

АНАЛИЗ ДИАГНОСТИРУЕМОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Повышение надежности и эксплуатационных качеств современных ГТД обеспечивается применением методов параметрической диагностики их технического состояния при испытаниях, эксплуатации и ремонте. Одной из важнейших диагностируемых подсистем является проточная часть. В настоящее время известно значительное число подходов и конкретных методов выявления дефектов проточной части. Для каждого из них получение правильного диагностического решения осложнено особенностями исследуемых ГТД и из математических моделей, а также значительным количеством принятых допущений, трудно поддающихся количественному анализу. Поэтому при повышении надежности ГТД на первый план выдвигаются задачи оптимизации автоматизированных систем диагностирования в целом.

Главным критерием оптимальности автоматизированной системы диагностирования ГТД является достоверность диагностирования, которая включает вероятности принятия правильных и ложных диагностических решений.

Пусть $D_j, j=1, \dots, q$, - множество возможных состояний проточной части, включающее исправное состояние, неисправности различных узлов и неисправности измерительных каналов параметров проточной части. Тогда достоверность диагностирования характеризуется множеством значений $P(D_j/D_1)$ вероятности принятия диагностического решения о наличии состояния D_j при условии, что в действительности имеет место состояние D_1 . Объединяя эти значения в матрицу P_d , получим комплексную характеристику достоверности. Из нее может быть выделен вектор P_{pd} вероятностей правильного определения состояний двигателя, состоящий из диагональных элементов матрицы, и определена средняя по множеству состояний вероятность P_{cp} правильного определения состояний. Данные вероятностные показатели, определенные без учета особенностей конкретного метода диагностирования, характеризуют совершенство (с диагностической точки зрения) проточной части и системы измерения ее параметров.

Для расчета этих показателей необходимо сформировать модель,

отображающую дефекты в пространстве контролируемых параметров \vec{Y} , и алгоритмы вычисления соответствующих вероятностей.

Вид состояния и степень развития дефектов определяются значениями $\delta\theta_k$ отклонений параметров характеристик узлов от их базовых значений. Анализ показывает, что характерные дефекты проточной части являются одно- или двухпараметрическими, то есть каждому из них соответствует только одно или два ненулевых значения элементов вектора $\delta\theta$. Так, например, эрозийный износ компрессора можно охарактеризовать смещением напорной характеристики по расходу δb_k и изменением КПД $\delta\eta_k^*$.

Задавая для каждого состояния D_j характерные значения $\delta\theta_j$ вектора параметров характеристик узлов и учитывая, что эти значения малы, можно вычислить соответствующие значения \vec{Z}_j вектора отклонений измеряемых параметров с помощью линейной математической модели

$$\vec{Z}_j = H\delta\theta_j, \quad (1)$$

где $Z_1 = (Y_1 - Y_{0_1})/\sigma_1$; Y_{0_1} - базовое значение контролируемого параметра, соответствующее нормальному состоянию двигателя; σ_1 - среднеквадратичное отклонение этого параметра; H - матрица коэффициентов влияния.

Варьируя $\delta\theta_j$ по области значений, характерных для состояния D_j , с помощью уравнения (1) получим область Ω_j изменения контролируемых параметров для данного состояния.

Так, например, для однопараметрических дефектов область Ω_j - это отрезок, выходящий из начала координат, где $\vec{Z} = 0$; для двухпараметрических дефектов это участок плоскости, проходящей через начало координат, и т. д.

Погрешности измерений ε будем считать центрированными случайными величинами, аддитивными по отношению к истинным значениям контролируемых параметров. Тогда наблюдаемые значения \vec{Z}^* определяются как $\vec{Z}^* = \vec{Z} + \varepsilon$.

Если известны $f(\vec{Z}^*/\vec{Z})$ и $f(\vec{Z}/D_j)$ - плотности распределения ошибок измерений и истинных значений контролируемых параметров, то плотность распределения измерений \vec{Z}^* при состоянии D_j можно определить интегрированием по области Ω_j

$$f(\vec{Z}^*/D_j) = \int_{\Omega_j} f(\vec{Z}^*/\vec{Z}) f(\vec{Z}/D_j) d\Omega_j. \quad (2)$$

Тогда апостериорная вероятность состояния D_j при наличии наблюдения \vec{Z}^* может быть вычислена по формуле Байеса:

$$P(D_j/\vec{Z}^*) = \frac{f(\vec{Z}^*/D_j)P(D_j)}{\sum_{j=1}^q f(\vec{Z}^*/D_j)P(D_j)} \quad (3)$$

где $P(D_j)$ - априорная вероятность состояния D_j .

