема ППС и диагностическая модель силовой установки: 1 - бак горючего; 2 - бак окислителя; 3 - турбокомпрессорный агрегат; 4 - газогенератор; 5 - регулятор; 6 - газовод; 7 - камера сгорания

В качестве независимых варьируемых параметров при построении области работоспособности принимались:  $\eta$  - КПД ТНА;  $P_{O_1}$ ,  $P_{T_1}$  - гидросопротивления магистралей и элементов схемы, давления в баках.

В качестве критерия работоспособности использовалось двухстороннее ограничение на основной выходной параметр - давление в камере:

$P_{kmin} \leq P_k \leq P_{kmax}$ . Моделировались следующие неисправные состояния: 1 - снижение КПД ТНА; 2 - засорение на линии окислителя ("O"); 3 - разгерметизация газоведа; 4 - утечка на линии горючего; 5 - утечка на линии "O"; 6 - прогар газогенератора; 7 - утечка в баке "O"; 8 - утечка на баке "Г"; 9 - повышение давления в баке "O"; 10 - то же в баке "Г".

Из приведенной на рисунке таблицы эталонных векторов видно, что ряд моделировавшихся ситуаций неразличим (1 и 2, 6 и 7). Это объясняется особенностями взаимосвязи параметров данной схемы, для других схем силовой установки сочетание неразличимых ситуаций может быть другим.

Для более точного выявления различных классов неисправных состояний для каждой конкретной схемы необходимо строить диагностическую модель в пространстве контролируемых параметров возможно большей размерности и для возможно большего числа неисправных состояний.

Для примера изложим результаты построения диагностической модели для типичной силовой установки /8/ (рис.) Задача решалась в линейной постановке. Для принятой схемы силовой установки область работоспособности при нормальных состояниях, а затем эталонные векторы неисправных состояний строились в пространстве семи контролируемых параметров:

$G_{O_1}$ ,  $G_{T_1}$ ,  $G_{T_2}$  - расходы через насосы и газогенератор;  $P_{O_1}$ ,  $P_{T_1}$ ,  $P_{O_2}$  - давления за насосами и в газоведе,  $\eta$  -

Предложенный способ кодирования признаков состояния с учетом рассмотренных особенностей его применения позволяет построить простую процедуру контроля и диагностирования силовых установок.

#### Библиографический список

1. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1972. - 423 с.
2. Карлюк Б.В., Малинин В.В. Определение погрешностей выходных характеристик и допусков параметров элементов измерительных систем //Автометрия. - 1967. - № 1. - С. 3-16.
3. Абрамов О.В., Здор В.В., Супоня А.А. Допуски и номиналы систем управления. - М.: Наука, 1976. - 160 с.
4. Лихачев В.Я., Васин А.С., Глижман Б.Ф. Техническая диагностика пневмогидравлических систем ЭРД. - М.: Машиностроение, 1983. - 204 с.
5. Дмитриев А.К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 104 с.
6. Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики. Кн. I. - М.: Энергия, 1976. - 464 с.
7. Дятлов В.А., Кабанов А.Н., Милов Л.Т. Контроль динамических систем. - Л.: Энергия, 1978. - 88 с.
8. Шевяков А.А., Калнин В.М., Науменкова Н.В., Дятлов В.Г. Теория автоматического управления ракетными двигателями. - М.: Машиностроение, 1978. - 288 с.

УДК 629.7.063.6

А.В.Жуковский, А.Ф.Малеев

#### ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УЧЕТА СЖИМАЕМОСТИ ЖИДКОСТИ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБОПРОВОДАХ

Для решения задач, связанных с нестационарным течением жидкости в гидравлических системах различного назначения, при технических расчетах наиболее широкое применение получила одномерная модель течения. Эта модель предполагает, что значения каждого параметра, характеризующего состояние нестационарного потока, одинаковы в любой точке попе-