Использование формул (2) и (3) при известных границах областей Ω_j позволяет сформировать следующий алгоритм определения элементов искомой матрицы вероятностей диагнозов методом Монте-Карло:

1) для каждого состояния D_1 с использованием генераторов случайных чисел, задающих текущее положение \vec{Z}_t t -й моделируемой точки в области Ω_1 и значение погрешности измерений $\vec{\varepsilon}_t$, формируется выборка \vec{Z}_t^* , $t=1, \dots, T_1$;

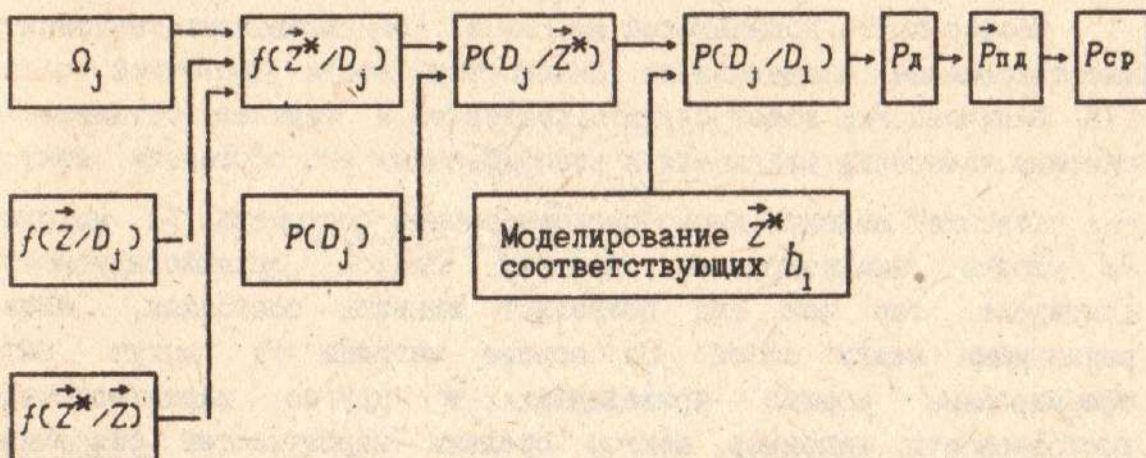
2) для каждого элемента этой выборки по формуле (3) определяются вероятности $P(D_j/\vec{Z}_{1t}^*)$, $j=1, \dots, q$;

3) искомые значения элементов матрицы P_d определяются как

$$P_{d_{j1}} = \frac{1}{T_1} \sum_{t=1}^{T_1} P(D_j/\vec{Z}_{1t}^*)$$

Структура алгоритма представлена на рисунке.

Схема расчета вероятностных показателей диагностируемости ГТД



В таблице представлены результаты расчета показателей

диагностируемости для двигателя ПС-90А. Они получены при предположении о равномерном распределении параметров $\delta\theta$ по области их изменения для каждого дефекта, а также о нормальном законе распределения погрешностей измерений.

Показатели диагностируемости

Матрица вероятностей диагнозов					
Дефекты	Вентилятор	Подпорная ступень	КВД	ТВД	ТНД
Вентилятор	0,923	0,018	0,010	0,002	0,015
Подпорная ступень	0,039	0,819	0,178	0,007	0,027
КВД	0,010	0,132	0,730	0,033	0,109
ТВД	0,001	0,005	0,017	0,925	0,047
ТНД	0,027	0,026	0,065	0,033	0,802
Вероятность правильных диагнозов					
	0,923	0,819	0,730	0,925	0,802
Средняя вероятность правильных диагнозов: 0,840					

Видно, что неисправности некоторых узлов существенно коррелированы; вероятность правильного распознавания достаточно высока и изменяется в широких пределах (от 0.73 до 0.925); неисправности КВД хуже различаются на общем фоне, чем неисправности остальных узлов, главным образом за счет корреляции с неисправностями подпорной ступени и ТНД.

Совокупность показателей R_d , \vec{R}_{pd} и R_{cp} позволяет выполнить многочисленные исследования диагностируемости проточной части ГТД. Величина R_{cp} может служить критерием в задачах оптимизации системы измерений двигателя и классификации его состояний. Вектор \vec{R}_{pd} позволяет выявить плохо распознаваемые состояния. По матрице R_d удобно анализировать причины плохой диагностируемости двигателя, так как она позволяет выявить состояния, плохо различимые между собой. На основе матрицы R_d могут быть сформированы помимо приведенных и другие характеристики достоверности, например, вектор средних вероятностей ошибочных диагнозов.